

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica



Automatización y optimización del procesado de Plastisol para la empresa Proquinal

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

Roberto David Matamoros Gamboa

Cartago, noviembre de 2021



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Declaración firmada del estudiante

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

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

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

Cartago, Costa Rica, 24/11/2021



Roberto David Matamoros Gamboa
Céd: 116600486

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Roberto David Matamoros Gamboa

Proyecto: Automatización y optimización del procesado de Plastisol para la empresa Proquinal

JOHANNA
VANESSA MUÑOZ
PEREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente
por JOHANNA VANESSA
MUÑOZ PEREZ (FIRMA)
Fecha: 2021.11.12
08:47:30 -06'00'

MSc. -Ing. Johanna Vanessa Muñoz Pérez
Asesora

Cartago, 24 de noviembre 2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Roberto David Matamoros Gamboa

Proyecto: Automatización y optimización del procesado de plastisol para la empresa Proquinal.

Miembros del jurado evaluador

**FELIPE GERARDO
MEZA OBANDO
(FIRMA)**  Digitally signed by FELIPE
GERARDO MEZA OBANDO
(FIRMA)
Date: 2021.11.25 14:52:42 -06'00'

MSc. -Ing. Felipe Meza Obando

Jurado

**IVAN ARAYA
MENESES (FIRMA)**  Firmado digitalmente por
IVAN ARAYA MENESES
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.24 20:05:44
-06'00'

MSc. -Ing. Iván Araya Meneses

Jurado

**MARTA EUGENIA
VILCHEZ MONGE
(FIRMA)**  Firmado digitalmente por
MARTA EUGENIA VILCHEZ
MONGE (FIRMA)
Fecha: 2021.11.25 14:42:41
-06'00'

MSc. -Fís. Marta Vilchez Monge

Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 24 de noviembre 2021

Resumen

En el presente informe se desarrolla una propuesta de solución para controlar y monitorizar el procesamiento del Plastisol en la empresa Proquinal, el cual se almacena en diez tanques que cuentan con motores capaces de agitar su contenido, de forma que se disminuya su viscosidad para poder dosificarlo en lotes para su procesamiento posterior. Esto debido a que actualmente en la empresa solo pueden accionarse los motores de forma manual generando problemáticas sobre los costos energéticos y tiempos de producción.

En este diseño se toman en consideración múltiples opciones con base en las necesidades del cliente y su importancia las cuales son categorizadas y evaluadas para la selección de un concepto, para este concepto se contempla la selección de componentes para realizar la automatización. Además de la configuración de los dispositivos tanto para el envío de señales, la interacción con el usuario y el manejo remoto del control de los tanques.

Como resultado este diseño logra presentar una solución que cumple con las necesidades del cliente a partir de métricas definidas durante sus primeras etapas, mientras a su vez asegura un producto homogéneo y una solución funcional mediante resultados experimentales y simulaciones.

Palabras clave: Plastisol, PLC, HMI, Acceso remoto, Pico de corriente, Viscosidad, Consumo de energía.

Abstract

In this document, a solution proposal is developed to control and monitor Plastisol processing in the Proquinal company, which is stored in ten tanks that have motors capable of stirring its content, so that its viscosity is reduced to be able to dose it in batches for further processing, this is since currently in the company the motors can only be operated manually, generating problems regarding energy costs and production times.

In this design, multiple options are taken into consideration based on the client's needs and their importance, which are categorized and evaluated for the selection of a concept. For this concept, the selection of components for automation is considered. In addition to the configuration of the devices for sending signals, interaction with the user and remote control of the tanks.

As a result, this design manages to present a solution that meets the customer's needs based on metrics defined during its early stages, while at the same time ensuring a homogeneous product and a functional solution through experimental results and simulations.

Keywords: Plastisol, PLC, HMI, Remote Access, Peak Current, Viscosity, Power Consumption.

Dedicatoria

A mis hermanos Ángel y Celeste, que han vivido conmigo un conjunto de etapas difíciles, siendo para mí un pilar fundamental de motivación y apoyo más que necesario para poder llevar a cabo cada etapa. A ellos, que han conocido el esfuerzo y sacrificio que he debido entregar durante todo este proceso y su respuesta siempre fue la consideración y paciencia ante mis momentos de estrés y frustración.

A ellos, que han estado, no se han ido y no se irán. Con todo lo incondicional que me han brindado, yo indudablemente les dedico este arduo trabajo.

A mis hermanos, a mis hermanos y a mis hermanos, con amor.

Agradecimiento

A mis padres, quienes han estado para mí siempre, brindándome su apoyo en todos los aspectos que han podido, espero hacerlos sentir orgullosos, porque para mí, no hay un fin más noble que el querer honrar a aquellos que le han dado la vida. Los respeto y los amo enormemente.

A mi tía Patricia, que desde el primer momento de esta etapa universitaria no dudó un momento en brindarme todas las herramientas necesarias para poder cumplir mi objetivo y fue durante el proceso, aquella persona a quien acudí para solicitar ayuda. Sin mi tía, cumplir mis obligaciones habría sido una tarea considerablemente más compleja, así que agradezco la confianza puesta en mí y con la culminación de esta etapa espero hacerla sentir que todo valió la pena.

A mis amigos y compañeros, porque han hecho que las horas sean más livianas y que no todo se centre en la carga académica, porque las risas y los recuerdos tendrán un peso igual de importante para mí que lo aprendido.

A Johanna, mi profesora asesora durante el proyecto de graduación, que ha sido una ayuda impresionante para la elaboración de este documento.

A todos los profesores con quienes he tenido el placer de recibir una lección, porque de todos he aprendido algo, formándome opinión de carácter profesional.

Muchas gracias.

Lista de contenidos

Lista de figuras.....	vi
Lista de tablas	xii
Lista de abreviaciones.....	xiv
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes y contexto.....	1
1.2 Descripción del problema.....	4
1.3 Síntesis del problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Estructura del documento.....	5
1.6 Aporte de ingeniería.....	6
2 Marco teórico	7
2.1 Proceso del área de masas	7
2.2 Plastisol	11
2.2.1 Interacción polímero-plastificante	14
2.2.2 Gelación y fusión	15
2.3 Tarifa de consumo eléctrico	16
2.4 Potencia activa y de arranque de un motor de inducción.....	17
2.5 Tiempo de arranque.....	21
2.6 Controladores	22
2.6.1 PLC	22
2.6.2 Microcontroladores	22
2.6.3 Computadores de placa única	22
2.7 Lenguajes de programación para interfaces de usuario	23
2.7.1 Python	23
2.7.2 C++	23
2.8 Lenguajes de programación de un PLC	24
2.8.1 Lenguajes de texto o nivel bajo	24

2.8.2	Lenguajes gráficos o de alto nivel	24
2.9	Herramientas de control remoto	25
2.9.1	TeamViewer.....	25
2.9.2	Enrutador industrial	25
2.9.3	VNC Viewer	25
2.10	Dispositivos de interrupción aislada.....	25
2.10.1	Relés.....	25
2.10.2	Optoacopladores	27
2.11	Sensores de temperatura	28
2.12	Diseño de experimentos.....	29
2.12.1	Análisis de varianza (ANOVA).....	30
3	Metodología	32
3.1	Determinación de necesidades	33
3.1.1	Entrevista e interpretación de necesidades	33
3.1.2	Categorización de las necesidades	35
3.1.3	Jerarquización de necesidades	36
3.2	Determinación de métricas y especificaciones.....	37
3.3	Composición del experimento.....	39
3.4	Descomposición funcional del problema.....	40
3.4.1	Entradas y salidas.....	40
3.4.2	Definición de subsistemas.....	41
3.5	Generación de conceptos.....	42
3.5.1	Concepto 1	43
3.5.2	Concepto 2	44
3.5.3	Concepto 3	45
3.6	Evaluación de conceptos	46
3.6.1	Criterios de selección de conceptos	46
3.6.2	Evaluación de conceptos.....	46
3.7	Propuesta de concepto de solución.....	48
4	Experimento para la obtención del tiempo óptimo de agitación y ciclo de trabajo del Plastisol.....	49
4.1	Relevancia	49
4.2	Generalidades	49

4.3	Procedimiento realizado.....	52
4.4	Resultados obtenidos.....	55
4.4.1	Resultados de pruebas con agitaciones de 5 minutos	56
4.4.2	Resultados de pruebas con agitaciones de 7 minutos	58
4.4.3	Resultados de pruebas con agitaciones de 9 minutos	60
4.4.4	Resultados del análisis de varianza (ANOVA).....	62
4.5	Análisis de resultados.....	68
4.5.1	Agitaciones de cinco minutos	68
4.5.2	Agitaciones de siete minutos	68
4.5.3	Agitaciones de nueve minutos	69
4.5.4	Análisis de varianza de intervalos de 4 horas entre agitaciones	70
4.5.5	Análisis de varianza de intervalos de 8 horas entre agitaciones	70
4.6	Conclusiones del experimento	71
5	Propuesta de diseño.....	72
5.1	Selección del PLC	72
5.2	Configuración del PLC.....	73
5.2.1	Operación de tanques.....	74
5.2.2	Control de horario restringido.....	79
5.2.3	Confirmación de contactores	81
5.3	Selección de la fuente de alimentación del PLC	82
5.4	Selección del módulo de comunicación	82
5.5	Selección del HMI.....	82
5.6	Configuración del HMI	84
5.6.1	Acceso seguro a la interfaz	84
5.6.2	Pantalla principal	85
5.6.3	Información general.....	87
5.6.4	Resumen de monitorización.....	88
5.6.5	Control de tanques	89
5.6.6	Sistema de alarmas.....	91
5.6.7	Horario para control de consumo.....	92
5.6.8	Referencia de configuración	92
5.7	Selección de los modelos de Relés de seguridad	93

5.7.1	Relé de activación de los arrancadores	94
5.7.2	Relé de señal de modo automático.....	95
5.8	Selección del dispositivo de interrupción de seguridad	95
5.9	Selección del botón de paro de emergencia	96
5.10	Selección del riel de montaje de los dispositivos	96
5.11	Selección del gabinete de montaje.....	97
5.12	Prueba de funcionamiento	98
6	Guía de instalación.....	106
6.1	Montaje de componentes en el gabinete	106
6.2	Conexiones del sistema	110
6.2.1	Alimentación de dispositivos.....	110
6.2.2	Conexión de entradas.....	111
6.2.3	Conexión de salidas	113
6.2.4	Conexión de red	114
6.3	Configuración del acceso remoto.....	115
6.3.1	Acceder a la interfaz desde una PC.....	119
6.3.2	Acceder a la interfaz desde un dispositivo móvil	121
7	Resultados y análisis	124
7.1	Validación del sistema	124
7.1.1	Parámetros medibles	125
7.1.2	Capacidades de control	129
7.2	Análisis económico	133
8	Conclusiones y recomendaciones	137
8.1	Conclusiones	137
8.2	Recomendaciones.....	138
9	Referencias bibliográficas.....	139
A	Anexos	142
A.1	Características eléctricas de los contactores AN16GN0.....	142
A.2	Especificación técnica del 6ES7214-1AG40-0XB0 (PLC 1214)	144
A.3	Especificación técnica de la 6AG1124-0GC01-4AX0 (SIPLUS HMI TP700 COMFORT)	151
A.4	Catálogo de Relés de Bloque Terminal de la marca EATON.....	158
A.5	PM1207 Siemens 6EP1332-1SH71	168

A.6 Catálogo de protectores suplementarios EATON.....	172
A.7 Catálogo de botonería para paro de emergencia EATON.....	179
A.8 Riel de montaje 6ES5710-8MA11	183
A.9 Gabinete de montaje NSYCRN43200 de Schneider Electric	184
A.10 Módulo de comunicación CSM 1277	186
B Apéndices.....	189
B.1 Entrevista.....	189
B.2 Encuesta de jerarquización.....	193
B.3 Cálculo de propagación de la incertidumbre.....	194
B.4 Resultados del experimento	196
B.4.1 Resultados de la prueba de agitación de 5 minutos con ciclos de 4 horas	197
B.4.2 Resultados de la prueba de agitación de 5 minutos con ciclos de 8 horas	199
B.4.3 Resultados de la prueba de agitación de 7 minutos con ciclos de 4 horas	201
B.4.4 Resultados de la prueba de agitación de 7 minutos con ciclos de 8 horas	203
B.4.5 Resultados de la prueba de agitación de 9 minutos con ciclos de 4 horas	205
B.4.6 Resultados de la prueba de agitación de 9 minutos con ciclos de 8 horas	207
B.4.7 Resultados del experimento ANOVA de un solo factor para las pruebas con ciclos de 4 horas	209
B.4.8 Resultados del experimento ANOVA de un solo factor para las pruebas con ciclos de 8 horas	211

Lista de figuras

Figura 1.1. Sección superior de los tanques de almacenamiento del Plastisol.	1
Figura 1.2. Sección inferior de los tanques de almacenamiento del Plastisol.	2
Figura 1.3. Olla sobre báscula de medición de contenido.	2
Figura 1.4. Interruptores para el encendido de los motores de los tanques.	3
Figura 1.5. Circuito de alimentación de los motores de los tanques.	3
Figura 2.1. Procesamiento del Plastisol en el área de masas.	7
Figura 2.2. Tanque almacenador (superior) y mezclador (inferior) para la preparación del Plastisol.	8
Figura 2.3. Equipo de bombeo del Plastisol hacia los tanques de almacenamiento.	9
Figura 2.4. Tubería de transporte del Plastisol a los tanques de almacenamiento.	9
Figura 2.5. Filtrado por malla de 250 micras en la salida del tanque.	10
Figura 2.6. Influencia del contenido de plastificante en la viscosidad del Plastisol. a) PVC/DINP=100/40; b) PVC/DINP=100/50; c) PVC/DINP=100/60; DINP=ftalato de diisononilo.	12
Figura 2.7. Efecto del esfuerzo cortante en fluidos de tipo a) Dilatante, b) Newtoniano y C) Pseudoplástico.	14
Figura 2.8. Efecto del esfuerzo cortante en la viscosidad de un Plastisol de PVC (PVC/DINP=100/50 a T=25°C).	15
Figura 2.9. Cambios en la morfología y propiedades mecánicas del Plastisol de PVC durante la gelación y la fusión.	16
Figura 2.10. Triángulo de potencia.	18
Figura 2.11. Placa del motor de un tanque de almacenamiento de Plastisol a) Factor de potencia; b) Eficiencia; c) Potencia de salida d) Tensión del motor; e) Corriente nominal; f) Corriente de arranque.	18
Figura 2.12. Corriente del motor de inducción con su corriente de arranque y nominal señalizada.	19
Figura 2.13. Contactores utilizados para la alimentación de los motores de los tanques en la empresa Proquinal.	20
Figura 2.15. Conexión interna típica de un relé.	26
Figura 2.20. Conexiones internas de un 1) opto-transistor; 2) optoacoplador de salida MOSFET; 3) opto-TRIAC; 4) optoacoplador de salida Darlington.	28
Figura 2.21. Sensor de temperatura de inmersión.	29
Figura 3.2. Diagrama de bloques de entradas y salidas.	40
Figura 3.3. Diagrama de subsistemas del sistema de control y monitorización.	41
Figura 3.4. Plantilla para el proceso de combinación de los conceptos a evaluar.	42
Figura 3.5. Concepto 1.	43
Figura 3.6. Esquema general de conexión del concepto 1.	43
Figura 3.7. Concepto 2.	44
Figura 3.8. Esquema general de conexión del concepto 2.	44
Figura 3.9. Concepto 3.	45
Figura 3.10. Esquema general de conexión del concepto 3.	45

Figura 3.11. Diagrama del concepto de solución seleccionado.....	48
Figura 4.9. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.....	56
Figura 4.10. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.....	56
Figura 4.11. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.....	57
Figura 4.12. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.....	57
Figura 4.13. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.....	58
Figura 4.14. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.....	58
Figura 4.15. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.....	59
Figura 4.16. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.....	59
Figura 4.17. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.....	60
Figura 4.18. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.....	60
Figura 4.19. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.....	61
Figura 4.20. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.....	61
Figura 4.21. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 4 horas.....	64
Figura 4.22. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 4 horas.....	65
Figura 4.23. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 8 horas.....	67
Figura 4.24. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 8 horas.....	67
Figura 5.1. Diagrama de flujo del proceso de encendido de los tanques de agitación.....	75
Figura 5.2. Proceso de secuenciación de encendido seguro de los tanques al existir simultaneidad.....	76
Figura 5.3a. Primera parte del programa de encendido de los tanques de agitación.....	77
Figura 5.3b. Segunda parte del programa de encendido de los tanques de agitación.....	77
Figura 5.3c. Tercera parte del programa de encendido de los tanques de agitación.....	78
Figura 5.4a. Primera parte del programa de arranque seguro de los tanques.....	78
Figura 5.4b. Segunda parte del programa de arranque seguro de los tanques.....	79
Figura 5.5. Proceso de manejo del horario restringido de los tanques de agitación.....	79
Figura 5.6. Programa de manejo de horas con un elevado costo de la energía.....	80
Figura 5.7. Secuencia del programa para la obtención de la confirmación y alerta de operación.....	81
Figura 5.8. Programa para el envío de alertas por diferencia de confirmación y arranque.....	81
Figura 5.9. Pantalla de acceso al Sistema de Control y Monitorización.....	85
Figura 5.10. Pantalla emergente de solicitud de credenciales de usuario.....	85
Figura 5.11. Pantalla principal del Sistema de Control y Monitorización.....	86
Figura 5.12. Pantalla de información del Sistema de Control y Monitorización.....	87
Figura 5.13. Pantalla de monitorización del Sistema de Control y Monitorización con los tanques apagados.....	88
Figura 5.14. Pantalla de monitorización del Sistema de Control y Monitorización con los tanques 1, 4, 5, 8 y 9 operando.....	89
Figura 5.15. Pantalla de configuración del SCM del Tanque 6 apagado.....	90
Figura 5.16. Pantalla de configuración del SCM del Tanque 6 encendido.....	90

Figura 5.17. Pantalla de alarmas del SCM con un aviso de estado de alarma con problema saliente IO.	91
Figura 5.18. Pantalla de control de horas de encendido restringido del SCM.	92
Figura 5.19. Pantalla de referencia de configuración del SCM.	93
Figura 5.21. Deshabilitación del control de los tanques ante selección del modo distinto al automático.	98
Figura 5.22. Habilitación del control de los tanques ante selección del modo automático.	99
Figura 5.23. Encendido del tanque de almacenamiento.	99
Figura 5.24. Señales activas de marcha y salida del tanque 1.	99
Figura 5.25. Envío de señales para el primer encendido del tanque 1.	100
Figura 5.26. Accionamiento de la salida física del motor y el contador de agitación.	101
Figura 5.27. Reinicio de parámetros para iniciar el ciclo.	101
Figura 5.28. Encendidos regulares del tanque 1 posteriores a su primer accionamiento.	102
Figura 5.29. Comportamiento de señales dentro del periodo de horario restringido.	102
Figura 5.30. Señales de tanques en cola para el accionamiento del secuenciador.	103
Figura 5.31. Ejecución del tiempo de arranque del tanque 1 para el encendido seguro.	104
Figura 5.32. Secuencia de permisos de activación a partir del tanque 2.	104
Figura 5.33. Obtención de la entrada de confirmación del tanque 1.	105
Figura 5.34. Comparación de las señales para la generación de la alarma.	105
Figura 6.1. Agujeros por realizar en el gabinete de montaje para el acople de componentes y cableado.	106
Figura 6.2. Agujeros por realizar en el gabinete de montaje para el acople del riel DIN.	107
Figura 6.3. Componentes necesarios para el acople del gabinete al área de montaje.	107
Figura 6.4. Montaje de los equipos en los rieles DIN acoplados al gabinete.	108
Figura 6.5. Montaje del HMI y el botón de paro de emergencia.	109
Figura 6.6. Diagrama de conexiones de alimentación de los dispositivos.	111
Figura 6.7. Diagrama de conexiones de las entradas del PLC.	112
Figura 6.8. Diagrama de conexiones de las salidas del PLC.	113
Figura 6.9. Diagrama de conexiones de red del sistema.	114
Figura 6.10. Procedimiento para ingresar la configuración de red del dispositivo PLC.	115
Figura 6.11. Procedimiento para ingresar la configuración de red del dispositivo HMI.	116
Figura 6.12. Procedimiento para activar el servidor inteligente en el HMI.	116
Figura 6.13. Pantalla fuente predeterminada del dispositivo HMI.	117
Figura 6.14. Pantalla de configuración para acceder a la aplicación del servidor.	118
Figura 6.15. Pantalla de configuración del acceso remoto.	118
Figura 6.16. Configuración de seguridad del servidor remoto del panel.	119
Figura 6.17. Ingreso de dirección de red en la aplicación Sm@rt Client del ordenador.	119
Figura 6.18. Confirmación de conexión y acceso de credenciales para conectividad remota.	120
Figura 6.19. Pantalla del HMI vista desde un ordenador con conexión remota.	120
Figura 6.20. Logo de la aplicación Sm@rt Client Lite.	121
Figura 6.21. Pantalla principal y configuración inicial de seguridad de la aplicación.	121
Figura 6.22. Ingreso de credenciales del HMI para la conexión remota.	122
Figura 6.23. Resultado de ingreso de pantalla en la aplicación móvil.	123

Figura 7.1. Comportamiento la corriente eléctrica en la alimentación de los tanques de agitación al encender dos tanques con el sistema propuesto.	126
Figura 7.2. Uso de la señal de control automático en el sistema de control.	130
Figura 7.3. Redes de control de los tanques de agitación para su operación independiente.	131
Figura 7.4. Variables de temporización de los tanques 1, 2 y 3 del sistema de control.	131
Figura A.1.1. Sistema de numeración de contactores Freedom. Fuente:.....	142
Figura A.1.2. Especificación de los contactores AN16GN0.	143
Figura A.2.1. Primera parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	144
Figura A.2.2. Segunda parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	145
Figura A.2.3. Tercera parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	146
Figura A.2.4. Cuarta parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	147
Figura A.2.5. Quinta parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	148
Figura A.2.6. Sexta parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	149
Figura A.2.7. Séptima parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC.	150
Figura A.3.1. Primera parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	151
Figura A.3.2. Segunda parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	152
Figura A.3.3. Tercera parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	153
Figura A.3.4. Cuarta parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	154
Figura A.3.5. Quinta parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	155
Figura A.3.6. Sexta parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	156
Figura A.3.7. Séptima parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700.	157
Figura A.4.1. Primera parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	158
Figura A.4.2. Segunda parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	159
Figura A.4.3. Tercera parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	160
Figura A.4.4. Cuarta parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	161
Figura A.4.5. Quinta parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	162
Figura A.4.6. Sexta parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	163
Figura A.4.8. Octava parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	165
Figura A.4.9. Novena parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	166
Figura A.4.10. Décima parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal.	167
Figura A.5.1. Primera parte de la especificación técnica del PM1207.	168
Figura A.5.2. Segunda parte de la especificación técnica del PM1207.	169
Figura A.5.3. Tercera parte de la especificación técnica del PM1207.	170
Figura A.5.4. Cuarta parte de la especificación técnica del PM1207.	171
Figura A.6.1. Primera parte de la especificación técnica del UL1077.	172
Figura A.6.2. Segunda parte de la especificación técnica del UL1077.	173
Figura A.6.3. Tercera parte de la especificación técnica del UL1077.	174
Figura A.6.4. Cuarta parte de la especificación técnica del UL1077.	175
Figura A.6.5. Quinta parte de la especificación técnica del UL1077.	176
Figura A.6.6. Sexta parte de la especificación técnica del UL1077.	177
Figura A.6.7. Séptima parte de la especificación técnica del UL1077.	178
Figura A.7.1. Primera parte de la especificación técnica de los botones de paro de emergencia..	179
.....	179

Figura A.7.2. Segunda parte de la especificación técnica de los botones de paro de emergencia..	180
Figura A.7.3. Primera parte de la especificación técnica de los botones de paro de emergencia..	181
Figura A.7.4. Primera parte de la especificación técnica de los botones de paro de emergencia..	182
Figura A.8.1. Especificación técnica del riel de montaje 6ES5710-8MA11.....	183
Figura A.9.1. Especificación técnica del gabinete NSYCRN43200.....	184
Figura A.9.2. Especificación técnica del gabinete NSYCRN43200.....	185
Figura A.10.1. Primera parte de la especificación técnica del módulo CSM 1277..	186
Figura A.10.2. Segunda parte de la especificación técnica del módulo CSM 1277.....	187
Figura A.10.3. Tercera parte de la especificación técnica del módulo CSM 1277.....	188
Figura B.4.1. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.	198
Figura B.4.2. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.	198
Figura B.4.3. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.	200
Figura B.4.4. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.	200
Figura B.4.5. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.	202
Figura B.4.6. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.	202
Figura B.4.7. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.	204
Figura B.4.8. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.	204
Figura B.4.9. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.	206
Figura B.4.10. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.	206
Figura B.4.11. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.	208
Figura B.4.12. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.	208
Figura B.4.13. Primera parte de resultados del experimento ANOVA para ciclos de 4 horas..	209
Figura B.4.14. Segunda parte de resultados del experimento ANOVA para ciclos de 4 horas..	210
Figura B.4.15. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 4 horas.	210
Figura B.4.16. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 4 horas.	211
Figura B.4.17. Resultados del experimento ANOVA para ciclos de 8 horas.	212
Figura B.4.18. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 8 horas.	213
Figura B.4.19. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 8 horas.	213
B.5.1. Primera parte del manual de usuario del SCM.....	214
B.5.2. Segunda parte del manual de usuario del SCM.....	215
B.5.3. Tercera parte del manual de usuario del SCM.....	216
B.5.4. Cuarta parte del manual de usuario del SCM.....	217
B.5.5. Quinta parte del manual de usuario del SCM.	218
B.5.6. Sexta parte del manual de usuario del SCM.	219
B.5.7. Séptima parte del manual de usuario del SCM.....	220
B.5.8. Octava parte del manual de usuario del SCM.....	221

B.5.9. Novena parte del manual de usuario del SCM.....	222
B.5.10. Décima parte del manual de usuario del SCM.....	223
B.5.11. Décimo primera parte del manual de usuario del SCM.....	224
B.5.12. Décimo segunda parte del manual de usuario del SCM.....	225
B.5.13. Décimo tercera parte del manual de usuario del SCM.....	226
B.5.14. Décimo cuarta parte del manual de usuario del SCM.....	227
B.5.15. Décimo quinta parte del manual de usuario del SCM.....	228
B.5.16. Décimo sexta parte del manual de usuario del SCM.....	229
Figura B.6.1. Primera parte de la plantilla para la evaluación de la facilidad de uso del SCM..	230
Figura B.6.2. Segunda parte de la plantilla para la evaluación de la facilidad de uso del SCM.	231
Figura B.6.3. Primera parte de las respuestas de la evaluación de la facilidad de uso del SCM.	232
Figura B.6.4. Segunda parte de las respuestas de la evaluación de la facilidad de uso del SCM.	233

Lista de tablas

Tabla 2.1. Influencia de plastificantes en las propiedades del Plastisol.	11
Tabla 2.2. Influencia de plastificantes en las propiedades del producto final.	11
Tabla 2.3. Influencia de las características de la resina en el Plastisol y en las propiedades del producto final.	12
Tabla 2.4. Influencia los ingredientes del Plastisol en las características del producto final..	13
Tabla 2.5. Costos mínimos y máximos de las bandas de consumo en la facturación del ICE..	17
Tabla 2.6. Comparación entre PLC, Microcontroladores y Computadores de placa única.	23
Tabla 3.1. Interpretación de necesidades a partir de la entrevista con el cliente	34
Tabla 3.2. Categorización de Necesidades brindadas por el cliente	35
Tabla 3.3. Importancia relativa de las necesidades definidas del Ingeniero de Calidad y Producción	36
Tabla 3.4. Métricas definidas para la ejecución del proyecto.	37
Tabla 3.5. Valores marginales e ideales para las métricas definidas.	38
Tabla 3.6. Elementos para el diseño del experimento con variaciones en el tiempo de agitación.	40
Tabla 3.7. Criterios para la selección de conceptos.	46
Tabla 3.8. Calificación de cumplimiento de criterios y evaluación de conceptos.	47
Tabla 4.1. Declaración de parámetros del análisis de varianza.	62
Tabla 4.2. Información de los factores de influencia.	62
Tabla 4.3. Valor p obtenido mediante el análisis de varianza de ciclos de agitación de 4 horas.	63
Tabla 4.4. Obtención del valor de R cuadrado ante ciclos de agitación de 4 horas.	63
Tabla 4.5. Obtención de las medias de los factores ante ciclos de agitación de 4 horas.	63
Tabla 4.6. Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% ante ciclos de agitación de 4 horas.	64
Tabla 4.7. Valor p obtenido mediante el análisis de varianza de ciclos de agitación de 8 horas.	65
Tabla 4.8. Obtención del valor de R cuadrado ante ciclos de agitación de 8 horas.	66
Tabla 4.9. Obtención de las medias de los factores ante ciclos de agitación de 8 horas.	66
Tabla 4.10. Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% ante ciclos de agitación de 8 horas.	66
Tabla 5.1. Propiedades del PLC Siemens S7-1214C DC/DC/DC ante requerimientos.	73
Tabla 5.2. Módulo de alimentación PM1207 Siemens 6EP1332-1SH71.	82
Tabla 5.3. Propiedades del HMI SIPLUS TP700 COMFORT ante requerimientos del proyecto.	83
Tabla 5.4. Perfiles de acceso diseñados para proteger la configuración del sistema.	84
Tabla 4.5. Resumen de parámetros del relé XRU1D24U.	94
Tabla 5.6. Resumen de parámetros del relé XRU1D120U.	95
Tabla 5.7. Dimensiones de los dispositivos seleccionados que serán montados en el riel.	97
Tabla 6.1. Listado de componentes del montaje categorizado por el sistema del que son parte.	109
Tabla 3.5. Valores marginales e ideales para las métricas definidas.	124
Tabla 7.1. Desglose de costos del sistema de control y monitorización del Plastisol.	134
Tabla 7.2. Cantidad de horas y kilowatts por mes a reinvertir para cada actividad establecida.	135

Tabla 7.3. Supuestos para el estudio económico de retorno de la inversión.	136
Tabla 7.4. Estudio económico de cinco años para el cálculo de retorno de inversión y valor actual neto.....	136
Tabla 7.5. Indicadores y cálculo de retorno total sobre la inversión.	136
Tabla B.2.1 Encuesta para la jerarquización de necesidades.....	193
Tabla B.4.1. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante cinco minutos cada cuatro horas.....	197
Tabla B.4.2. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante cinco minutos cada ocho horas.....	199
Tabla B.4.3. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante siete minutos cada cuatro horas.....	201
Tabla B.4.4. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante siete minutos cada ocho horas.....	203
Tabla B.4.5. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante nueve minutos cada cuatro horas.....	205
Tabla B.4.6. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante nueve minutos cada ocho horas.....	207
Tabla B.4.7. Diferencias de viscosidad ingresadas a Minitab para la generación de resultados en la prueba de ciclos de cuatro horas.	209
Tabla B.4.8. Diferencias de viscosidad ingresadas a Minitab para la generación de resultados en la prueba de ciclos de ocho horas.	211

Lista de abreviaciones

Abreviación	Término	Significado
-	Mesh	Malla
TNP	-	Tiempo No Productivo: medida para la calidad utilizada en Proquinal.
PVC	Polyvinyl chloride	Policloruro de Vinilo
PLC	Programmable Logic Controller	Programador Lógico Programable
SBC	Single Board Computer	Computador de Placa Única
ADC	Analog to Digital Converter	Convertidor de Analógico a Digital
DAC	Digital to Analog Converter	Convertidor de Digital a Analógico
STL	Statement List	Lista de Instrucciones: tipo de lenguaje del PLC
ST	Structured Text	Texto Estructurado: tipo de lenguaje del PLC
LD	Ladder Diagram	Diagrama Escalera: tipo de lenguaje del PLC
SFD	Sequential Function Chart	Diagrama de Bloques Secuencial: tipo de lenguaje del PLC
GRAF CET	Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition	Diagrama de Control con Etapas y Transiciones
IoT	Internet of Things	Internet de las Cosas
HMI	Human Machine Interface	Interfaz Humano Máquina
LAN	Local Area Network	Red de Área Local
VPN	Virtual Private Network	Red Privada Virtual
VNC	Virtual Network Computing	Computación Virtual en Red
-	Poles	Terminal común para las salidas
-	Throws	Terminales de salida
AD HOC	To This	Para Esto: término para soluciones realizadas para problemas específicos
CB	-	Ciclo de Batido
TB	-	Tiempo de Batido
FC	Function	Función: bloque de programa de PLC
DB	Data Block	Bloque de Datos: bloque de programa de PLC
FB	Function Block	Bloque de Función: bloque de programa de PLC
PROFINET	Process Field Network	Red de Campo de Proceso: protocolo de red

1 Introducción

1.1 Antecedentes y contexto

El presente proyecto se realiza mediante subcontratación por parte de la empresa Servicios Mecatrónicos SMET hacia la empresa Proquinal en Alajuela, Costa Rica, para el equipo de la sección de procesamiento de masas. Proquinal es una empresa de origen colombiana la cual se encarga de producir y exportar una amplia gama de textiles vinílicos, los cuales son comúnmente utilizados para la industria de transporte, náutica, de protección, vestuario y otras, que son enviados a países como España, Alemania y Reino Unido. Proquinal se expandió a Costa Rica en el año 2016 por lo cual se incrementó su cantidad de producción.

La sección de masas es una división de la planta donde se realizan algunos de los procesos iniciales a la materia prima que posteriormente se convertirá en la cara del vinilo la cual conlleva color y textura. Esta materia es llamada Plastisol formada por una mezcla de sustancias que se detallarán más adelante en este documento, todo el vinilo que se produce en la planta de Proquinal debe pasar por esta sección ya que aquí se dosifican las cantidades necesarias de sustancia para cada uno de los pedidos que se deben producir.

En esta división de la planta se cuenta con diez tanques para el almacenamiento del Plastisol como se muestra en la Figura 1.1 y la Figura 1.2, cada uno con un motor trifásico para agitar la sustancia, estos diez tanques son necesarios debido a que la composición del Plastisol puede variar dependiendo de los requerimientos del cliente, por ejemplo, para disminuir su grado de inflamabilidad o para que el resultado final sea más resistente. El objetivo de los tanques de agitación es mantener una sustancia homogénea y son necesarios para disminuir la viscosidad de la sustancia, para lograr extraerla de los tanques, ya que dicha sustancia en reposo aumenta su viscosidad y no es capaz de fluir por sí misma fuera del tanque.



Figura 1.1. Sección superior de los tanques de almacenamiento del Plastisol.



Figura 1.2. Sección inferior de los tanques de almacenamiento del Plastisol.

Los tanques están conectados a una interfaz que permite ingresar la cantidad de sustancia a extraer de cada tanque en kilos, el Plastisol extraído se vierte en ollas que se ubican sobre básculas como la mostrada en la Figura 1.3 las cuales se encargan de cerrar el tanque al alcanzar la cantidad a extraer indicada en la interfaz.



Figura 1.3. Olla sobre báscula de medición de contenido.

Para poder realizar esta extracción, el Plastisol tuvo que haber disminuido su viscosidad, ya que de lo contrario no fluiría hacia afuera del tanque, para encender los tanques se hace uso de los interruptores mostrados en la Figura 1.4, los cuales permiten que el equipo de la Figura 1.5 opere.



Figura 1.4. Interruptores para el encendido de los motores de los tanques.

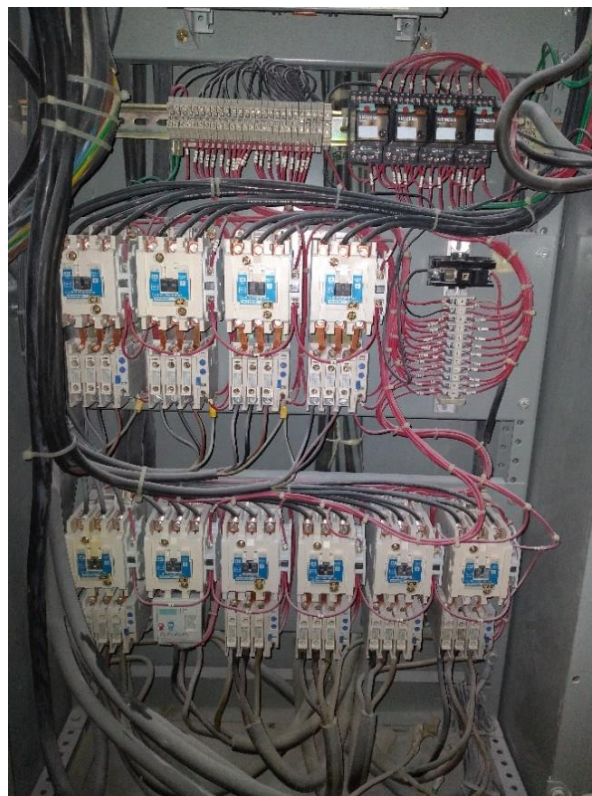


Figura 1.5. Circuito de alimentación de los motores de los tanques.

El Plastisol tiene la particularidad de ser susceptible a la fricción entre las partículas que lo componen cuando estas se ven sometidas a la agitación. Esta fricción aumenta la temperatura de la mezcla lo cual hace que entre en un punto que se conoce en la planta como de “quemado”, haciendo que el Plastisol se endurezca y no pueda extraerse del tanque.

1.2 Descripción del problema

Actualmente los tanques descritos para el procesado del Plastisol se encienden únicamente de forma manual, por lo cual se ven expuestos a una mala manipulación por parte de los operarios. Los motores trifásicos utilizados tienen un consumo eléctrico considerable y la manipulación actual permite que múltiples de estos motores se enciendan en el mismo instante, lo cual genera picos de corriente elevados inclusive en horas donde el costo del consumo eléctrico es elevado. Debido a la forma en que se calcula el costo de electricidad en Costa Rica los picos más elevados que se generen determinan la base del costo eléctrico de una empresa.

El costo del Plastisol representa un valor importante y si no se procesa adecuadamente, especialmente si se produce una agitación que “queme” la mezcla, se debe sustraer toda la sustancia del tanque para realizar una limpieza, lo cual implica costos en material, en tiempos de producción y en mano de obra. Debido a estas características el proyecto se estima por parte de los ingenieros como de suma importancia para la empresa.

Por otra parte, en la actualidad es necesario desplazar operarios de sus actividades para estar al tanto del procesamiento de las masas, controlando sus ciclos de trabajo, lo cual hace que el sistema sea propenso a ejecutar tiempos de operación imprecisos, aumentando el costo eléctrico y generando variaciones en la calidad del producto. Debido a esto se presentó la necesidad de un sistema de control y monitorización remota de los tanques.

Finalmente se presenta la necesidad de la realización de un estudio de tiempos en los ciclos de trabajo que deben seguir los tanques para mantener una calidad estandarizada en el producto final.

1.3 Síntesis del problema

Actualmente en Proquinal los tanques son manipulados de forma manual por los operarios, lo cual genera el riesgo de inducir daños en el producto o alterar su calidad al aplicar tiempos variables de agitación en la sustancia, este tipo de manipulación solo se puede realizar en el sitio donde se encuentra la maquinaria, esto disminuye la eficiencia del proceso al requerir el desplazamiento de operarios al lugar. Finalmente, la eficiencia del consumo energético de los tanques se ve afectada al ser encendidos de forma inadecuada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado y controlado de forma remota para la activación de los motores de los tanques de procesamiento de Plastisol en la empresa Proquinal que permita mejorar la eficiencia energética, la productividad y la calidad del producto.

1.4.2 Objetivos específicos

- 1 Evaluar la eficiencia de los ciclos de trabajo de los tanques de agitación de las masas a partir de una investigación del comportamiento de estas sustancias mediante herramientas matemáticas o de simulación.
- 2 Diseñar un sistema de automatización para el control de los motores que agitan la sustancia en los tanques, que permita manipular sus ciclos de trabajo.
- 3 Diseñar un sistema de monitorización y configuración en tiempo real del sistema de automatización que opere de forma remota.
- 4 Validar el sistema de automatización con control remoto diseñado de forma que se cumpla el funcionamiento requerido.

1.5 Estructura del documento

El presente documento se estructura según los siguientes apartados:

- Marco teórico: En este apartado se muestran las bases teóricas del proyecto, mostrando las fórmulas y diagramas utilizados en el diseño de la solución.
- Metodología: Esta sección trata con el proceso de diseño análogo al mostrado en el libro “Diseño y Desarrollo de Productos” de Ulrich y Eppinger para así generar una propuesta de solución que solvete las necesidades del proyecto.
- Experimento: Esta sección muestra el procedimiento llevado a cabo y los resultados del experimento para obtener los tiempos adecuados de ciclo y agitación del Plastisol.
- Propuesta de diseño: En esta sección se genera el diseño de detalle de los diferentes aspectos establecidos del proyecto, basándose así en conocimiento técnico para abordar los aspectos de la solución propuesta en la etapa de metodología.
- Guía de instalación: La guía de instalación es un segmento del documento que procura mostrar cómo realizar las conexiones de los equipos, además de la configuración del acceso remoto.
- Resultados y análisis: En esta sección se presenta la validación de la propuesta diseñada, además del análisis económico. El análisis económico es una sección donde se da un acercamiento a la parte financiera del proyecto donde se estudia la viabilidad de este desde un punto de vista monetario.

- Conclusiones y Recomendaciones: En última instancia, se proporcionan las conclusiones del proyecto y las recomendaciones que se pueden generar a partir de la elaboración de este para futuras iteraciones del diseño.

1.6 Aporte de ingeniería

El aporte de ingeniería que pretende otorgar este informe recae en el desarrollo y explicación de una solución que considera diferentes componentes de la Ingeniería Mecatrónica y las áreas que la conforman. Así generando un diseño integro, basado en criterio técnico para llegar a una propuesta funcional que tome en cuenta las características eléctricas y mecánicas del problema, para mantener un sistema de monitorización remota funcionando de forma óptima.

2 Marco teórico

2.1 Proceso del área de masas

El área de masas donde se procesa el Plastisol consta de varias etapas que parten de la selección de los compuestos que lo formarán, brindados por el laboratorio, hasta la salida del Plastisol con color. Luego de que este sea homogenizado en las ollas donde se almacena, como se describe en la información del Apéndice B.1, el proceso descrito por el ingeniero Madrigal se ilustra de forma resumida en la Figura 2.1 con el fin de ubicar la etapa de proceso en la que trabajan los tanques de almacenamiento por automatizar.

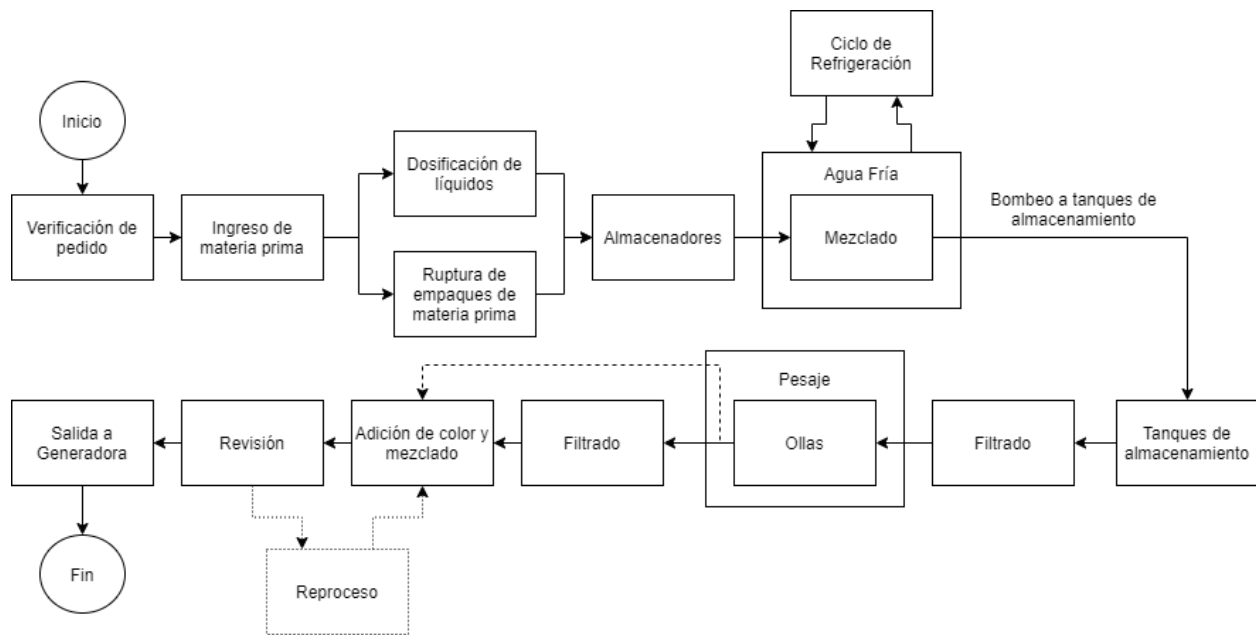


Figura 2.1. Procesamiento del Plastisol en el área de masas.

El proceso de la Figura 2.1 parte de la selección, del laboratorio de los componentes que formarán el Plastisol, como se verá en la siguiente subsección estos compuestos definirán las propiedades del producto final como la inflamabilidad. Con la composición generada se ingresa la materia prima en el proceso, algunos de los componentes entran al proceso en sacos, para lo cual existe maquinaria especializada para romperlos e introducir su contenido en almacenadores. Los sacos donde vienen los componentes pueden traer elementos indeseados como papel o astillas de las tarimas que los transportan, debido a este factor se requieren los procesos de filtrado posteriores.

La materia prima almacenada se introduce a una mezcladora que consiste en un tanque de gran tamaño con dos capas, este se muestra en la Figura 2.2. La primera capa tiene la función de regular la temperatura de la mezcla a partir de un ciclo de refrigeración por agua, esto es importante ya que como se verá luego, el Plastisol presenta cambios de temperatura por fricción mecánica al ser agitado, lo cual puede generar complicaciones severas en el proceso. La segunda

capa del tanque es la que contiene los componentes del Plastisol y cuenta con un motor para agitar la sustancia.



Figura 2.2. Tanque almacenador (superior) y mezclador (inferior) para la preparación del Plastisol.

Cuando la mezcla está lista es bombeada con el equipo de la Figura 2.3 a través de la tubería de la Figura 2.4 a la sección donde se ubican los tanques de almacenamiento (ver Figura 1.1), que como han sido descritos en este documento son un total de diez tanques, cada uno con su motor de agitación ubicado en la parte superior. Estos motores no aplican altas velocidades en la sustancia y son accionados de forma manual por los operarios, estos tanques son utilizados para almacenar el Plastisol y dosificar las cantidades necesarias para sacar los pedidos, pues es más eficiente mezclar todo el Plastisol que se requiere de un pedido en comparación de mantenerse mezclando con el proceso de refrigeración trabajando de forma constante.



Figura 2.3. Equipo de bombeo del Plastisol hacia los tanques de almacenamiento.

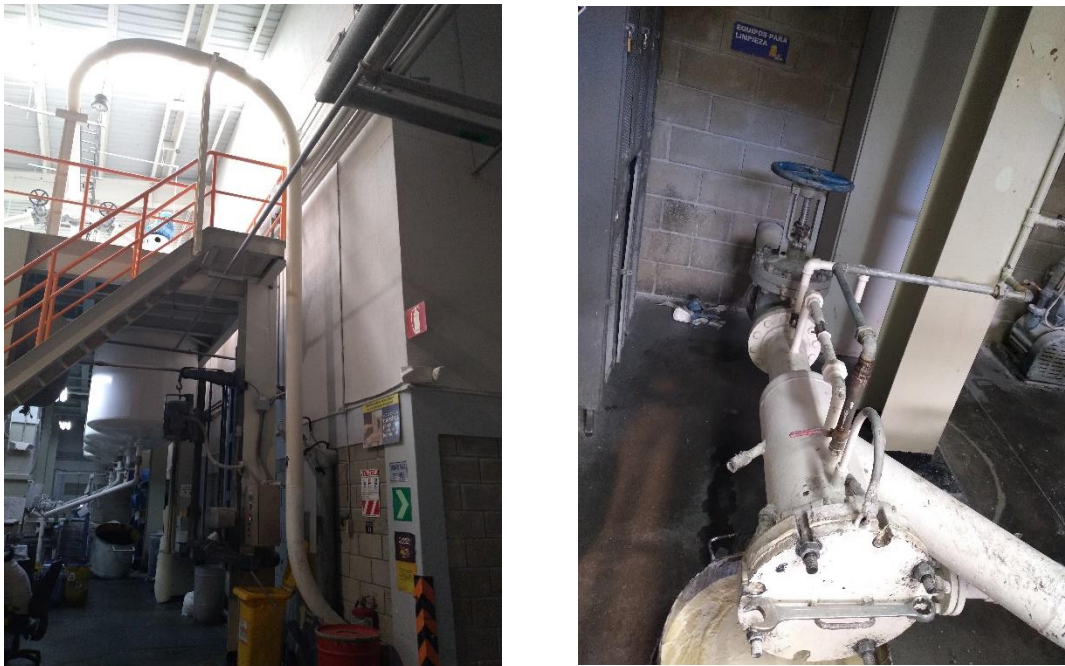


Figura 2.4. Tubería de transporte del Plastisol a los tanques de almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento son encendidos para disminuir la viscosidad de la sustancia para que esta cuente con la capacidad de fluir fuera del tanque, ya que, el Plastisol al ser almacenado cambia sus características de viscosidad. Según la conversación con el ingeniero Madrigal mostrada en el Apéndice B.1, dependiendo del Plastisol el proceso de filtrado puede realizarse en dos partes, la primera justo en la salida de los tanques como se muestra en la Figura 2.5 utilizando un mesh (malla) de 150 o 250 micras encargado de eliminar los papeles o astillas antes mencionados, además de cualquier otro elemento contaminante no deseado. Si el filtrado no se realiza justo al salir del tanque se realiza por un bombeo externo que hace pasar el Plastisol

de una olla a otra atravesando uno de estos mesh, en la Figura 2.1 se representan las opciones de filtrado mediante líneas conformadas por rayas.



Figura 2.5. Filtrado por malla de 250 micras en la salida del tanque.

Cuando el Plastisol sale del tanque es vertido en almacenadores móviles llamados ollas los cuales se colocan sobre básculas empotradas al suelo (ver Figura 1.3), programadas por los operarios para extraer solo cierta cantidad de sustancia.

Con el Plastisol filtrado se procede a añadir color a la sustancia lo cual representa un proceso de batido de aproximadamente una hora, al finalizar pasa por una revisión de laboratorio donde se revisa que el color sea uniforme y acorde al estándar de calidad. Si en esta revisión el resultado es negativo, el Plastisol debe ser reprocesado, esto representa pérdidas para la empresa, ya que muchos de los elementos del proceso están hechos para procesar Plastisol sin color por lo cual se añaden costos de limpieza de equipos y materiales. No existe otra opción más que el reproceso al tener un color no uniforme debido a que el Plastisol no se puede desechar en la planta, para evitar pérdidas grandes de materia prima, pero si el proceso se realiza de forma correcta esta etapa no es necesaria, debido a esto en la Figura 2.1 se ilustra con líneas punteadas.

Ante una respuesta positiva del laboratorio el Plastisol se envía a la máquina generadora, la cual se encarga de producir el vinilo, pero este proceso sale de los alcances del proyecto. La medición de calidad del área de masas se obtiene con el Tiempo No Productivo (TNP) el cual

consiste en la medición del tiempo en que la generadora no se encuentra operando debido al área de masas cuyo responsable es el ingeniero Madrigal.

El ingeniero Madrigal da un especial énfasis al reproceso del Plastisol debido a que puede cuantificarse como un TNP de una hora y treinta minutos por requerir volver a batir la sustancia y el lavado del equipo. Uno de los factores de que se deba realizar el reproceso es que los tanques no hayan sido encendidos en el momento adecuado y durante los tiempos correctos, ya que estos actualmente dependen de que un operario recuerde encender y apagar los tanques mientras realiza otras labores, es por esto por lo que se genera el proyecto en cuestión.

2.2 Plastisol

Los Plásticos según [1] son conocidos comúnmente como pastas y son dispersiones de polvos de PVC en plastificantes. Para producir Plásticos se utiliza una amplia gama de plastificantes. Un buen plastificante debe tener baja volatilidad, bajo nivel de color, reacción neutra, resistencia a la hidrólisis, insolubilidad en agua, resistencia al fuego y no toxicidad. Como ningún plastificante puede satisfacer todas las propiedades, se realiza una combinación para obtener las características deseadas en el producto final, en la Tabla 2.1 se muestra la influencia de los plastificantes en las características del Plastisol, la Tabla 2.2 muestra la influencia de los plastificantes en el producto final y la Tabla 2.3 la influencia de las características de la resina en el Plastisol y las propiedades del producto final.

Tabla 2.1. Influencia de plastificantes en las propiedades del Plastisol. Fuente: [1].

Propiedades del Plastisol	Plastificantes*
Baja temperatura de fusión	DBP, BBP, TCP
Baja viscosidad	DOA, DOS, DIPA
Alta viscosidad	BBP, TCP, Poliméricos.
Alta temperatura de fusión	DIDA, DOZ, DTDP, DOS, Poliméricos

*DBP = ftalato de dibutilo, BBP = ftalato de butilbenceno, TCP = ftalato de tricresilo, DOA = adipato de dioctilo, DOS = sebacato de dioctilo, DIDA = adipato de diisodecilo, DOZ = azelato de dioctilo, DTDP = ftalato de ditridecilo.

Tabla 2.2. Influencia de plastificantes en las propiedades del producto final. Fuente: [1].

Propiedades del producto	Plastificantes
Retardante de llama	Fosfatos, parafinas cloradas
Resistencia al calor y la luz	Plastificantes epoxi
Flexibilidad a baja temperatura	Adipatos, azelatos, sebacatos, ftalatos de cadena lineal
Baja volatilidad	Poliméricos, trimelitados, ftalatos lineales, plastificantes epoxi
Resistencia a las manchas	Ftalato de butilbenceno
Baja migración	Poliméricos, trimelitados

Tabla 2.3. Influencia de las características de la resina en el Plastisol y en las propiedades del producto final. Fuente: [1].

Propiedades del Plastisol y el producto	Efecto de las características de la resina			
	Masa molecular	Tamaño de partículas	Distribución del tamaño de las partículas	Tipo y cantidad de emulsificante
Creación de pasta		S	S	S
Viscosidad del Plastisol		S	S	S
Liberación de aire				S
Gelación	M	M	M	S
Fusión	S			
Propiedades mecánicas	S			
Brillo	M	S	M	
Transparencia		S		S
Espumante	S	M		S
Empañamiento				S
Flujo rayado		S		
Resistencia al agua				S

*M = efecto moderado, S = efecto fuerte

La cantidad de plastificante utilizada en la formulación del Plastisol juega un papel crucial en la determinación de la dureza y flexibilidad del producto final, como se puede ver en la Figura 2.6.

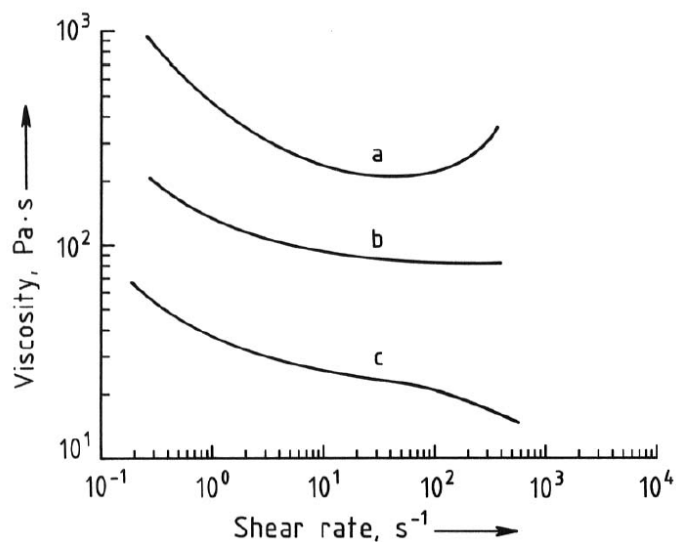


Figura 2.6. Influencia del contenido de plastificante en la viscosidad del Plastisol. a) PVC/DINP=100/40; b) PVC/DINP=100/50; c) PVC/DINP=100/60; DINP=ftalato de diisononilo. Fuente: [1].

Otros ingredientes esenciales en la formulación del Plastisol son:

- Estabilizadores térmicos, los cuales generalmente son los mismos componentes usados para los polímeros en suspensión.
- Tintes y pigmentos aptos para colorear Plastisoles, el más utilizado es el dióxido de titanio.
- Rellenos, generalmente materiales orgánicos como carbonato de calcio, barita, silicato caolín o arcilla china, se utilizan principalmente para disminuir costos e impartir propiedades especiales como dureza, abrasión, resistencia y disminución de adhesión.
- Agentes espumantes para la producción de PVC espumado como la azodicarbonamida.
- Absorbentes ultravioleta para prevenir la descomposición por acción de los rayos de sol.
- Ésteres de poli (etileno o glicol), fosfato ésteres, aminas de ácidos grasos y las amidas son empleados como agentes antiestáticos.
- Depresores de la viscosidad, como el aguarrás poli (etileno o glicol) monolaurato, alquifenoles, parafinas de bajo peso molecular.
- Resina extendida o polímero de relleno, un grado de PVC de forma esférica hecho por proceso de suspensión y más barato que la resina de dispersión, utilizado para reducir costos y viscosidad del Plastisol. [2], [3]

La influencia de los ingredientes del Plastisol en el producto final se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Influencia los ingredientes del Plastisol en las características del producto final.

Fuente: [1].

Características	Relleno	Pigmento	Estabilizadores	Cantidad de plastificante	Tipo de Plastificante	Resina
Propiedades de tensión	M			S	M	S
Flexibilidad	M			S	M	
Dureza	M			S	M	
Resistencia de doblado a baja temperatura	M			S	S	M
Brillo	S	S				
Volatilidad				S	S	S
Extracción				S	S	
Color	S	S	M			
Resistencia a la luz		S	S		M	
Costo	S		M	M	M	

*M = efecto moderado, S = efecto fuerte

2.2.1 Interacción polímero-plastificante

Dentro de una amplia gama de esfuerzos cortantes, un tipo de Plastisol puede exhibir tres tipos de comportamientos de viscosidad mostrados en la Figura 2.7, los cuales son:

- Newtoniano: la viscosidad es independiente del esfuerzo cortante.
- Pseudoplástico: su viscosidad disminuye conforme incrementa el esfuerzo cortante.
- Dilatante: La viscosidad incrementa conforme aumenta el esfuerzo cortante.

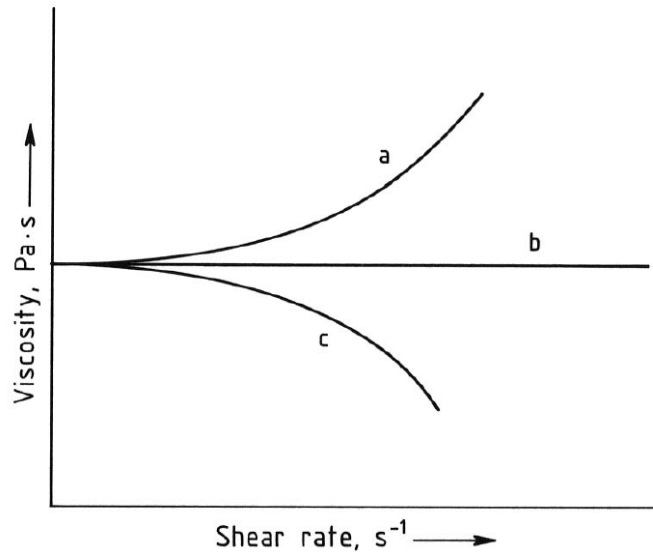


Figura 2.7. Efecto del esfuerzo cortante en fluidos de tipo a) Dilatante, b) Newtoniano y c) Pseudoplástico. Fuente: [1].

Esta propiedad es la que se utiliza en la planta de Proquinal para poder extraer el Plastisol de los tanques de almacenamiento, ya que el Plastisol ante bajos esfuerzos cortantes como los producidos por los motores de agitación de los tanques se comportan como Pseudoplásticos, disminuyendo su viscosidad y permitiéndoles ser capaces de fluir, en valores intermedios se comportan como dilatantes y algunas veces vuelven a comportarse como Pseudoplásticos a valores más altos de esfuerzo cortante.

Según lo mencionado por el ingeniero Madrigal, en el Apéndice B.1, el Plastisol puede llegar a puntos de equilibrio donde su viscosidad no varía más al dejarse en reposo y que al agitarse demasiado llega a endurecerse. El comportamiento descrito del Plastisol se evidencia en la Figura 2.8 donde se presenta el comportamiento de un tipo de Plastisol ante la variación del esfuerzo cortante. La reología de los Plastisoles es compleja y se ve afectada por muchos factores como:

- Proporción de mezcla polímero/plastificante.
- Tipo de plastificante y su interacción con el polímero.

- Tamaño de partículas y su distribución de partículas primordiales.
- Tensioactivos agregados durante la polimerización o en la pasta.
- Masa molecular y distribución de masa.

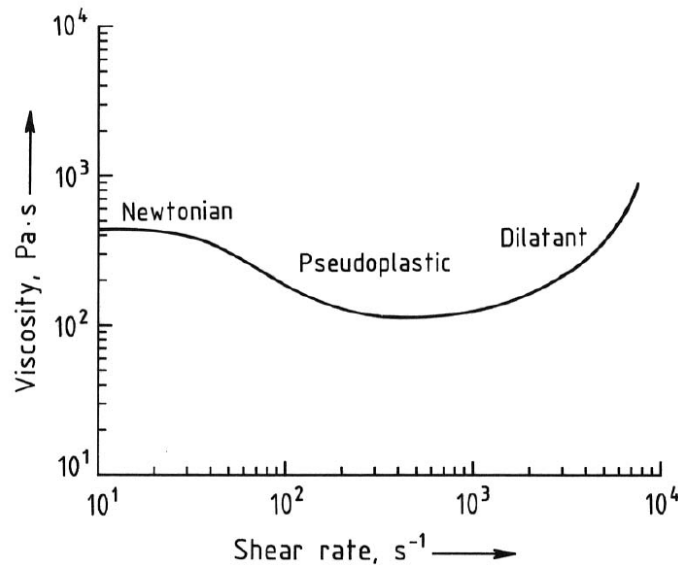


Figura 2.8. Efecto del esfuerzo cortante en la viscosidad de un Plastisol de PVC (PVC/DINP=100/50 a $T=25^{\circ}\text{C}$). Fuente: [1].

2.2.2 Gelación y fusión

Según [1] la gelación es definida como el cambio de un líquido a un estado semi sólido y fusión cuando se alcanza una fase homogénea a nivel molecular entre un polímero y un plastificante. Estos procesos han sido examinados al determinar los cambios de viscosidad en el sistema del líquido, la fuerza de tensión y cambios en la viscosidad y las propiedades viscoelásticas en un rango de temperatura entre 25°C a 200°C .

Al inicio del calentamiento, la viscosidad de los plastificantes disminuye, así como la viscosidad del Plastisol. Al mismo tiempo las partículas del polímero absorben plastificante y por esto se hinchan, reduciendo la fracción de líquido plastificante, lo que hace que la viscosidad aumente rápidamente. Cuando la fase líquida es absorbida por completo por las partículas el sistema, se seca.

Conforme avanza el proceso los límites entre partículas desaparecen y las cadenas de los polímeros se entrelazan cada vez más, comenzando el desarrollo de las propiedades físicas. A este punto la etapa de gelación está completa y el proceso de fusión inicia.

El calentamiento adicional del Plastisol hace que el polímero fluya en una masa continua. La viscosidad, después de haber alcanzado su máximo comienza a disminuir y el proceso pasa a través de la etapa de fusión. La morfología de las partículas, el tamaño de estas, la distribución de su tamaño y la masa molecular afectan el comportamiento de la viscosidad.

Una resina de baja masa molecular inicia la fase de gelación antes y termina esta etapa a menor temperatura, lo mismo ocurre al utilizar plastificantes con mayor acción solvente, mientras que un tamaño de partícula mayor aumenta la temperatura de gelación o su tiempo ya que ralentiza la penetración de plastificantes en la resina. [4]

La Figura 2.9 muestra los cambios que presenta el Plastisol en términos mecánicos y morfológicos al variar la temperatura del Plastisol.

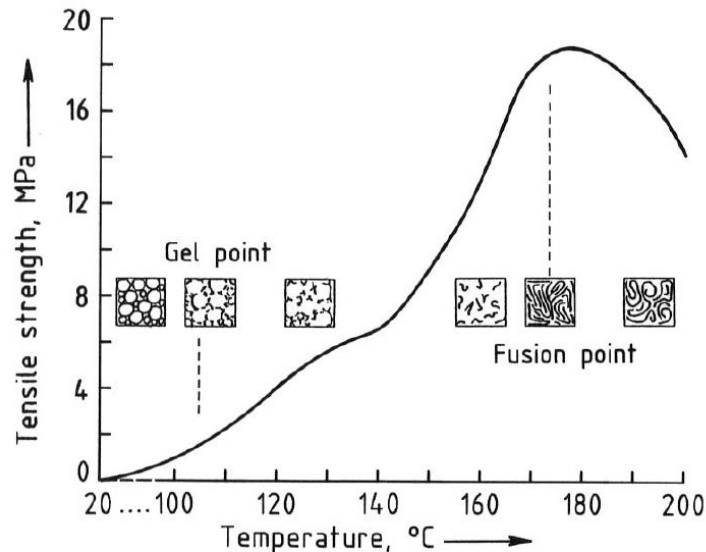


Figura 2.9. Cambios en la morfología y propiedades mecánicas del Plastisol de PVC durante la gelación y la fusión. Fuente: [1].

2.3 Tarifa de consumo eléctrico

El servicio de energía eléctrica en la empresa Proquinal es brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y cuentan con una tarifa de tipo T-MT Media tensión tipo b, este tipo de tarifa es un servicio opcional al de media tensión regular, donde se deben consumir como mínimo 1 000 000 kWh/mes de energía y 2 000 kW/mes de potencia y deben comprometerse a mantener este consumo al menos 10 meses de cada año. [5]

En caso de no cumplir con las condiciones, a las empresas se les cobran los kW necesarios para cumplir los requerimientos y son reclasificados a una tarifa de media tensión regular, las tarifas de la media tensión tipo b son establecidas con bandas, donde mediante una valoración se asigna un precio dentro del rango de los mínimos y máximos tanto para el rubro de energía como el de potencia.

Las bandas descritas presentan los costos indicados en la Tabla 2.5, existen dos tipos de costos, el cargo por energía y el cargo por potencia, el cargo por energía consiste en el promedio de consumo por hora que ha tenido la empresa durante el mes de facturación, mientras que el de potencia consiste en el cargo realizado debido a la máxima potencia en kW que fue requerida por la empresa.

Debido al cargo de potencia en Proquinal existe la responsabilidad de disminuir el consumo energético que pueda producirse en un instante determinado, ya que, si durante todo el mes se mantiene una potencia moderada, pero, en cierto día múltiples máquinas encienden en el mismo instante el cargo de potencia aumentará considerablemente la tarifa.

Tabla 2.5. Costos mínimos y máximos de las bandas de consumo en la facturación del ICE.

Fuente: [5].

Cargo por energía, por cada kWh		
Periodo	Mínimo	Máximo
Punta	₡ 86.18	₡ 90.59
Valle	₡ 29.60	₡ 31.12
Nocturno	₡ 19.01	₡ 19.99
Cargo por potencia, por cada kW		
Periodo	Mínimo	Máximo
Punta	₡ 2531.02	₡ 2660.59
Valle	₡ 1766.89	₡ 1857.35
Nocturno	₡ 1132.27	₡ 1190.23

Un rubro adicional del servicio de energía corresponde al del alumbrado público, el cual tiene un costo de ₡3.72 por cada kWh de consumo de electricidad, la cual tiene un cargo fijo mínimo de 40 kWh y un máximo de aplicación de 50 000 kWh por mes.

La definición de los periodos horarios para el cálculo de la tarifa son los siguientes:

- Periodo punta: definido como el periodo comprendido entre las 10:01 y las 12:30 horas y entre las 17:31 y las 20:00 horas.
- Periodo valle: comprendido entre las 6:01 y las 10:00 horas y entre las 12:31 y las 17:30 horas.
- Periodo nocturno: comprendido entre las 20:01 y las 6:00 horas del día siguiente.

2.4 Potencia activa y de arranque de un motor de inducción

En un circuito de corriente alterna (un motor de inducción), se tienen tres tipos de potencia que son suministradas a la carga las cuales según [6] son:

- La potencia real es la potencia promedio que aplica una fuente a una carga.
- La potencia reactiva es el componente de la potencia que se intercambia constantemente entre la fuente y la carga.
- Y la potencia aparente es la que parece que se aplica a la carga si solo se consideran las magnitudes de las tensiones y las corrientes.

La relación de las potencias suministradas a una carga se representa por medio del triángulo de potencias, el cual se muestra en la Figura 2.10 donde θ es el ángulo de impedancia, el lado

adyacente es la potencia real P suministrada a la carga, el lado opuesto es la potencia reactiva Q suministrada a la carga y la hipotenusa es la potencia aparente S de la carga.

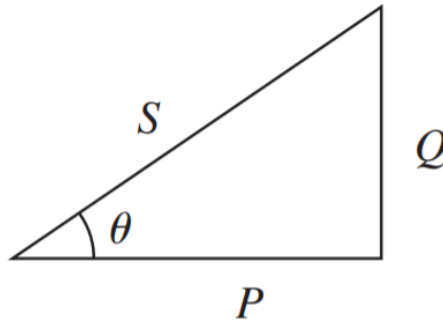


Figura 2.10. Triángulo de potencia. Fuente: [6]

La cantidad $\cos \theta$ se conoce como el factor de potencia de una carga, la cual se define como la fracción de potencia aparente que en realidad suministra potencia real a la carga, dada por la Ec. (2.1).

$$FP = \cos \theta = P/S \quad (2.1)$$

Si $\cos \theta = 0$ con $\theta = 90^\circ$, entonces $P = 0$ y es un circuito con potencia puramente reactiva, si $\cos \theta = 1$ con $\theta = 0^\circ$, entonces $P=S$ y es un circuito con potencia puramente activa. Entre más cercano sea este valor a 1 más eficiente es el motor.

La potencia eléctrica activa de un motor de inducción corresponde a la potencia que entrega la red eléctrica al equipo para que este realice su operación. En la Figura 2.11 se muestra la placa del motor de inducción de la planta de Proquinal para la agitación del Plastisol, aquí pueden obtenerse los valores de corriente de arranque, corriente nominal y la tensión a la que trabaja el motor en cuestión además de su valor de eficiencia.

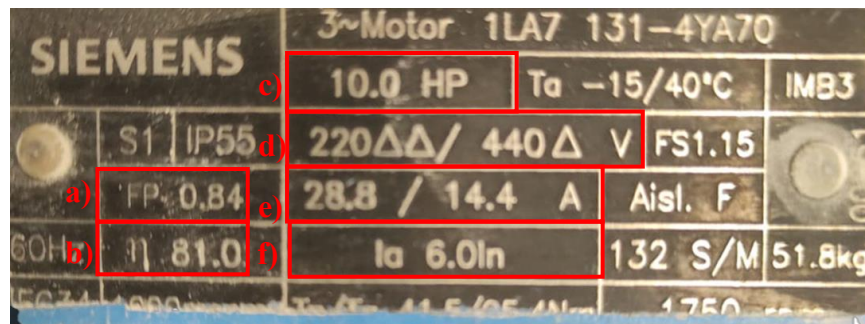


Figura 2.11. Placa del motor de un tanque de almacenamiento de Plastisol a) Factor de potencia; b) Eficiencia; c) Potencia de salida d) Tensión del motor; e) Corriente nominal; f) Corriente de arranque.

Para determinar esta potencia eléctrica activa se hace uso de la potencia de salida del motor y su eficiencia [6] como se muestra en la Ec. (2.2), donde se ingresan los valores mostrados en la

Figura 2.11 para obtener el resultado de la Ec. (2.4), en esta ecuación se debe hacer uso de la potencia en unidades de kilowatts, por lo que se ingresa el valor convertido.

$$\text{Potencia eléctrica activa} = \text{Potencia mecánica de salida} / \text{Eficiencia} \quad (2.2)$$

$$\text{Potencia eléctrica activa} = 7.457 \text{ kW} / 0.81 \quad (2.3)$$

$$\text{Potencia eléctrica activa} = 9.2052 \text{ kW} \quad (2.4)$$

Para determinar el pico de potencia de un motor trifásico se requiere conocer la corriente de arranque del motor para lo cual se hace uso de su placa de datos.

Según [6] la corriente de arranque de un motor de inducción puede estar entre 4 y 8 veces la corriente nominal del motor, esto debido a que requieren de una potencia inicial elevada para poder vencer todas las resistencias desde el reposo del motor hasta su velocidad final. A medida que aumenta la velocidad, la corriente de arranque disminuye hasta llegar a su corriente nominal. La Figura 2.12 muestra el gráfico del comportamiento de la corriente del motor respecto del cambio de velocidad y se señala la corriente nominal del mismo con base en la placa de la Figura 2.11.

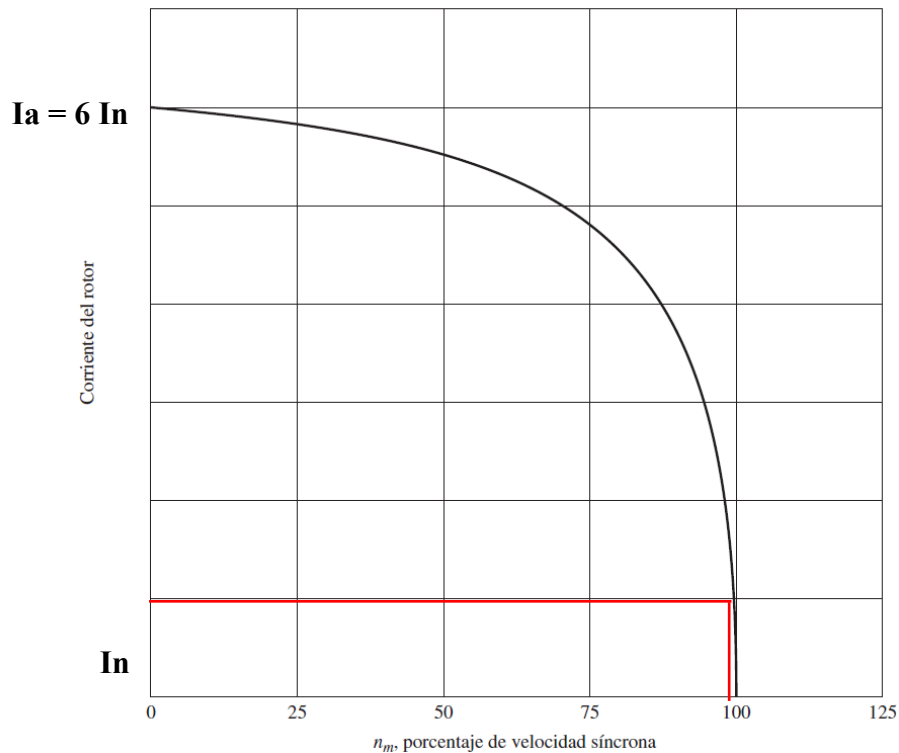


Figura 2.12. Corriente del motor de inducción con su corriente de arranque y nominal señalizada. Fuente: [6].

Un motor de inducción presenta una demanda pico de corriente en el arranque, por lo cual si un sistema requiere el arranque de múltiples motores se deben encender en secuencia, de lo contrario se afectaría la vida útil del equipo de alimentación.

Con los valores de corriente nominal, la tensión del motor y la relación de la corriente de arranque con la nominal se puede hacer uso de las siguientes fórmulas para el cálculo de la potencia de arranque del motor y por ende el consumo eléctrico generado por el mismo. Para la corriente de arranque:

$$I_a = 6.0 I_n \quad (2.5)$$

La corriente nominal depende del tipo de conexión eléctrica que se tenga en el motor de inducción la cual para este caso puede ser de doble delta o delta. En la planta de Proquinal se hace uso de los contactores Cutler-Hammer AN16GN0 mostrados en la Figura 2.13, según puede extraerse de la tabla de especificaciones de su hoja de datos mostrada en el Anexo A.1 para motores trifásicos con una potencia de salida menor a 15 HP se hace uso de conexiones de 440 V, debido a esto se extrae que los motores de la planta deben estar conectados en una configuración tipo delta.

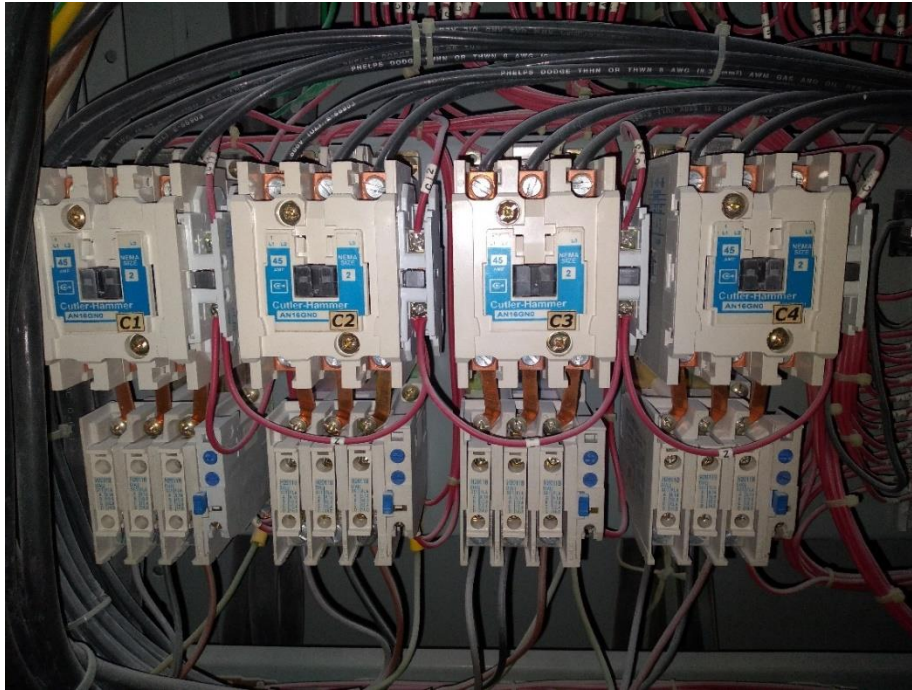


Figura 2.13. Contactores utilizados para la alimentación de los motores de los tanques en la empresa Proquinal.

Lo anterior permite identificar la corriente nominal actual del motor de inducción, la cual se utiliza en conjunto con la tensión de alimentación en la siguiente ecuación para obtener la potencia de arranque del motor.

$$\text{Potencia de arranque activa} = V_L I_a \text{Cos}\theta \sqrt{3} \quad (2.6)$$

$$\text{Potencia de arranque activa} = 440 \text{ V} * 6.0 * 14.4 \text{ A} * 0.84 \sqrt{3} \quad (2.7)$$

$$\text{Potencia de arranque activa} = 55.310 \text{ kW} \quad (2.8)$$

Con la potencia de arranque obtenida se puede estimar el consumo de potencia del sistema para obtener su costo eléctrico.

2.5 Tiempo de arranque

La intensidad de arranque de un motor de inducción es siempre mucho más alta que la intensidad nominal, y un exceso en el tiempo de arranque produce una elevación de temperatura que puede ser perjudicial para el motor. La sobreintensidad lleva consigo esfuerzos electromecánicos, a lo cual los fabricantes suelen establecer un tiempo de arranque máximo en función del tamaño del motor y de la velocidad. La norma IEC 34-12, en lugar del tiempo de arranque especifica el momento de inercia permitido de la máquina accionada. [7]

Si se conoce el par medio de aceleración, se puede determinar aproximadamente el tiempo de duración del ciclo de arranque, desde una velocidad nula hasta la de servicio, mediante la siguiente ecuación:

$$t_a = \frac{\sum J \cdot n_b}{9,55 M_{bmi}} \quad (2.9)$$

Donde:

- t_a = tiempo de arranque (s).
- J = momento de impulsión total (kgm²).
- n_b = velocidad de rotación de servicio (rpm).
- M_{bmi} = par medio de aceleración (Nm).

La Figura 2.14 muestra un método para determinar de forma relativamente exacta el par medio de aceleración. Gráficamente se obtiene un valor medio de la característica del par motor y del par resistente.

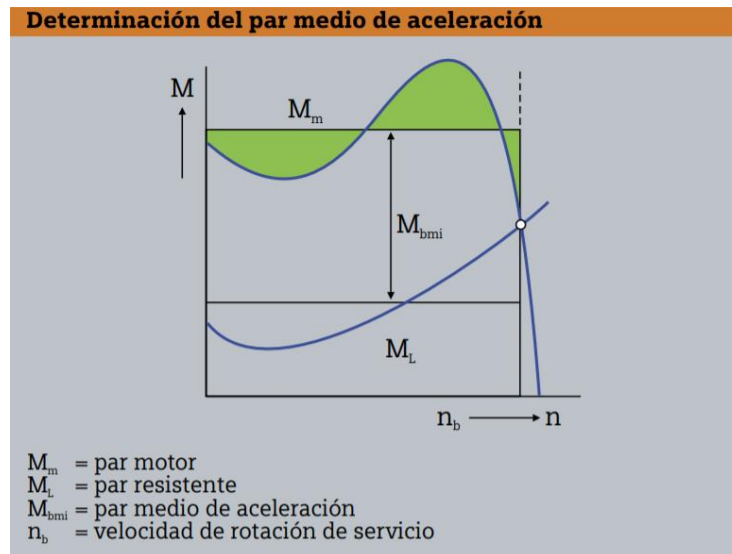


Figura 2.14. Método gráfico para la determinación del par medio de aceleración para la obtención del tiempo de arranque de un motor de inducción. Fuente: [8].

El momento de inercia total es igual al momento de inercia del motor más el correspondiente a las poleas (reducido a la velocidad de rotación del eje del motor). Si el tiempo de arranque calculado fuese superior a 10 segundos debe determinarse la validez del arranque debido al calentamiento del motor. En caso de que, por ser el momento de inercia y el par resistente elevados, no se pueda conseguir un arranque correcto, entonces se requeriría un motor de mayor tamaño. [8]

2.6 Controladores

Existen múltiples dispositivos de control que pueden hallarse en el mercado, entre estos los microcontroladores, los PLC y las computadoras de placa única. Las características principales para seleccionar uno de estos controladores consideran el costo, la cantidad de entradas y salidas, la cantidad de memoria, la facilidad de implementación, el tipo de configuración y el tamaño.

2.6.1 PLC

Un controlador Lógico Programable es un dispositivo diseñado para el control de sistemas de carácter industrial y algunos sistemas donde la confiabilidad debe ser alta. Inicialmente fueron desarrollados para reemplazar relés, secuenciadores y temporizadores en la industria de la automatización, pero han avanzado y están siendo utilizados para cualquier tipo de proceso de manufactura.

La razón más importante para la adopción de esta tecnología se encuentra en la robustez y la habilidad de soportar los ambientes hostiles en las áreas de manufactura. Por otra parte, son un operador de tiempo real capaces de brindar salidas procesadas ante diversas entradas en tiempos cortos. [9]

2.6.2 Microcontroladores

Los microcontroladores son elementos pequeños de computación en un pequeño chip que contiene núcleos de procesamiento y memorias incorporadas, con un conjunto de entradas y salidas programables multipropósito. Estos son utilizados en aplicaciones del día a día que requieren cumplir con acciones repetitivas. Los microcontroladores usualmente no pueden trabajar por sí mismos y requieren de dispositivos externos para operar. [9]

2.6.3 Computadores de placa única

Las computadoras de placa única o Single Board Computer (SBC) son ordenadores completos en la que una placa de circuito comprende la memoria, entradas y salidas, un microprocesador y demás elementos para operar. Su diseño compacto reduce el número de placas de circuito y conectores. Los SBC se utilizan principalmente en aplicaciones integradas. También se utilizan en aplicaciones de control de procesos, como los sistemas robóticos complejos y las aplicaciones de uso intensivo de procesadores. A menudo se consideran una excelente alternativa a los microcontroladores. [10]

La Tabla 2.6 muestra un resumen comparativo entre los PLC, los microcontroladores y los computadores de placa única.

Tabla 2.6. Comparación entre PLC, Microcontroladores y Computadores de placa única.

Fuentes: [9], [10].

Característica	PLC	Microcontrolador	SBC
Tamaño	Mediano – Grande.	Pequeño.	Pequeño.
Tipos de configuración	Modular – Compacta.	Compacta, pero para algunas aplicaciones requieren módulos externos.	Compacta.
Facilidad de implementación	Requiere conocimiento bajo de programación.	Requiere conocimiento medio de programación.	Requiere conocimiento medio - alto de programación.
Costo	Mayor a \$300 en los modelos más económicos pudiendo llegar a miles de dólares.	Menor a \$100 regularmente.	Entre \$75 y \$150 regularmente.
Conversión ADC y DAC	Posee ambos tipos de conversión usualmente.	Posee ADC en los puertos de entrada normalmente, pero requiere complementos para realizar DAC.	Posee ADC en los puertos de entrada normalmente, pero requiere complementos para realizar DAC.
Memoria	Alto valor de memoria.	Valor moderado de memoria.	Valor moderado de memoria usualmente variable.
Puertos y entrada y salida	Múltiples cantidades de entradas y salidas influyentes en su costo.	Cantidad pequeña de entradas y salidas orientado a aplicaciones pequeñas.	Cantidad pequeña de entradas y salidas orientado a aplicaciones pequeñas.

2.7 Lenguajes de programación para interfaces de usuario

2.7.1 Python

Python es un lenguaje de programación multipropósito, versátil y potente, además es de acceso libre y permite generar software para una amplia variedad de aplicaciones. Python es muy recomendado para ser el primer lenguaje de aprendizaje al entrar en el mundo de la programación por su uso simple y conciso.

Este lenguaje de programación debido a las características mencionadas y gracias a que al ser software libre los mismos usuarios pueden generar bibliotecas para el uso de la comunidad, presenta gran variedad de herramientas para la generación de interfaces gráficas como lo son Pygame, Tkinter y OpenCV. [11]

2.7.2 C++

C++ es un lenguaje de programación estandarizado que compila directamente con el lenguaje nativo de un ordenador, lo que hace que sea uno de los lenguajes más rápidos del mundo en código optimizado. C++ requiere que el usuario tenga cierto grado de conocimientos

del lenguaje, pero este a su vez le brinda una amplia gama de control. Además, es un lenguaje con alto nivel de soporte en las librerías que posee y es capaz de ser utilizado en una gran variedad de compiladores [12]. Por esto C++ presenta una opción a considerar para desarrollar interfaces gráficas.

2.8 Lenguajes de programación de un PLC

Existen dos tipos de lenguajes que se dividen en visuales y escritos o también conocidos como gráficos y textuales. Los lenguajes gráficos se catalogan como de alto nivel mientras los textuales son considerados de nivel bajo. Los lenguajes de bajo nivel son los que se compilan directamente con el microprocesador y los de alto nivel cuentan con una interfaz gráfica que facilita su programación, pero se limita a sus parámetros preestablecidos. [13]

2.8.1 Lenguajes de texto o nivel bajo

2.8.1.1 Lista de instrucciones (IL o STL)

Suele ser utilizado para pequeñas aplicaciones debido a la complejidad de su estructura, es similar al lenguaje ensamblador. Emplea instrucciones de mando que el procesador obedece siempre y cuando existe la parte operacional y el operando que da respuesta a la operación.

2.8.1.2 Texto estructurado (ST)

Utilizado para codificar expresiones aritméticas complejas con valores analógicos y digitales. Dispone de estructuras para bucles, funciones y condicionales, soporta ciclos de interacción y particularmente alterna letras, mayúsculas y minúsculas en su código.

2.8.2 Lenguajes gráficos o de alto nivel

2.8.2.1 Diagrama escalera, ladder o de contacto (LD)

Es el lenguaje de interfaz gráfica más utilizado en su campo, su nombre se debe a su forma estructural semejante a una escalera por donde corren dos rieles verticales llamados lógica 1 y 2. El riel izquierdo (L1) es quien recibe el flujo de energía (entrada) que representa su voltaje y deja pasar la energía al riel derecho que representa la tierra (salida), La lectura siempre obedece la misma instrucción de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Su naturaleza es ser simple y fácil de usar, ahorrando tiempo y costos.

2.8.2.2 Diagrama de bloques (SFD)

Es utilizado para la representación gráfica de un proceso mediante símbolos lógicos, su elemento más característico son los bloques de función que albergan las variables que transformarán la secuencia. Las señales de salida son el producto de la señal de entrada y la operación del bloque que representa una variable asignada, las cuales nunca se conectan entre sí.

2.8.2.3 Diagrama de funciones secuenciales (SFC)

Es una representación diagramática de secuencias de control en un programa en el que se pueden organizar subrutinas o etapas que van afectando el producto de las funciones anteriores

La energía fluye de un punto a otro siempre y cuando se haya cumplido una condición. Este lenguaje viene del estándar francés GRAFCET que utiliza etapas, transiciones y acciones para su funcionamiento.

2.9 Herramientas de control remoto

2.9.1 TeamViewer

TeamViewer es una plataforma de conectividad remota basada en la nube que permite la conexión a múltiples dispositivos a través de múltiples plataformas como Android, Linux, Windows, y otros. Esta herramienta conecta computadoras, smartphones, servidores, dispositivos de IoT con conexiones rápidas y de alto rendimiento a través de una red de acceso global. [14]

2.9.2 Enrutador industrial

Un enrutador industrial consiste en un Gateway de borde IoT, capaz de conectar controles de máquinas, HMI, robots y demás dispositivos industriales mediante una LAN. Este dispositivo puede ser accesado mediante 4G, wifi o Ethernet estableciendo una conexión segura por VPN a una nube. [15]

2.9.3 VNC Viewer

Esta aplicación tiene la capacidad de administrar los equipos de una red en cualquier momento y desde cualquier ubicación, pudiendo conectarse sin la necesidad de instalar un software de acceso remoto. Esta aplicación presenta la capacidad de conectarse a una interfaz gráfica de un PLC como lo es un HMI. [12]

2.10 Dispositivos de interrupción aislada

2.10.1 Relés

Los relés sirven para activar un circuito que tiene un consumo considerable de electricidad mediante un circuito de pequeña potencia encendiendo una bobina. Los relés operan como un interruptor, abriendo y cerrando el paso de la corriente eléctrica, accionando un electroimán el cual atrae contactos haciéndolos cambiar de posición. La Figura 2.15 muestra la conexión interna típica de un relé. [13]

Los relés presentan ventajas como la adaptación sencilla a diferentes valores de tensión, la resistencia a altas temperaturas y el aislamiento entre dos niveles de potencia, sin embargo, a su vez las desventajas que poseen son la creación de arcos voltaicos, el ruido de conmutación y un elevado tiempo de conmutación.

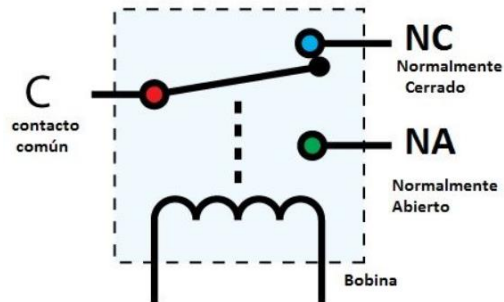


Figura 2.15. Conexión interna típica de un relé. Fuente: [13].

Los relés pueden ser clasificados según sus entradas y salidas (Poles & Throws) de la siguiente manera:

2.10.1.1 Single Pole Single Throw (SPST)

Un relé de polo simple de un solo tiro es un dispositivo que solo puede controlar un circuito mientras que el tiro quiere decir que este polo posee una única posición en la cual puede conducir. El diagrama de este tipo de relé se muestra en la Figura 2.16. [18]

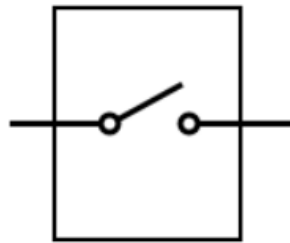


Figura 2.16. Diagrama eléctrico del relé SPST. Fuente: [18].

2.10.1.2 Single Pole Double Throw (SPDT)

Este tipo de relé puede controlar un solo circuito a la vez, donde el mismo tiene la capacidad de conducir en dos posiciones distintas. En este dispositivo el relé tiene dos estados y en cada uno un circuito permanece cerrado mientras el otro abierto. Su diagrama de conexión se muestra en la Figura 2.17.

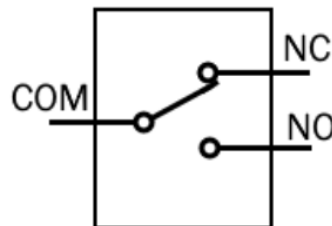


Figura 2.17. Diagrama eléctrico del relé SPDT. Fuente: [18].

2.10.1.3 Double Pole Single Throw (DPST)

Esta clase de relé opera de manera muy similar al SPST, pero se controlan dos circuitos simultáneamente con la misma bobina de forma que estos dos circuitos solo poseen un estado de conexión. El diagrama de este dispositivo se muestra en la Figura 2.18.

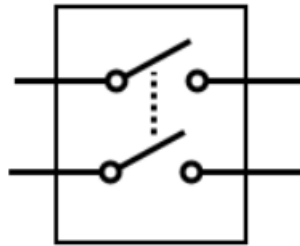


Figura 2.18. Diagrama eléctrico del relé DPST. Fuente: [18].

2.10.1.4 Double Pole Double Throw (DPDT)

En esta clase de conexión se poseen dos relés de tipo SPDT que operan de forma simultánea, se controla dos circuitos a la vez con dos posibles estados de conexión para cada uno de ellos. El diagrama de este dispositivo se muestra en la Figura 2.19.

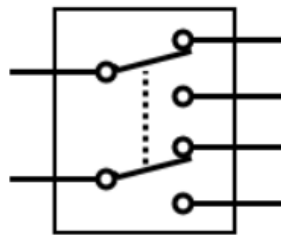


Figura 2.19. Diagrama eléctrico del relé DPDT. Fuente: [18].

2.10.2 Optoacopladores

Un optoacoplador u optoaislador es un circuito electrónico que funciona como un interruptor aislado ópticamente. Es decir, que conecta dos circuitos que operan a distintos voltajes de forma aislada. Está construido por un LED y un circuito de control activado por luz infrarroja siendo esta luz la única conexión entre los circuitos. El circuito de control puede ser de diversos tipos, entre estos el opto-transistor, un TRIAC, un transistor Darlington, SCR o una compuerta digital. Cada uno de estos con sus propiedades particulares [14]. La Figura 2.16 muestra el diagrama de conexión interno de algunos optoacopladores.

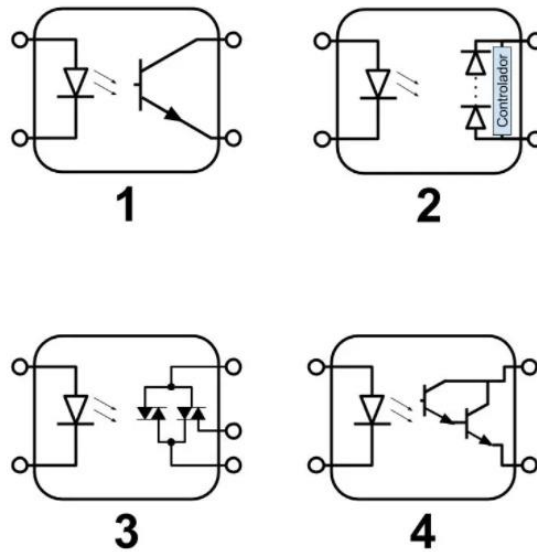


Figura 2.20. Conexiones internas de un 1) opto-transistor; 2) optoacoplador de salida MOSFET; 3) opto-TRIAC; 4) optoacoplador de salida Darlington. Fuente: [14].

Los optoacopladores presentan la ventaja de producir aislamiento eléctrico y entre sus variedades se encuentran modelos de conmutación de alta velocidad y altas potencias, pero entre sus desventajas se encuentra la disipación de calor en ciertos casos.

2.11 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente mediante el cambio de la resistencia. Son utilizados normalmente para el control de circuitos. Existen dos tipos principales: los de cambio de resistencia y los que trabajan con una señal emitida.

Entre los de cambio de resistencia se encuentran los termistores PTC que señalan un aumento de la temperatura con una mayor resistencia y los NTC que señalan aumento de la temperatura con una reducción de la resistencia basándose en óxidos metálicos o semiconductores. Entre los materiales empleados entre resistencias se distingue el platino, el silicio y la cerámica, empleándose para distintos rangos de temperatura. Los de señal emitida presentan semiconductores integrados y/o circuitos de estado sólido donde dependiendo de la temperatura son capaces de producir corrientes, tensiones o señales digitales. [15]

Considerando que la aplicación en cuestión tiene que ver con una sustancia en un estado cerca de los rangos de gelación, con cantidades variables en tanques de almacenamiento y en constante movimiento, pueden utilizarse sensores de temperatura de inmersión como el mostrado en la Figura 2.17 debido a la profundidad de los tanques.



Figura 2.21. Sensor de temperatura de inmersión. Fuente: [16].

2.12 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos permite realizar una división de un proceso en estudios de carácter de prototipo, exploratorios y estudios exhaustivos, abordando de manera adecuada los diferentes tipos de variabilidad que se pueden encontrar, con esto se analizan de manera provechosa los resultados obtenidos de manera que se puedan tomar decisiones argumentadas. [22]

Para realizar el diseño de experimentos no se recomienda el uso de datos históricos salvo bajo condiciones estrictas, ya que puede no conocerse las condiciones en las que estos resultados fueron obtenidos.

Un experimento se caracteriza por la definición de tratamientos (conjuntos de factores) y unidades experimentales (objeto donde evaluar la variable de respuesta y al que se le aplican los niveles de factores de tratamiento) a ser usadas, así como la definición del proceso (forma en que los tratamientos son aplicados a las unidades) y las respuestas a ser medidas [22]. Otros elementos básicos que presenta el diseño de experimentos son los siguientes:

- Factor: corresponde a las variables cuyos diferentes valores podría causar variaciones en las variables de respuesta.
 - Factor tratamiento: aquel que entra dentro de los que son de interés del experimentador.
 - Factor nuisance: su cambio afecta el valor de salida, pero no se desea caracterizar su influencia en la salida, se pueden clasificar como:
 - Factores bloque: fijado en ciertos niveles, de forma que la respuesta se caracterice en estos.

- Factores covariable: no se controla en la recogida de datos, pero se asume de posible interés.
 - Factor ruido: interesan al experimentador por su propia variabilidad, por lo tanto, se incorporan, pero no como bloques.
- Técnicas básicas: existen tres técnicas fundamentales:
 - Replicación: repetición de ejecución independiente de cada combinación de factores.
 - Bloqueo: división de las unidades experimentales en grupos llamados bloques, de modo que las observaciones realizadas en cada bloque se realicen bajo condiciones experimentales lo más parecidas posible.
 - Aleatorización: repartición de la variabilidad inherente en el proceso de forma aleatoria entre las diferentes pruebas, evitando el sesgo.
- Evaluación: los resultados se pueden evaluar de dos formas diferentes:
 - Gráfica: se representa de forma gráfica y de manera adecuada los resultados del banco de pruebas. La observación de patrones y/o tendencias permite obtener conclusiones.
 - Analítica: se crea un modelo matemático que tiene en cuenta el carácter impreciso y variable de los datos, obtenidos en presencia de factores de variabilidad. Con estos modelos y asumiendo su carácter estadístico se llega a conclusiones.

2.12.1 Análisis de varianza (ANOVA)

Conocida como análisis factorial y desarrollada por Fisher en 1930, constituye una herramienta básica para el estudio de uno o más factores cada uno con uno o más niveles, sobre la media de una variable continua. Por lo tanto, es un test estadístico que emplear cuando se desea comparar las medias de dos o más grupos. Esta técnica puede generalizarse también para estudiar los posibles efectos de los factores sobre la varianza de una variable.

La hipótesis nula de la que parten los diferentes tipos de ANOVA es que la media de la variable estudiada es la misma en los diferentes grupos, en contraposición a la hipótesis alternativa de que al menos dos medias difieren de forma significativa. ANOVA permite comparar múltiples medias, pero lo hace mediante el estudio de las varianzas.

El funcionamiento básico de ANOVA consiste en calcular la media de cada uno de los grupos para a continuación comparar la varianza de esta medias, frente a la varianza promedio de estos grupos. Bajo la hipótesis nula de que las observaciones de los distintos grupos proceden todas de la misma población, la varianza ponderada entre grupos será la misma que la varianza promedio dentro de los grupos, conforme las medias de los grupos estén alejadas las unas de las otras, la varianza de las medias se incrementará y dejará de ser igual a la varianza promedio dentro de los grupos. [23]

2.12.1.1 Interpretación de resultados

Al realizar un experimento ANOVA se obtienen distintos valores fundamentales cuya interpretación resume los resultados para determinar la correcta realización de este [24], los cuales son:

- El valor p: indica que los tratamientos del factor difieren al ser menor a 0.05 de lo contrario los tratamientos no varían demasiado entre los niveles del factor.
- Intervalos de confianza de Tukey: corresponde a un gráfico donde se representa la diferencia entre las medias de los valores resultado entre los tratamientos del factor, cuando uno de estos intervalos cruza por cero quiere decir que la diferencia no es significativa entre una medición y otra.
- El R^2 indica qué tanto puede extrapolarse un análisis que esté por fuera del rango de valores de experimentación, un valor bajo indica que no se deben realizar observaciones por fuera del rango experimental mientras que un valor alto indica que el comportamiento es estable.

3 Metodología

Para diagnosticar el problema de la planta de Proquinal y generar la propuesta de solución se utiliza la metodología de Ulrich-Eppinger en el libro “Desarrollo y Diseño de Productos” con ligeras variaciones, ya que en este se describe el proceso para desarrollar un producto comercial y en este documento se busca una solución AD HOC (para un objetivo específico). La metodología plantea un conjunto de etapas que se realizan de forma iterativa hasta obtener conceptos basados en los requerimientos del cliente los cuales son evaluados para dar solución al problema que este plantee. En la Figura 3.1 se muestra un diagrama que contiene las etapas de la metodología mencionada.

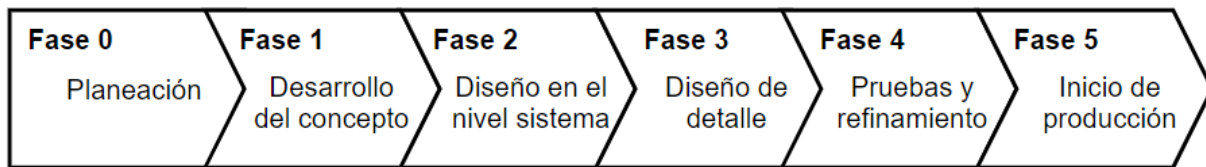


Figura 3.1. Proceso de desarrollo de solución. Fuente [17].

Para esta sección referente a la metodología se desarrollan las etapas 1 y 2 las cuales contemplan la toma de decisiones para generar una solución. Para este desarrollo se realizan las siguientes etapas:

1. Determinación de Necesidades.
2. Determinación de Especificaciones y Métricas.
3. Descomposición Funcional del Problema.
4. Búsqueda de Información Interna y Externa.
5. Generación de Conceptos.
6. Evaluación de Conceptos.
7. Propuesta de Solución.

Con la propuesta de solución planteada se continúa con las etapas 2 y 3 donde se genera el diseño en el nivel sistema y de detalle de cada subsistema propuesto con el fin de obtener una solución integral basada en un criterio técnico.

3.1 Determinación de necesidades

3.1.1 Entrevista e interpretación de necesidades

Para lograr identificar las necesidades por parte de Proquinal respecto del proyecto en cuestión se realizó una entrevista con el Laboratorista Químico e Ingeniero de Procesos y Calidad Willy Madrigal Acosta encargado del área de Proceso y Preparación de Plásticos y Compuestos. El ingeniero Madrigal posee conocimientos referentes a las sustancias que se almacenan en los tanques por automatizar, además de las pérdidas monetarias durante los distintos procesos realizados en el área de la planta de interés. La entrevista consistió en una serie de preguntas con el fin de abarcar diversos temas referentes al proyecto para lograr delimitar el problema correctamente. La transcripción de la entrevista se presenta en el Apéndice B.1.

Con la entrevista realizada se continuó con su interpretación para la extracción de necesidades con base en las características de las problemáticas planteadas por el cliente, por otra parte, se procuró identificar necesidades latentes no mencionadas. La Tabla 3.1 muestra la interpretación de necesidades generada. Para esta tabla se aclaran los siguientes puntos:

- **Uso:** se refiere a aquellas propiedades del sistema que tienen que ver directamente con la utilización del sistema por parte de un operario.
- **Acciones:** consideran todas aquellas capacidades esperadas por el cliente que deba tener el sistema para cumplir con sus objetivos.
- **Producto:** dirigido hacia la sustancia que se manipula en los tanques de almacenamiento y al resultado esperado de esta al ser extraída luego de ser manipulada por el sistema.
- **Problemáticas:** preocupaciones que tiene el cliente al no contar con un sistema automático para la manipulación de la sustancia.

Tabla 3.1. Interpretación de necesidades a partir de la entrevista con el cliente.

Cliente:	Willy Madrigal Acosta	Entrevistador: Roberto Matamoros Gamboa
Profesión:	Ingeniero en Procesos y Calidad	
Dirección:	Costa Rica, Alajuela, Proquinal	Fecha: 03/08/2021
Tema	Mención del cliente	Necesidad Interpretada
Uso	Hay que tratar de hacer la solución lo más amigable posible a un usuario.	El sistema es de uso intuitivo.
Acciones	Se piensa que permita controlar los ciclos de batido.	El sistema permite controlar los ciclos de batido ¹ que realizan los tanques.
	Se piensa que permita controlar el tiempo de batido.	El sistema permite controlar los tiempos de batido ² continuo que realiza cada tanque.
	Se agita de forma manual dos veces por turno.	Al hacer uso del sistema el accionado es automático, pero se mantiene el equipo manual. ³
	Indiferentemente de la sustancia todas se programarían igual.	El sistema manipula cada sustancia de la misma manera. ⁴
	No se utilizan todos los tanques simultáneamente.	El sistema permite controlar los tanques de forma individual.
	La temperatura es crítica. ⁵	El sistema mide la temperatura de los tanques.
Producto	La sustancia se calienta por fricción.	El sistema evita el sobrecalentamiento del Plastisol.
	Se busca que el batido mantenga el producto homogéneo.	Al utilizar el sistema se obtiene un resultado homogéneo ⁶ del Plastisol.
Problemáticas	Es preocupante que se le olvide a alguien apagarlo a tiempo.	El sistema elimina el riesgo de que se olvide apagar el tanque.
	La mayor problemática es por el Tiempo No Productivo.	El sistema reduce los eventos de Tiempo No Productivo.
	Si se quema el producto se tiene pérdida de material.	El sistema elimina el riesgo de quemado del Plastisol.
	Existen pérdidas de tiempo por desplazamiento de operarios al encender los tanques.	El sistema elimina las pérdidas de tiempo por desplazamiento de operarios.
	Se busca reducir o eliminar el reproceso del Plastisol.	El sistema reduce el reproceso realizado al Plastisol.
	A la empresa le cobran por pico de energía y se encienden tanques simultáneamente.	El sistema evita el encendido simultáneo de los tanques reduciendo el pico de energía.

¹ Los ciclos de batido (CB) se refieren a cuantas veces deben de encenderse los tanques en un lapso determinado, por ejemplo, que en un día deban encenderse seis veces implicaría que se encienda cada cuatro horas durante un día.

² Los tiempos de batido (TB) se refieren al tiempo en continuo que un tanque se mantiene encendido.

³ El ingeniero Madrigal indica que se desea mantener el equipo manual para procesos o pruebas (como limpieza o mantenimiento) que no requieran del sistema.

⁴ El concepto de “misma manera” en esta necesidad se refiere a que cada tanque tiene ciclos y tiempos programables sin consideraciones especiales como cambios en la velocidad.

⁵ Si bien la temperatura es crítica, actualmente no se mide de forma constante y para el ingeniero un buen manejo de tiempos de procesamiento es suficiente, aunque no ideal.

⁶ Un resultado homogéneo se obtiene cuando la viscosidad de la sustancia se mantiene constante a lo largo de su volumen, esto está sujeto a un rango de tolerancia.

3.1.2 Categorización de las necesidades

La categorización de necesidades corresponde a un conjunto de grupos, los cuales contienen a las necesidades dependiendo de los factores globales que contemplan la naturaleza de cada una de estas, el resultado de esta categorización se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Categorización de Necesidades brindadas por el cliente.

Grupo	Primer Nivel	Segundo Nivel
1	El grado de complejidad de uso del sistema no es elevado.	El sistema es de uso intuitivo.
2	El sistema permite controlar y monitorizar los tanques manteniendo la integridad del Plastisol.	El sistema permite controlar los ciclos de batido que realizan los tanques.
		El sistema permite controlar los tiempos de batido continuo que realiza cada tanque.
		Al hacer uso del sistema el accionado es automático, pero se mantiene el equipo manual.
		El sistema manipula cada sustancia de la misma manera.
		El sistema permite controlar los tanques de forma individual.
3	Al utilizar el sistema el Plastisol resultante es adecuado.	El sistema mide la temperatura de los tanques.
		El sistema evita el sobrecalentamiento del Plastisol.
4	La utilización del sistema reduce las pérdidas monetarias y temporales involucradas en su operación.	Al utilizar el sistema se obtiene un resultado homogéneo del Plastisol.
		El sistema elimina el riesgo de que se olvide apagar el tanque.
		El sistema reduce los eventos de Tiempo No Productivo.
		El sistema reduce el riesgo de quemado del Plastisol.
		El sistema elimina las pérdidas de tiempo por desplazamiento de operarios.
		El sistema reduce el reproceso realizado al Plastisol.
El sistema evita el encendido simultáneo de los tanques reduciendo el pico de energía.		

3.1.3 Jerarquización de necesidades

Para jerarquizar las necesidades fue necesaria la intervención del cliente para que este determinara la importancia relativa de cada una. El documento de jerarquización enviado al cliente se adjunta en el Apéndice B.2. de los cuales se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3.3, la escala de 1 a 5 se interpreta de la siguiente forma:

1. Función indeseable.
2. Función no importante.
3. Función innecesaria pero deseada.
4. Función muy deseable.
5. Función indispensable.

Tabla 3.3 Importancia relativa de las necesidades definidas del Ingeniero de Calidad y Producción.

Necesidad	Importancia	Importancia Relativa
1	5	El sistema es de uso intuitivo.
2	5	El sistema permite controlar los ciclos de batido que realizan los tanques.
3	5	El sistema permite controlar los tiempos de batido continuo que realiza cada tanque.
4	5	Al hacer uso del sistema el accionado es automático, pero se mantiene el equipo manual.
5	4	El sistema evita el encendido simultáneo de los tanques reduciendo el pico de energía.
6	5	El sistema manipula cada sustancia de la misma manera.
7	5	El sistema permite controlar los tanques de forma individual.
8	3	El sistema mide la temperatura de los tanques.
9	3	El sistema evita el sobrecalentamiento del Plastisol.
10	3	Al utilizar el sistema se obtiene un resultado homogéneo del Plastisol.
11	5	El sistema elimina el riesgo de que se olvide apagar el tanque.
12	4	El sistema reduce los eventos de Tiempo No Productivo.
13	3	El sistema reduce el riesgo de quemado del Plastisol.
14	4	El sistema elimina las pérdidas de tiempo por desplazamiento de operarios.
15	4	El sistema reduce el reproceso realizado al Plastisol.

En la Tabla 3.3 se muestra la importancia relativa de cada una de las necesidades identificadas durante el proceso realizado con la ayuda del ingeniero encargado del área de interés de la planta. Se observa que como mínimo las necesidades se identificaron como innecesarias pero deseadas, lo cual se tendrá en consideración en caso de requerir una disminución de costos de la eventual solución, la mayoría de las necesidades son muy deseables

por que abarcan aquellos elementos que se necesita solucionar con el proyecto atendiendo las necesidades interpretadas de la entrevista.

3.2 Determinación de métricas y especificaciones

Posteriormente a la identificación de necesidades, la metodología continúa con la determinación de métricas que serán utilizadas como base para realizar el diseño del proyecto, en la Tabla 3.4 se muestran las métricas determinadas en relación con las necesidades que cada una de estas es capaz de expresar en términos numéricos, binarios o subjetivos, así como las unidades de medición.

Para poder definir las especificaciones fue necesario hacer uso de la información obtenida en la entrevista realizada, además de un análisis de la operación de los tanques de la planta. Debido a la naturaleza del problema existen necesidades que se cumplirán con el hecho de que el sistema de control y monitorización sea capaz o no de realizar cierta acción por lo que no se plantea una medición entre un rango de aceptación, si no el cumplimiento o no de dicha especificación.

Esto quiere decir que en el posterior proceso de validación del sistema se pretende considerar a las capacidades de medición como parámetros distintos a los medibles, mientras los parámetros medibles deben encontrarse dentro de sus rangos de aceptación, las capacidades de control deben ser acciones que el sistema es capaz de realizar, donde su cumplimiento obligatorio dependerá de la importancia que el cliente le haya dado a la necesidad que dio origen al criterio de donde se origina.

Tabla 3.4. Métricas definidas para la ejecución del proyecto.

Número	Métrica	Importancia	Unidades
Parámetros medibles			
1	Uso intuitivo	5	Subjetivo
2	Pico de energía máximo generado	4	kW
3	Temperatura máxima del Plastisol	3	°C
4	Diferencia de viscosidad	3	cP (centipoise) ⁷
5	Magnitud de viscosidad	3	cP
6	Eventos de Tiempo No Productivo	4	Evento/Quincena
Capacidades de control y monitorización			
7	Ciclos de trabajo	5	Binario
8	Tiempo de batido	5	Binario
9	Control automático y manual	5	Binario
10	Control individual	5	Binario
11	Medición de temperatura	3	Binario
12	Control remoto	4	Binario
13	Notificaciones	3	Binario

⁷ Centipoise (cP) es la unidad de viscosidad utilizada en planta equivalente a un mili pascal segundo.

Con las métricas definidas se procede con la indicación de los valores marginales e ideales de cada una de ellas en la Tabla 3.5 estos valores tienen como base el nivel de importancia relativo y son una parte importante del proyecto ya que su cumplimiento determinará a su vez el cumplimiento de los objetivos.

Tabla 3.5. Valores marginales e ideales para las métricas definidas.

Número	Métrica	Importancia	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
Parámetros medibles					
1	Uso intuitivo	5	Subjetivo	≤ 4	5
2	Pico de energía máximo generado ⁸	4	kW	$>111\text{kW}$ (2 tanques ⁹)	65kW (2 tanques)
3	Temperatura máxima del Plastisol ¹⁰	3	°C	$<42^\circ$	$<38^\circ$
4	Diferencia de viscosidad ¹¹	3	cP	500	<300
5	Magnitud de viscosidad	3	cP	9000	3000
6	Eventos de Tiempo No Productivo ¹²	4	Evento/Quincena	3	2
Capacidades de control					
7	Ciclos de trabajo	5	Binario	Cumple	Cumple
8	Tiempo de batido	5	Binario	Cumple	Cumple
9	Control automático y manual	5	Binario	Cumple	Cumple
10	Control individual	5	Binario	Cumple	Cumple
11	Medición de temperatura	3	Binario	No Cumple	Cumple
12	Control remoto	4	Binario	Cumple	Cumple
13	Notificaciones	3	Binario	No Cumple	Cumple

Puede notarse para la primera especificación que se tiene un carácter subjetivo, para esta se plantea la siguiente escala que deberá de medirse bajo el criterio de uso de los individuos involucrados en la operación del sistema:

1. De uso muy complejo.
2. De uso complejo.
3. De uso con dificultad moderada.
4. De uso sencillo.
5. De uso muy sencillo.

⁸ Según lo que especifique el departamento de mantenimiento.

⁹ Se refiere a la cantidad de potencia requerida en un instante debido a que dos tanques requieren ser encendidos y el sistema debe regular su operación para evitar demandas demasiado elevadas.

¹⁰ Según los valores de funcionamiento normal del Plastisol.

¹¹ Según las mediciones de viscosidad en diversas secciones de un tanque, obtenidas del laboratorio de la planta.

¹² Según la indicación del ingeniero Madrigal.

3.3 Composición del experimento

Con los valores definidos para el cumplimiento de las métricas se compone un experimento para la determinación de los tiempos óptimos de ciclo de trabajo y agitación para la obtención de resultados homogéneos en la viscosidad y temperatura del Plastisol con el fin de disminuir la cantidad de eventos por quincena de Tiempo No Productivo por reproceso al añadir el color.

Proquinal genera Plastisol con una dependencia en los pedidos que se realizan de textiles vinílicos, por lo que para la realización del experimento se depende enteramente de la disponibilidad de la planta, por otra parte, al ser el Plastisol una sustancia fundamental en el proceso productivo, las condiciones en las que se encuentra se mantienen controladas en una zona aislada sin variaciones considerables de temperatura o humedad.

Debido al manejo manual de los tanques de Plastisol las variaciones más significativas se presentan debido a la aplicación de tiempos irregulares en los ciclos y agitación de la sustancia, es por esto por lo que estos tiempos se consideran los factores fundamentales de tratamiento para el diseño de un experimento.

Según la información obtenida por los encargados del área de masas en Proquinal, la agitación del Plastisol genera dos variaciones significativas en la sustancia, las cuales son, su temperatura y su viscosidad. Cabe destacar que los tiempos habituales de agitación siempre se mantienen en un rango dentro de cinco y diez minutos.

Considerando lo anterior puede plantearse un experimento de Análisis de Varianza tipo ANOVA con el fin de determinar en cual rango de tiempos de agitación se encuentra el valor óptimo para la obtención de resultados homogéneos. La Tabla 3.6 muestra el resumen de elementos que serán considerados para la elaboración del experimento descrito.

Por otra parte, se hace uso de un análisis gráfico de las pruebas que se le realice al Plastisol con el fin de determinar su comportamiento al verse sometido a variaciones de sus factores de influencia y de la temperatura ante la agitación. Lo anterior determina la importancia de la medición de temperatura en los tanques, generando un criterio fundamentado sobre la necesidad de añadir un dispositivo de medición para esta función.

Tabla 3.6. Elementos para el diseño del experimento con variaciones en el tiempo de agitación.

Elemento	Declaración
Objetivo	Determinar los tiempos óptimos de agitación y ciclo para la obtención de resultados homogéneos en el Plastisol en términos de viscosidad y temperatura.
Variables de respuesta	Temperatura.
	Viscosidad.
Factores	Tratamiento: tiempo de agitación
	Tratamiento: tiempo de ciclo
	Bloque: día.
Tratamientos	5 minutos
	7 minutos
	9 minutos
Técnicas	Replicación (x3)
	Bloqueo
Evaluaciones	Gráfica
	Analítica

3.4 Descomposición funcional del problema

3.4.1 Entradas y salidas

Para el sistema a desarrollar se tiene una entrada y dos salidas, la entrada corresponde a la señal compuesta por las instrucciones del usuario para realizar funciones de encendido de los motores, por otro lado, las salidas corresponden a las señales de encendido de cada motor de forma independiente y señales de monitorización cuyo objetivo es conocer el estado actual de los motores, como su tiempo de encendido y sus ciclos de trabajo. La Figura 3.2 muestra un bloque con las entradas y salidas del sistema de forma general.

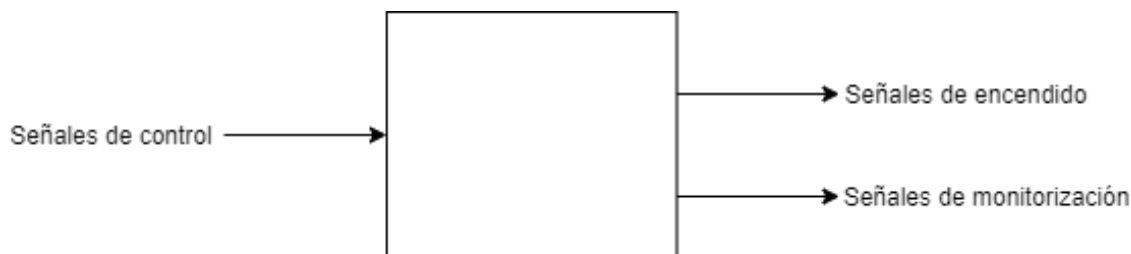


Figura 3.2. Diagrama de bloques de entradas y salidas.

3.4.2 Definición de subsistemas

Teniendo en mente el diagrama general, puede plantearse un conjunto de subsistemas para el desarrollo de la solución, esto con el objetivo de segmentarla para obtener problemas de menor dificultad que puedan ser resueltos individualmente. La Figura 3.3 muestra el diagrama de bloques donde se ilustran los subsistemas a desarrollar.

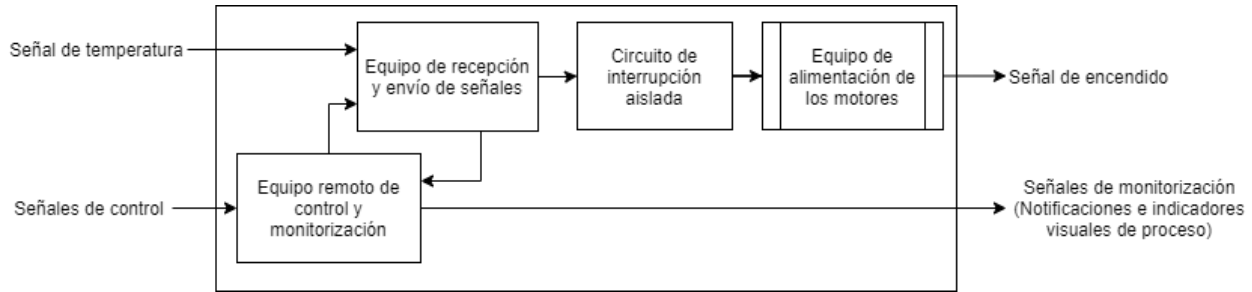


Figura 3.3. Diagrama de subsistemas del sistema de control y monitorización.

Para la Figura 3.3 se destaca la adición de la señal de temperatura, esta se añade en este diagrama debido a que no es una señal principal del sistema y se considerará si en la selección de conceptos la medición de temperatura forma parte de la solución resultante.

3.4.2.1 Equipo remoto de control y monitorización

Este componente del sistema corresponde a los equipos que serán capaces de hacer la función de interfaz de usuario donde se podrá configurar la operación de ciclos de operación de los tanques y su tiempo de encendido continuo, por otra parte, al funcionar como equipo de monitorización se pretende que estos presenten diversos indicadores de operación. Tomando en consideración la importancia dada por el cliente al uso intuitivo del sistema, la configuración de estos equipos es de suma importancia para poder ser utilizado por todas las partes involucradas en el proceso de encendido de los tanques.

3.4.2.2 Equipo de recepción y envío de señales

El equipo de recepción y envío de señales corresponde al cerebro del sistema y es el encargado de la toma de decisiones y la ejecución de estas, este equipo debe ser capaz de obtener instrucciones por parte del equipo remoto de control y mantener una constante comunicación para poder enviar reportes de las condiciones actuales de los tanques. Debido a la naturaleza del problema es necesario utilizar un elemento de control capaz de manipular la cantidad de señales que demanda la aplicación, lo cual será un factor importante en su selección.

3.4.2.3 Circuito de interrupción aislada

Se estima necesario este bloque debido a que los tanques operan a alta tensión y los elementos de control utilizados comúnmente hacen uso de baja tensión para operar, por lo cual se

requiere un acople entre estas tensiones que cumpla la función de interruptor para poder manipular el encendido y apagado de los tanques.

3.4.2.4 Equipo de alimentación de los motores

Este subsistema se muestra en una casilla particular debido a que consiste en un subsistema predefinido, la instalación de la alimentación ha sido realizada enteramente por el equipo de mantenimiento de Proquinal, este equipo es estudiado para la manipulación de sus señales de entrada, pero no puede ser cambiado ya que esto se escapa del alcance de este proyecto.

3.5 Generación de conceptos

Para esta sección del proyecto se generan múltiples conceptos de solución con base en la investigación interna y externa de la metodología [17]. Se ha consultado documentación académica y se han tenido conversaciones con los ingenieros del área de masas para plantear posibles soluciones teniendo en cuenta las necesidades y los subproblemas de la descomposición funcional. Las posibles soluciones toman la información recopilada y combinan su contenido para obtener los conceptos que se detallarán a continuación con el objetivo de controlar y automatizar el encendido de los tanques de almacenamiento.

Para presentar un panorama general de los subproblemas y las diversas soluciones que puede dársele a cada uno de estos se presenta el esquema de la Figura 3.4 con una síntesis de las opciones.

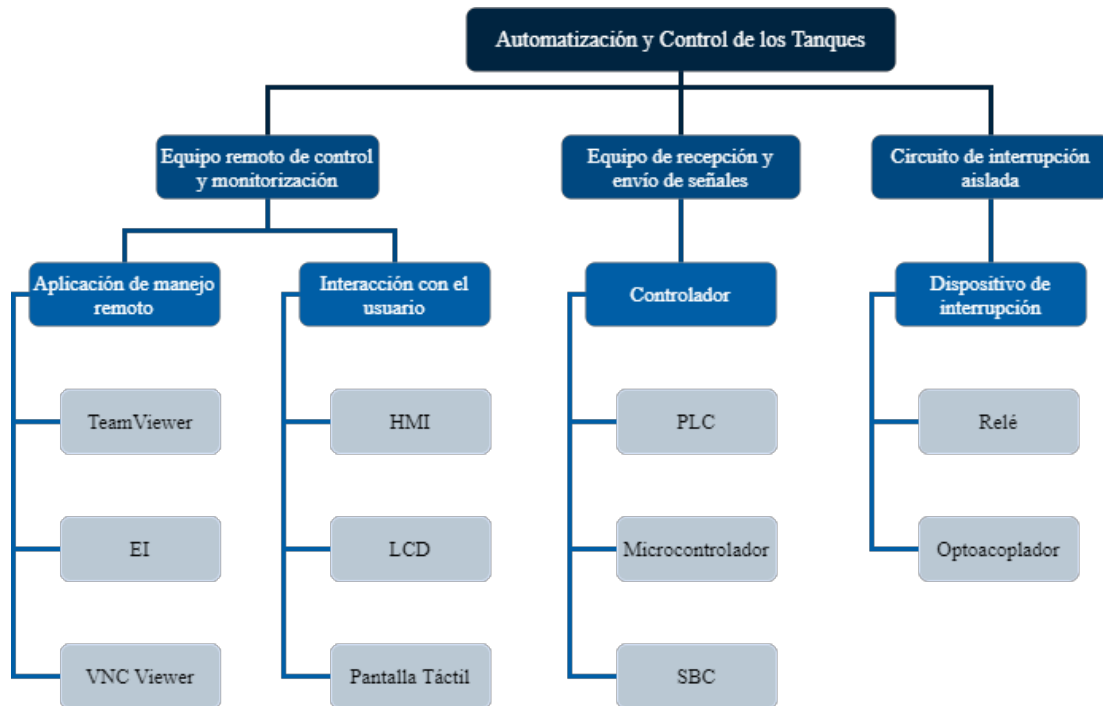


Figura 3.4. Plantilla para el proceso de combinación de los conceptos a evaluar.

3.5.1 Concepto 1

El primer concepto generado consiste en controlar los ciclos de trabajo y los tiempos de encendido de los tanques de almacenamiento haciendo uso de un PLC como controlador del sistema, el cual tendría la tarea de enviar las señales de accionamiento al dispositivo de interrupción que en este caso consistiría en relés; Al mismo tiempo, el PLC recibiría señales de una pantalla HMI donde se puedan monitorizar y controlar los ciclos de batido y los tiempos de agitación, además de mostrar al usuario la operación actual del sistema de forma gráfica, finalmente este HMI deberá ser accesible remotamente mediante la tecnología de un enrutador industrial.

La Figura 3.5 muestra la combinación seleccionada para la generación del concepto 1, por otra parte, la Figura 3.6 muestra un esquema general de conexión de combinación con fines únicamente ilustrativos.

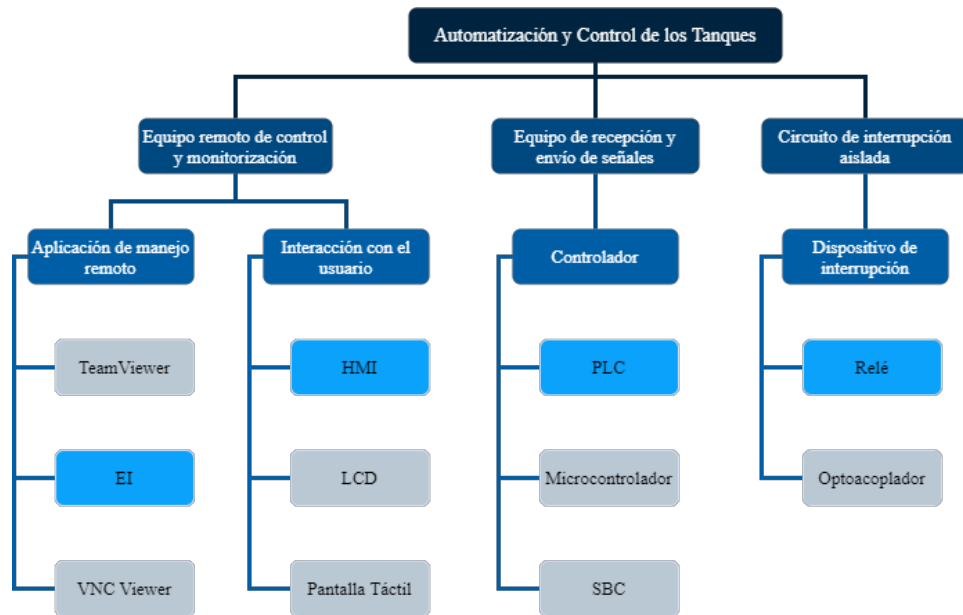


Figura 3.5. Concepto 1.

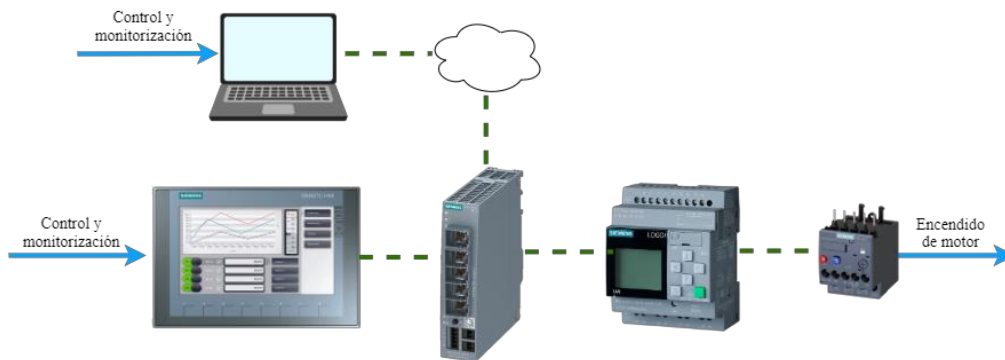


Figura 3.6. Esquema general de conexión del concepto 1.

3.5.2 Concepto 2

El segundo concepto consiste en la utilización de un microcontrolador para el procesamiento de señales, permitiendo una solución de pequeño tamaño capaz de entregar y recibir información; para poder entregar las señales de encendido de los tanques. Este concepto contempla el uso de optoacopladores como dispositivos de interrupción aislada capaces de ser activados mediante señales de baja potencia, estas señales deberían ser acondicionadas para poder activar los contactores del encendido de los tanques de almacenamiento.

Por otra parte, la interfaz gráfica que se plantea para el concepto es el uso de un LCD capaz de ser accesado de forma remota mediante una plataforma como VNC Viewer, la cual será la encargada de enviar las señales de control y monitorización del sistema.

La Figura 3.7 muestra la combinación seleccionada para la generación del concepto 2, por otra parte, la Figura 3.8 muestra un esquema general de conexión de combinación con fines únicamente ilustrativos.

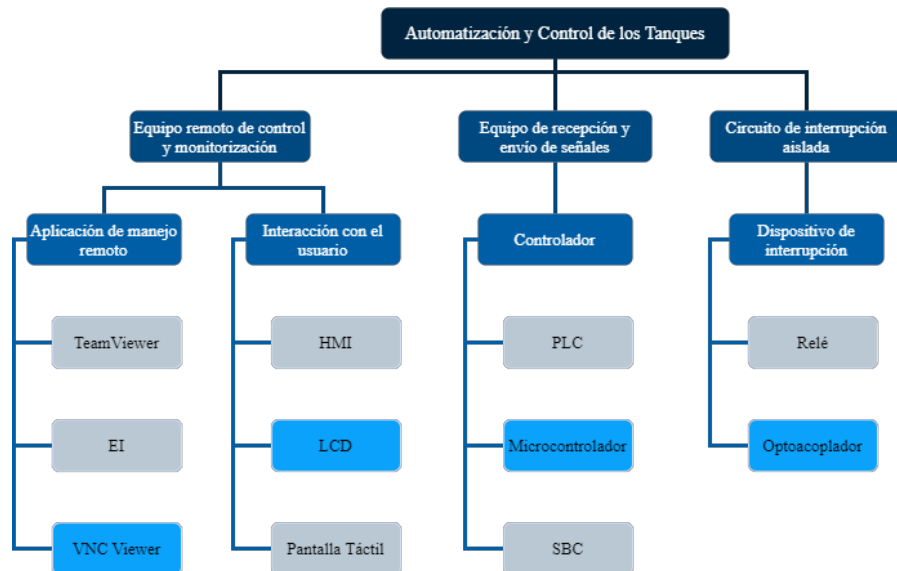


Figura 3.7. Concepto 2.

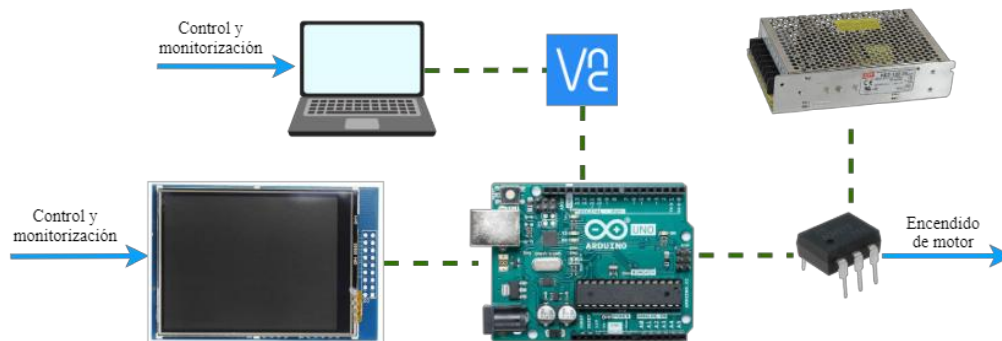


Figura 3.8. Esquema general de conexión del concepto 2.

3.5.3 Concepto 3

El tercer concepto de solución planteado consiste en la utilización de un computador de placa única como sistema de envío y recepción de señales, este deberá estar conectado a una pantalla táctil donde se programen los ciclos de batido y tiempos de agitación de los tanques de almacenamiento y a su vez debe poder ser accesada de forma remota mediante una plataforma como lo es TeamViewer. La pantalla táctil deberá mostrar la monitorización de los tanques en términos de su tiempo de encendido, tiempo restante, ciclo actual y estado. Para la conexión con el sistema de alimentación de los tanques de almacenamiento se plantea el uso de optoacopladores, los cuales acondicionarían la señal para el encendido de los contactores de los motores.

La Figura 3.9 muestra la combinación seleccionada para la generación del concepto 3, por otra parte, la Figura 3.10 muestra un esquema general de conexión de combinación con fines únicamente ilustrativos.

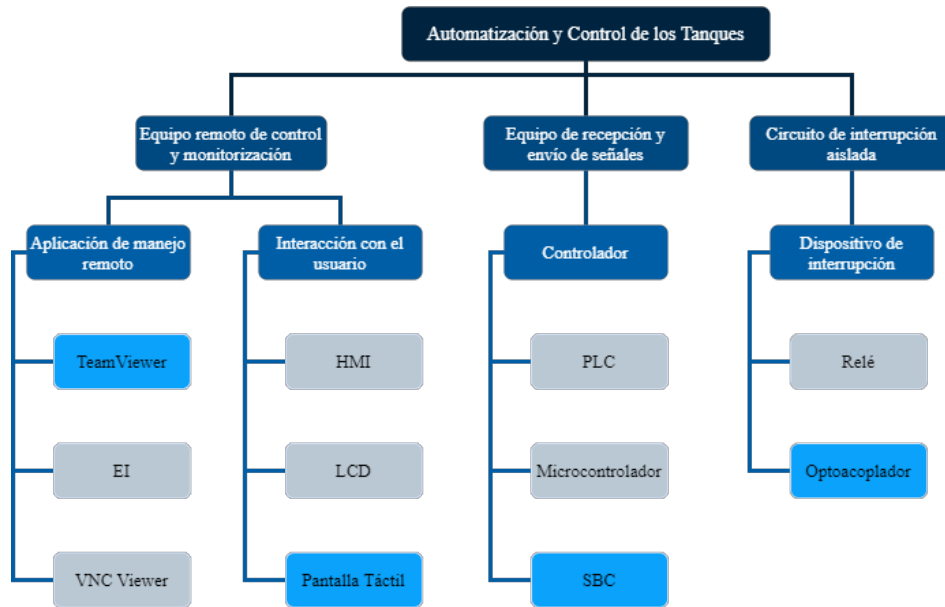


Figura 3.9. Concepto 3.

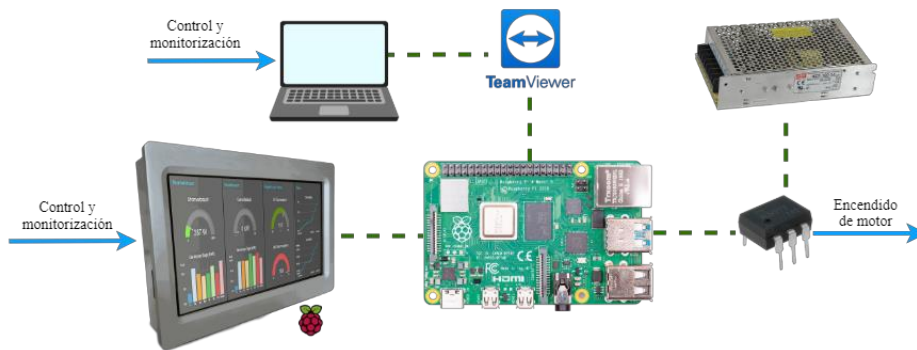


Figura 3.10. Esquema general de conexión del concepto 3.

3.6 Evaluación de conceptos

3.6.1 Criterios de selección de conceptos

En esta sección se presenta un conjunto de criterios de selección para la evaluación de los conceptos en donde se definirán los puntos fuertes y débiles de cada uno para finalmente realizar una selección. La Tabla 3.7 muestra los criterios de selección identificados con base en la jerarquización de necesidades realizada en la Tabla 3.3.

Tabla 3.7. Criterios para la selección de conceptos.

#	Criterio de selección	Descripción	Peso
1	Facilidad de uso	Referente a la introducción de instrucciones de control por parte de un operario y monitorización del sistema.	20%
2	Herramientas de control	Se refiere a las herramientas que brinda el sistema de control para cumplir sus funciones, como cantidad de temporizadores, bloques funcionales y cantidad de memoria.	10%
3	Costo	Costo general de la implementación del proyecto.	15%
4	Confiabilidad	Calidad del equipo en implementación y tiempo en estado funcional, considerando durabilidad de materiales.	20%
5	Facilidad de implementación	Referente a la facilidad de instalar el sistema posterior a la etapa de diseño.	10%
6	Seguridad	Se refiere al nivel de seguridad que tiene el sistema al utilizarse de forma remota.	20%
7	Cantidad de elementos para instalación	Se refiere a los elementos que deben instalarse para que el dispositivo de control pueda cumplir sus tareas.	5%

3.6.2 Evaluación de conceptos

Con los criterios de selección identificados se procede a realizar la evaluación de los conceptos, generados en la etapa de Generación de Conceptos. A cada uno de estos se les asigna un valor relativo a los criterios de selección de la Tabla 3.7 según su grado de cumplimiento y posteriormente una calificación ponderada a partir del porcentaje de peso del factor y el valor asignado a cada uno de los factores.

La Tabla 3.8 recopila los criterios de selección y genera la evaluación de los conceptos, cada uno de estos cuenta con una calificación (C) y una evaluación (E), la calificación toma una escala de 1 a 5 donde cada valor se interpreta como:

- 1: No cumple con el criterio.
- 2: Cumplimiento mínimo del criterio.
- 3: Cumplimiento regular del criterio.

- 4: Cumplimiento adecuado del criterio.
- 5: Cumplimiento a cabalidad del criterio.

Con estas calificaciones se asigna el porcentaje de cada criterio que al finalizar sumará el porcentaje de cumplimiento general del concepto, con los resultados obtenidos se dará por seleccionado el concepto con mayor valor, con una base en un análisis de los resultados.

Tabla 3.8. Calificación de cumplimiento de criterios y evaluación de conceptos.

		Conceptos					
		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Control por PLC		Control por microcontrolador		Control por SBC	
Criterio de selección	Peso	C	E	C	E	C	E
Facilidad de uso	20%	4	0.8	4	0.8	3	0.6
Herramientas de control	10%	4	0.4	3	0.3	4	0.4
Costo	15%	2	0.3	5	0.75	5	0.75
Confiabilidad	20%	5	1	2	0.4	3	0.6
Facilidad de implementación	10%	3	0.3	5	0.5	4	0.4
Seguridad	20%	5	1	2	0.4	3	0.6
Cantidad de elementos para instalación	5%	4	0.2	2	0.1	3	0.15
	Total		4		3.25		3.5
	Lugar		1		3		2
	Continuar	Desarrollar		No		No	

En la Tabla 3.7 puede notarse como los conceptos con base en el procesamiento por microcontrolador y computadores de placa única fallan en los criterios cruciales de confiabilidad y seguridad. La confiabilidad es un factor importante debido a que al ser un ámbito industrial y estar manipulando una sustancia de materia prima del proceso cuya mala manipulación genera pérdidas considerables, se requiere eliminar los riesgos del proceso como lo es el quemado del Plastisol. Por otra parte, la seguridad es un factor de peso, debido a que el sistema debe operar de forma remota, por lo que una conexión a internet básica puede estar bastante expuesta a ataques cibernéticos que pueden afectar el funcionamiento de la planta.

Como resultado de la evaluación realizada de los conceptos se obtuvo que la opción a desarrollar es el concepto 1, debido a que si bien es un concepto cuyo costo es elevado presenta una solución ideal ante la confiabilidad y la seguridad.

Por otra parte, la facilidad de uso que puede brindarle a un operario para enviar señales de control y monitorizar el proceso actual de la planta es adecuada respecto de lo indicado por el cliente, sin mencionar que en la planta gran cantidad de operarios trabajan con HMI's para el control de operaciones. La facilidad de la implementación de esta solución aparenta un proceso

de dificultad media debido a la configuración remota que se debe de realizar y a la estructura sólida de programación que requiere el sistema.

3.7 Propuesta de concepto de solución

Finalmente, para esta esta etapa de la metodología se muestra el esquema de la Figura 3.11 donde se tiene un diagrama representativo del concepto de solución propuesto, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

- Dispositivo móvil.
- Red local.
- Enrutador industrial.
- Interfaz gráfica.
- PLC.
- Activación.
- Relé.
- Contactores.
- Motores de inducción.

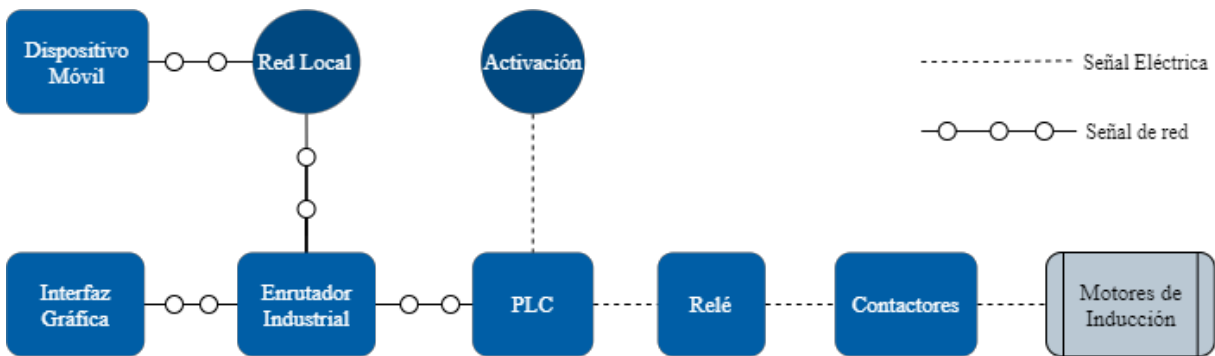


Figura 3.11. Diagrama del concepto de solución seleccionado.

4 Experimento para la obtención del tiempo óptimo de agitación y ciclo de trabajo del Plastisol

4.1 Relevancia

En esta sección se presenta la aplicación del experimento diseñado en la sección 3.3, y su objetivo consiste en analizar el comportamiento del Plastisol al aplicarle distintos tiempos de agitación y ciclos de trabajo, dentro de un rango que se considera adecuado, brindado por el supervisor del área de masas (el cual cuenta con más de 18 años de experiencia trabajando para Proquinal), con el fin de determinar los tiempos adecuados para la obtención de Plastisol con carácter homogéneo al extraerse de los tanques.

La homogeneidad del Plastisol es importante debido a que de esta dependen procesos posteriores en la planta. Actualmente existen problemas debido a la no homogeneidad del producto al añadir color al Plastisol, debido a la composición de esta sustancia al estar mucho tiempo en reposo algunos de los elementos que la componen se “asientan” al fondo de los tanques donde se almacena.

Lo anterior produce que al añadir color al Plastisol se obtengan tonos distintos entre productos extraídos cuando el tanque está lleno a cuando está por acabarse. Lo anterior es de carácter inaceptable por los estándares que debe cumplir Proquinal con sus clientes, lo que conlleva a un reprocesamiento del producto que puede tardarse 1.5 horas. Continuando con esto, Proquinal cuenta con un laboratorio donde laboran coloristas que ajustan el color al ser necesario un reproceso, pero este ajuste de color puede no darse adecuadamente luego de reprocesar requiriendo algunas veces hasta tres reprocesos solo para ajustar el color.

Esto quiere decir que en el peor de los casos al no tenerse un producto homogéneo al salir de los tanques de almacenamiento uno de los productos puede retrasarse hasta 4.5 horas para poder ser llevado a la generadora que crea el vinilo, de aquí se extrae la importancia tanto del sistema automático de agitación, como del tiempo óptimo de agitación de esta sustancia.

4.2 Generalidades

Existen múltiples factores que deben tomarse en cuenta para la toma de la información y el análisis de los resultados los cuales se mencionan a continuación:

- Para la realización del experimento se utilizaron los tanques con una cantidad de contenido siempre superior al 75% de la capacidad del tanque.
- Debido a la disponibilidad de la planta de producción los experimentos realizados inician desde distintos tiempos de reposo de la sustancia, debido a esto los experimentos pueden variar en sus condiciones iniciales y debe realizarse un análisis que no dependa de este factor sino de la tendencia de los resultados.
- Para poder estudiar de manera profunda el comportamiento respecto al tiempo, para cada prueba se han adquirido datos antes y después de realizar la agitación del tanque.

- Para los factores de repetitividad y muestreo el experimento se ha dividido en subpruebas donde se han adquirido seis muestras por cada una, de las cuales tres se extrajeron de la parte superior del tanque y las otras tres de la parte inferior de regiones distintas como se muestra en la Figura 4.1.

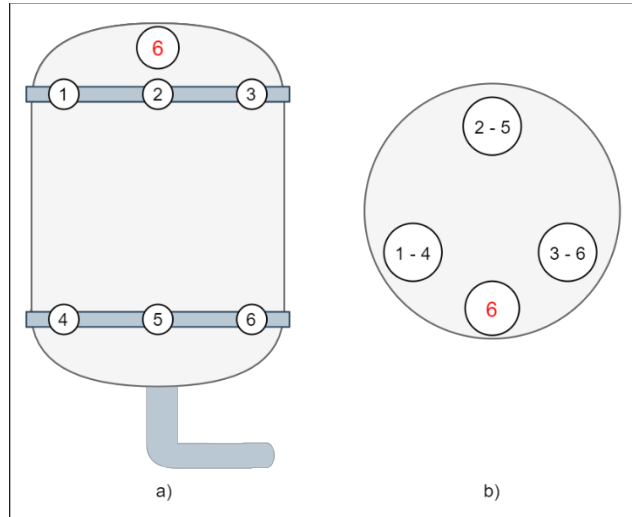


Figura 4.1. Áreas de extracción de muestras de los tanques en el experimento; a) Vista lateral del tanque; b) Vista superior del tanque.

- Las mediciones de viscosidad y temperatura fueron tomadas por uno de los auxiliares de laboratorio de Proquinal mediante un viscosímetro de la marca BROOKFIELD modelo DV-E y un termómetro de bolsillo marca COOPER ATKINS como los mostrados en la Figura 4.2.



Figura 4.2. Equipo de laboratorio utilizado; a) Viscosímetro Brook Field (tolerancia de ± 50 cP); b) Termómetro Cooper Atkins (tolerancia de ± 0.1 °C).

- Las mediciones en el viscosímetro fueron realizadas a una velocidad de 20 rpm y con la aguja número 6, la cual es capaz de medir viscosidades entre 1000 cP y 2000000 cP.
- El rango de viscosidad común del Plastisol abarca desde los 3000 cP a los 20000 cP, este rango puede ser superado si la sustancia posee mucho tiempo en reposo, y el rango para la extracción adecuada del Plastisol del tanque va desde los 5000 cP a los 10000 cP.
- Para el experimento se recolectaron un total de 144 muestras para seis experimentos de 2 o tres etapas cada uno, los cuales son:
 - Experimento de agitaciones de 5 minutos cada 4 horas.
 - Experimento de agitaciones de 5 minutos cada 8 horas.
 - Experimento de agitaciones de 7 minutos cada 4 horas.
 - Experimento de agitaciones de 7 minutos cada 8 horas.
 - Experimento de agitaciones de 9 minutos cada 4 horas.
 - Experimento de agitaciones de 9 minutos cada 8 horas.
- Para la selección de los ciclos de 4 y 8 horas entre agitaciones se tomó como referencia la opinión del supervisor del área y del análisis de la información brindada por el ingeniero a cargo debido a que se expresó que los tanques eran agitados dos veces por turno (aunque esto según se observó no se controla ni se realiza de forma regular), por lo cual se determinó necesario analizar el comportamiento de la sustancia ante esta referencia y su comportamiento ante periodos largos de reposo.
- La parte superior del contenido de los tanques se ve expuesta al aire, al contrario de la parte inferior, por lo que es de esperar que la viscosidad de esta sección aumente en mayor medida respecto al tiempo.
- Los motores que agitan la sustancia dentro del tanque poseen una caja de reducción de velocidad con una salida de 35 rpm cuya placa se muestra en la Figura 4.3, esta velocidad representa los ciclos de esfuerzo cortante a la que se verá sometida la sustancia, de lo que se extrae como se detalló en la sección 2.2 que el Plastisol presentará un comportamiento de un fluido Newtoniano y que no pasará de la etapa de gelación, esto quiere decir que los cambios de temperatura presentarán cambios lineales en su viscosidad.



Figura 4.3. Placa de información de la caja reductora de velocidad de los tanques de agitación.

Para representar visualmente la idea anterior se tienen los gráficos presentados en la sección 2.2 donde se muestra el cambio del esfuerzo de tensión de la sustancia al aumentar su temperatura y su comportamiento viscoso ante ciclos de esfuerzo cortante.

Al tener una agitación de 35 rpm se tiene una frecuencia de esfuerzo cortante (S^{-1}) de 0.583 Hz lo cual se encuentra fuera del gráfico de la Figura 2.8, esto quiere decir que la velocidad no juega un papel importante en el cambio de comportamiento de la sustancia y no dejará de comportarse como un fluido Newtoniano. Sin embargo, la agitación del Plastisol aumentará su temperatura por fricción mecánica, pero al no permitirse un aumento de la temperatura mayor a 43°C no se pasará del proceso de gelación, provocando la linealidad de la viscosidad como se puede observar en la Figura 2.9.

- El tiempo transcurrido se midió con un cronómetro digital con una tolerancia de $\pm 0.01s$.
- Se consideró la propagación del error en la presentación de los datos medidos y calculados, la ejemplificación de estos cálculos se muestra en el Apéndice B.3 y las tablas con la toma general de los datos se presentan en el Apéndice B.4.

4.3 Procedimiento realizado

Para la toma de mediciones se llevó a cabo siempre el mismo procedimiento con la diferencia de que en algunas ocasiones se tomaron muestras cada 4 u 8 horas y que fue realizado a lo largo de seis días que dependieron de la demanda de producción de la planta y de que en los tanques se mantuviera una cantidad siempre superior al 75%, el procedimiento fue el siguiente:

1. A las 8:00 am se tomaron las muestras iniciales en las zonas mostradas en la Figura 4.1. El Plastisol había estado en reposo por lo que su viscosidad inicial no siempre fue la misma ya que depende del tiempo de producción (ver Figura 4.4), este tiempo no está regulado por lo que pudieron transcurrir uno o dos días.

PROQUINAL DISPONIBLE

REFERENCIA: SRT-4 Islander T-6

CODIGO: 44444 LOTE: ROLLO: N° REMISION: PEDIDO:

CANTIDAD TI: 5540eg MUESTRA: #1 UNID/MED: # 530

N° INTERNO DEL: AL:

FECHAS RECEPCION: 12-10-2021 MUESTREO: Analizada PROCESO: D-02

APROBADO POR: Capa Islander special DF MP UV

A EXCEPCION:

DEFINIDA POR: T-6 FECHA DEFINICION: 12-10-21

F-104

Figura 4.4. Ficha de producción del Plastisol ubicada en los tanques de agitación.

2. Las muestras fueron extraídas con una varilla que posee un frasco en su extremo este es un elemento con el que ya se contaba en la planta (ver Figura 4.5) la cual es introducida

en el área de interés, para utilizarla, se introduce en el tanque y se espera a que se llene el frasco y se extrae rápidamente para evitar la contaminación con alguna otra zona.



Figura 4.5. Extracción del Plastisol de un tanque de almacenamiento.

3. Al salir el extractor lleno de Plastisol fue utilizado para rellenar frascos plásticos nuevos etiquetados con la zona de interés (ver Figura 4.6).



Figura 4.6. Frascos para el muestreo del Plastisol.

4. Los frascos etiquetados y llenos fueron trasladados al laboratorio de la planta, el cual se encuentra al lado del área de masas, por lo que las muestras luego de ser extraídas no pasaron más de dos minutos expuestas antes de iniciar sus mediciones.
5. Con el termómetro mostrado en la Figura 4.2b se midió la temperatura de cada uno de los frascos insertando únicamente la punta del termómetro hasta la marca de inserción sin tener contacto con las paredes del frasco. La medición de temperatura fue registrada hasta que su valor se regulara.

6. Luego de la medición de temperatura de cada uno de los frascos, un auxiliar de laboratorio procedió con la medición de viscosidad en la cual:
 - a. Se revisaron los parámetros del viscosímetro de la Figura 4.2a para que estuvieran dentro de los rangos de medición (Figura 4.7) para el proceso en cuestión.

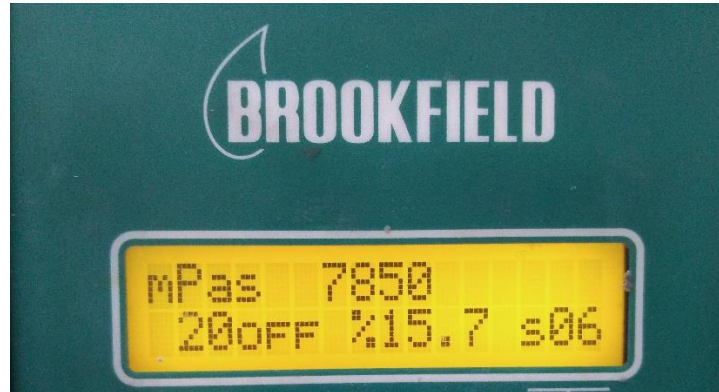


Figura 4.7. Parámetros de medición del viscosímetro.

- b. Se tomó cada frasco y se dosificó en un segundo frasco del laboratorio, los cuales presentan diámetros menores para mantener estabilidad de la sustancia durante la medición.
- c. Se tomó la aguja número seis y se sumergió en el plastisol con el fin de que no quedasen burbujas de aire alrededor de la misma.
- d. Luego de la revisión de burbujas la aguja fue montada en el viscosímetro.
- e. Con la aguja montada se tomó el frasco y se colocó en el viscosímetro, donde se ajustó su altura, dejando la aguja sumergida en el centro del frasco hasta su marca de inserción (Figura 4.8).



Figura 4.8. Aguja número seis utilizada para la medición de viscosidad.

- f. Se procedió a encender el viscosímetro hasta que este mantuviera regulada su medición para registrar el valor de viscosidad.
- g. Al finalizar este registro se desmontó el frasco y la aguja, ambos fueron limpiados por el auxiliar y el Plastisol medido se vertió en el frascos de reciclaje (en

Proquinal no se desecha ninguna materia prima y el Plastisol reciclado sirve para crear productos de segunda calidad).

- h. El proceso se repitió para cada una de las muestras y se tardó aproximadamente un minuto en obtener cada registro.
7. Habiendo realizado la medición en reposo se procedió a volver al área de masas, donde se encendieron los tanques de almacenamiento la cantidad de tiempo definida de la prueba.
8. Al finalizar el tiempo de agitación se extrajeron nuevas muestras y fueron llevadas al laboratorio para repetir el proceso de medición.
9. Luego de obtener mediciones de reposo y agitación se esperó el tiempo de ciclo para repetir el procedimiento de muestreo las veces que fueron definidas para la prueba con intervalos de 4 y 8 horas (por lo que las siguientes mediciones se tomaron a las 12:00 md y/o a las 4:00 pm).

4.4 Resultados obtenidos

Al realizar el procedimiento descrito en el segmento anterior se obtuvieron los resultados presentados en las tablas adjuntas del apéndice B.4. En estas tablas se muestra el tiempo transcurrido desde la primera agitación (ya sean cuatro u ocho horas), el estado del Plastisol que puede ser reposo o posterior a la agitación, la temperatura, el promedio de la temperatura, la medición de viscosidad y su promedio tanto para la sección superior como inferior del tanque, además de la diferencia de viscosidad producida entre las secciones.

Se recopilaron estos datos para determinar el comportamiento del Plastisol respecto al tiempo, la temperatura es necesaria debido a que se planteó su importancia para evitar entrar en rangos de temperatura problemáticos, la viscosidad permite conocer el comportamiento de la sustancia en el área donde es medida y su diferencia da a conocer su homogeneidad.

Se tomaron muestras de la parte superior e inferior debido a que son las áreas más críticas para mantener un producto homogéneo y según fue indicado son las secciones más problemáticas para el estudio en cuestión.

A modo de permitir la interpretación de los resultados se han graficado los resultados de las tablas representando el comportamiento de:

- Las viscosidades superior e inferior con su respectiva línea de tendencia además de la diferencia entre estas, señalando entre líneas puntuadas una franja donde deben encontrarse los valores de viscosidad para poder extraer el Plastisol correctamente (Figuras 4.9, 4.11, 4.13, 4.15, 4.17 y 4.19).
- La variación de la temperatura a lo largo del proceso demarcando en líneas puntuadas el valor crítico de la temperatura, el cual no debe ser superado (Figuras 4.10, 4.12, 4.14, 4.16, 4.18 y 4.20).

Luego de la presentación de estos resultados gráficos se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza.

4.4.1 Resultados de pruebas con agitaciones de 5 minutos

4.4.1.1 Prueba de tres etapas

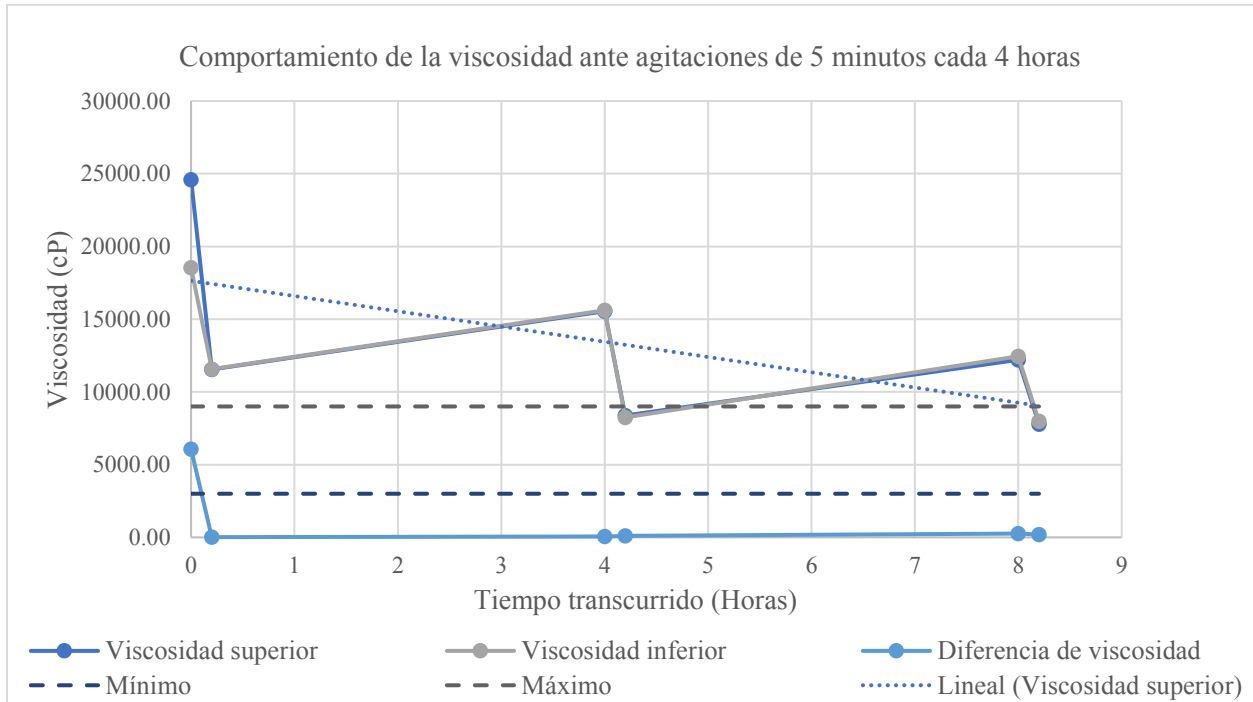


Figura 4.9. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.

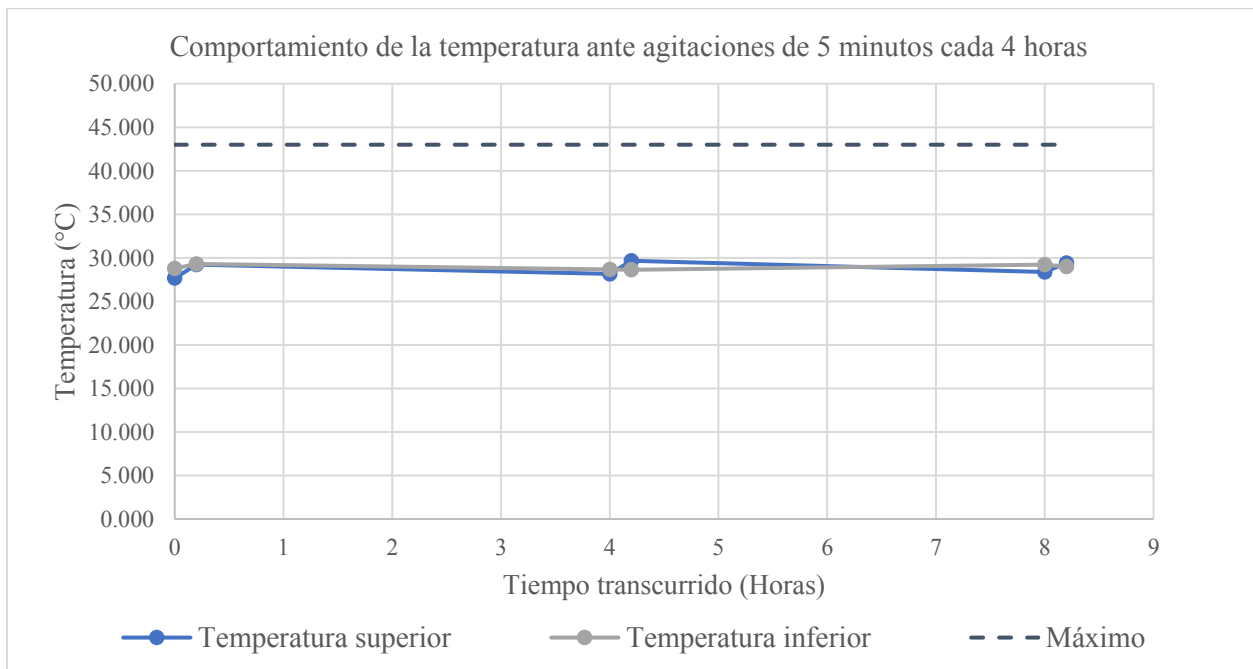


Figura 4.10. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.

4.4.1.2 Prueba de dos etapas

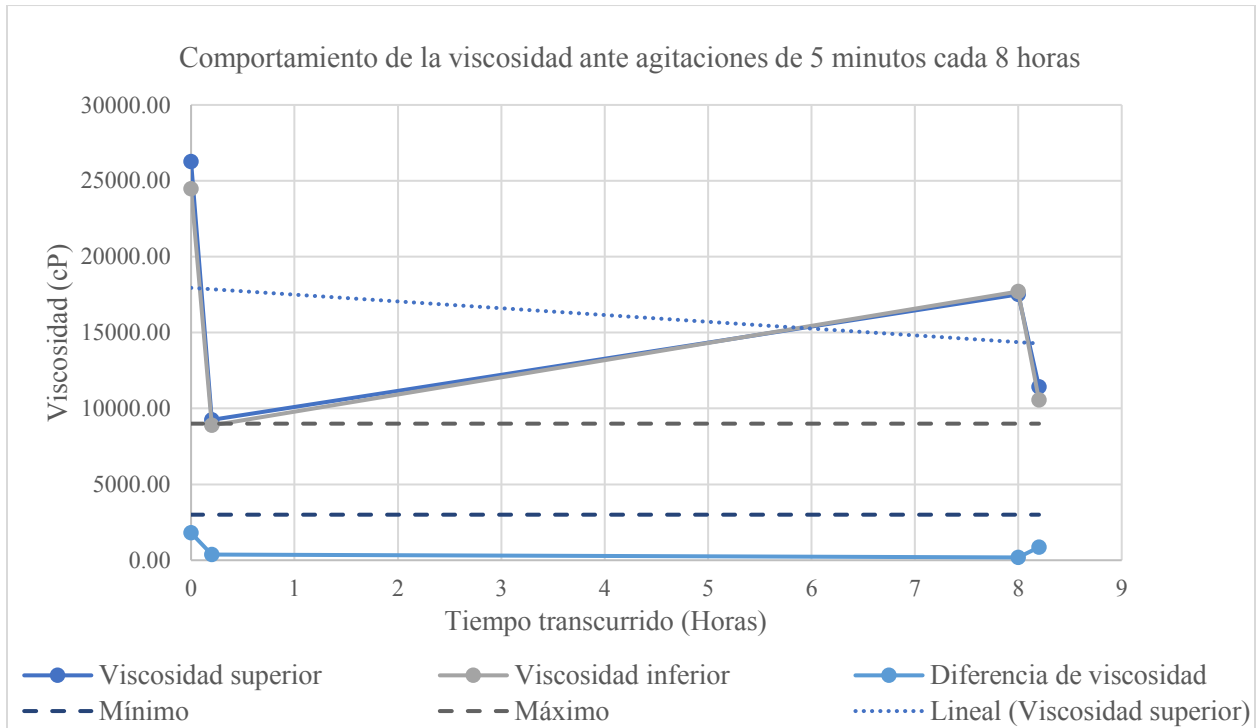


Figura 4.11. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.

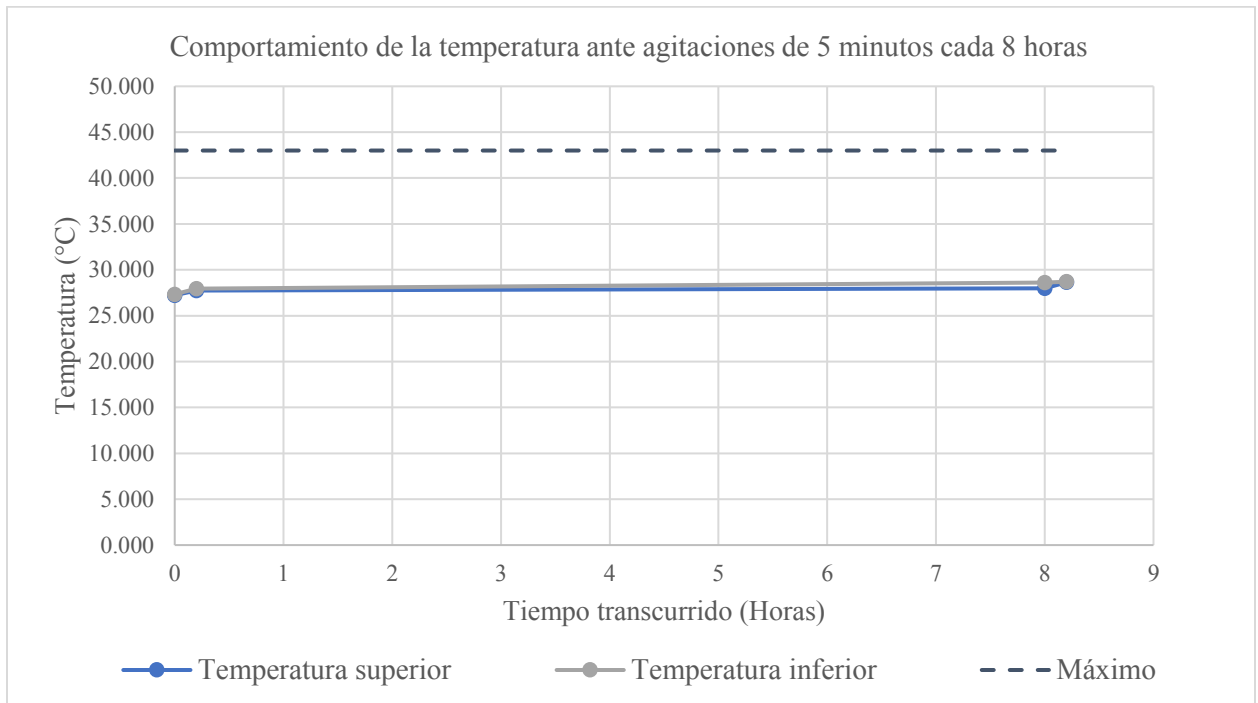


Figura 4.12. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.

4.4.2 Resultados de pruebas con agitaciones de 7 minutos

4.4.2.1 Prueba de tres etapas

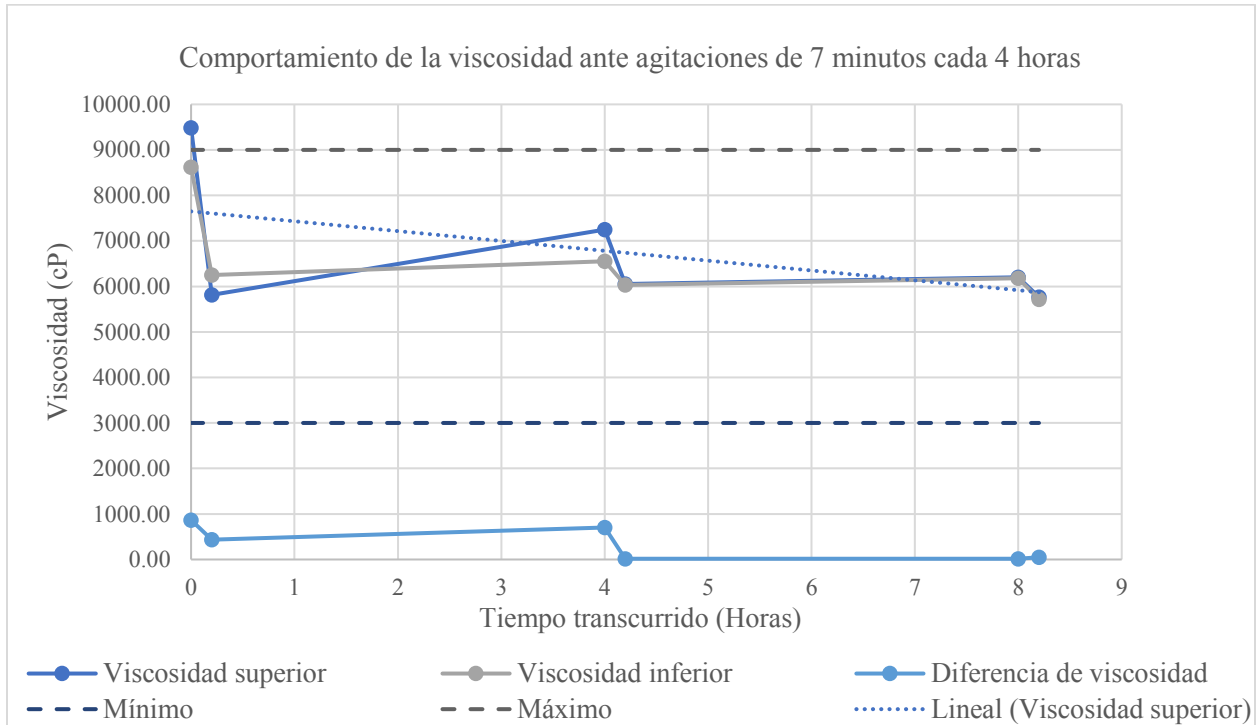


Figura 4.13. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.

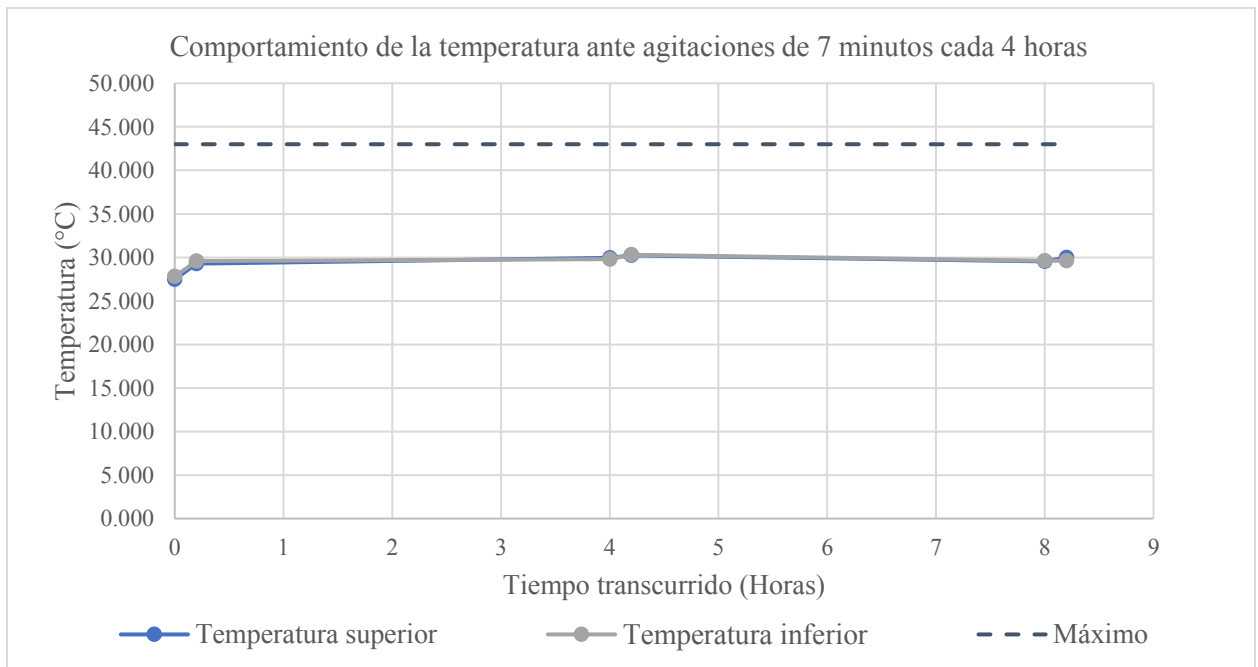


Figura 4.14. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.

4.4.2.2 Prueba de dos etapas

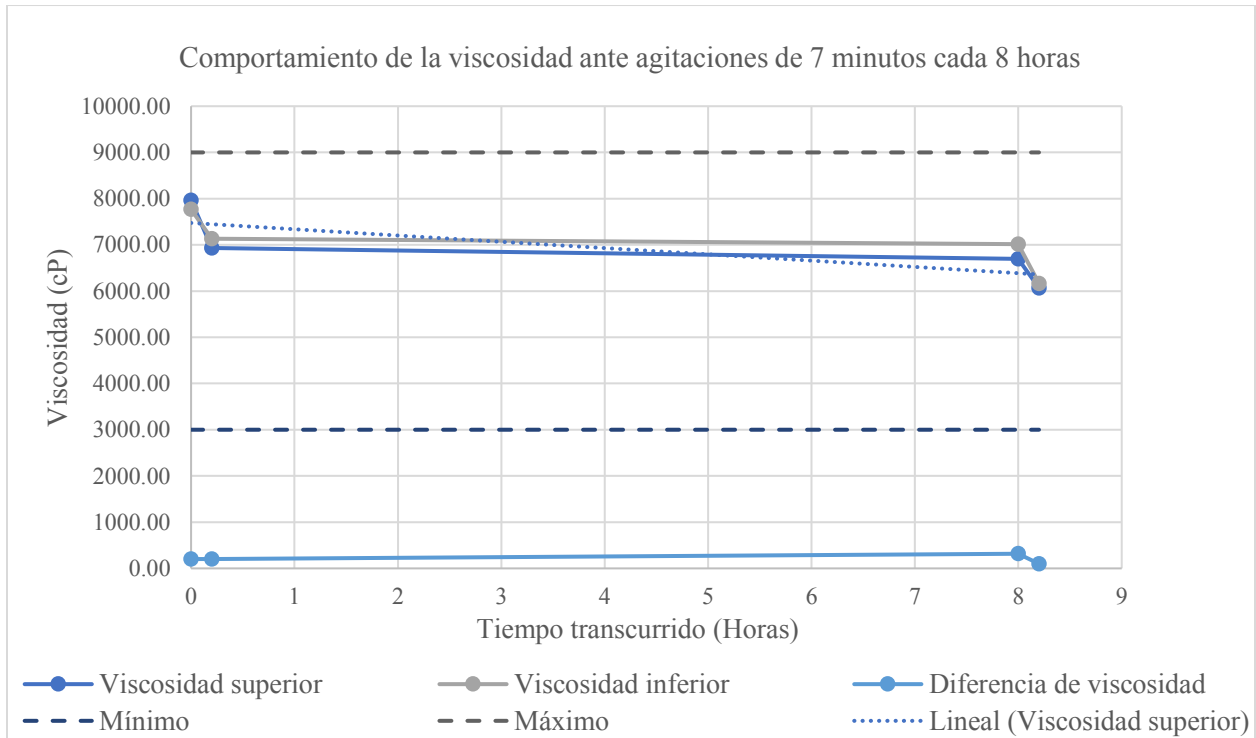


Figura 4.15. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.

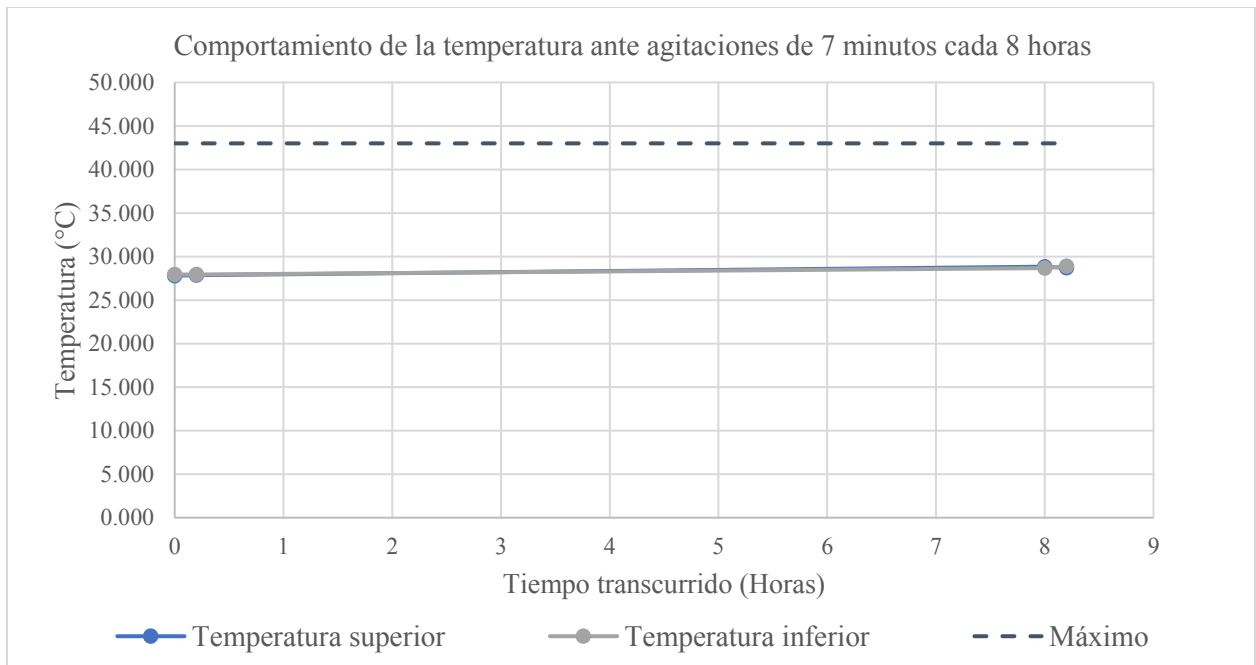


Figura 4.16. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.

4.4.3 Resultados de pruebas con agitaciones de 9 minutos

4.4.3.1 Prueba de tres etapas

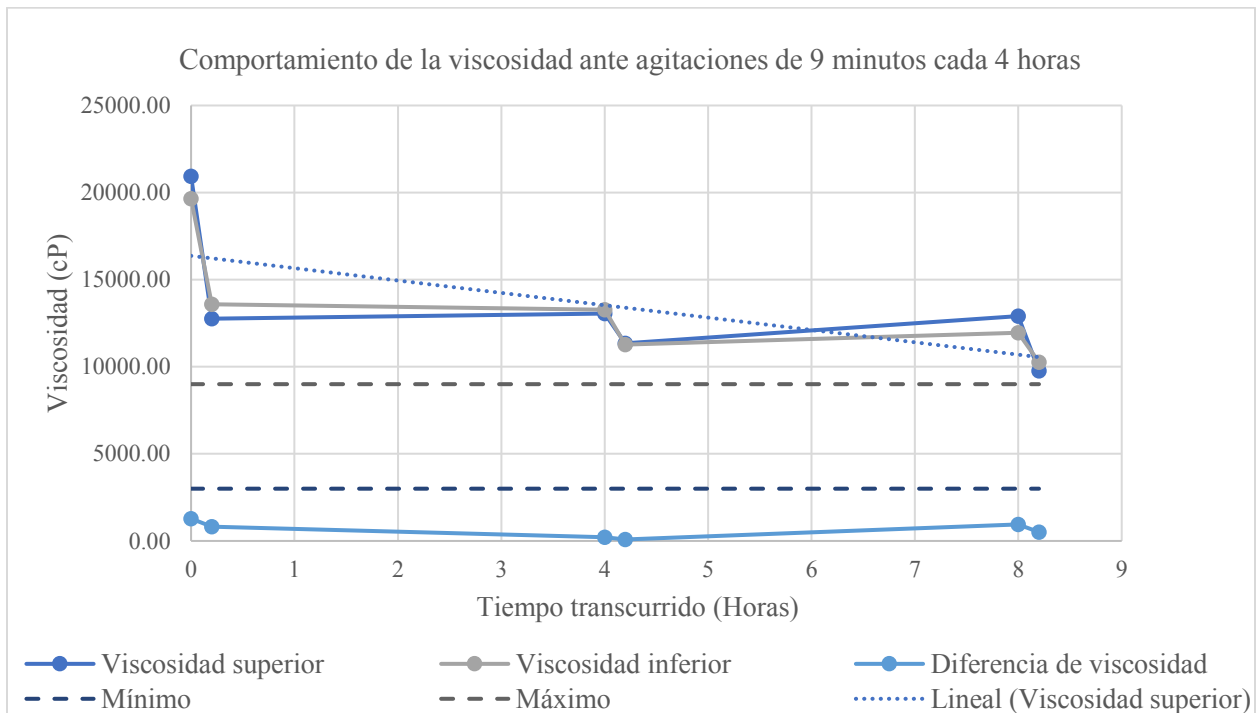


Figura 4.17. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.

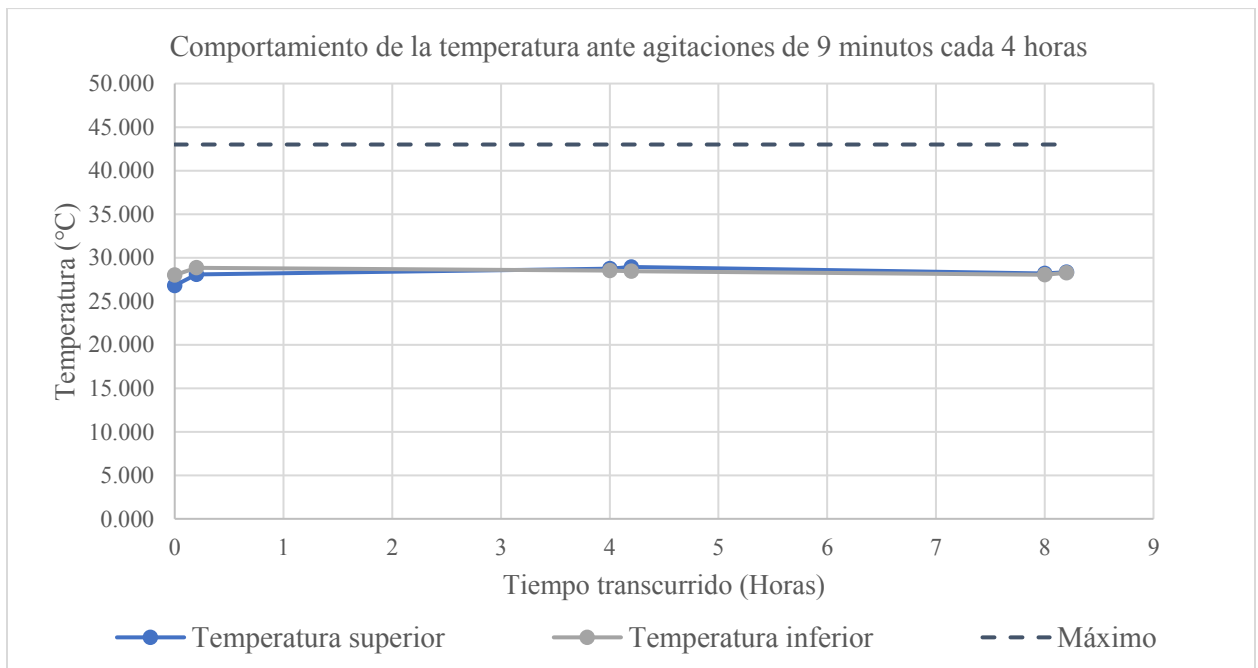


Figura 4.18. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.

4.4.3.2 Prueba de dos etapas

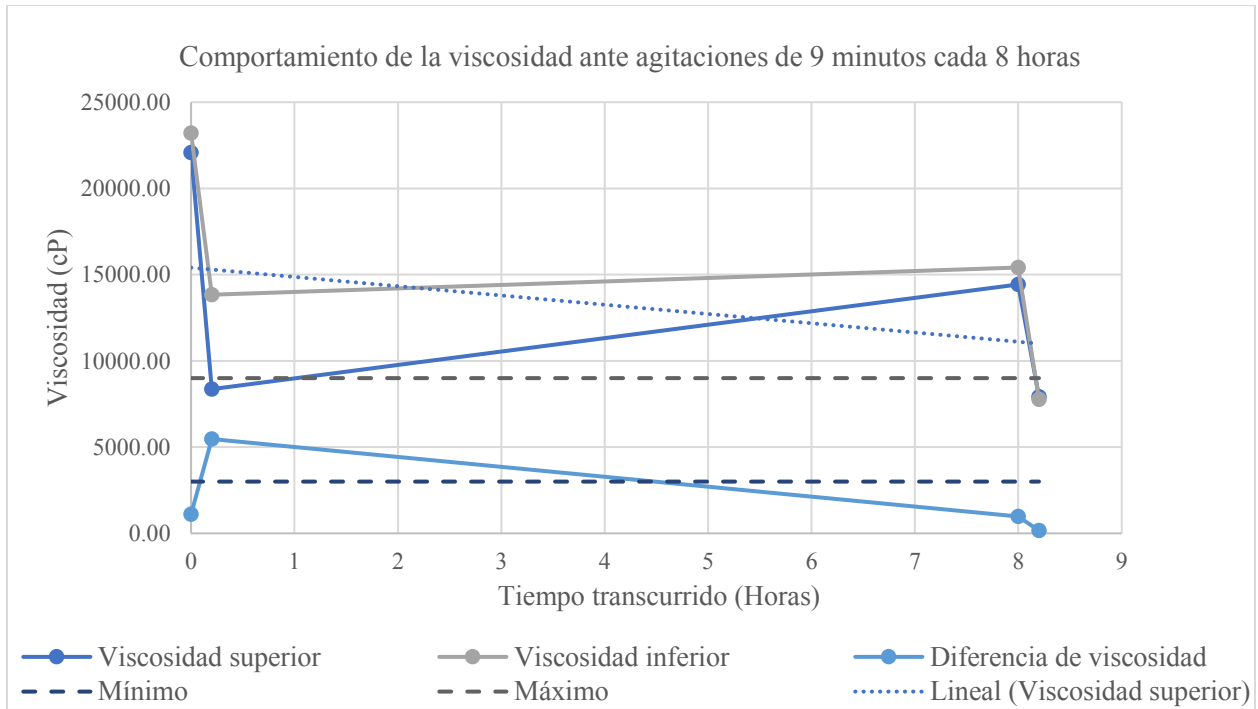


Figura 4.19. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.

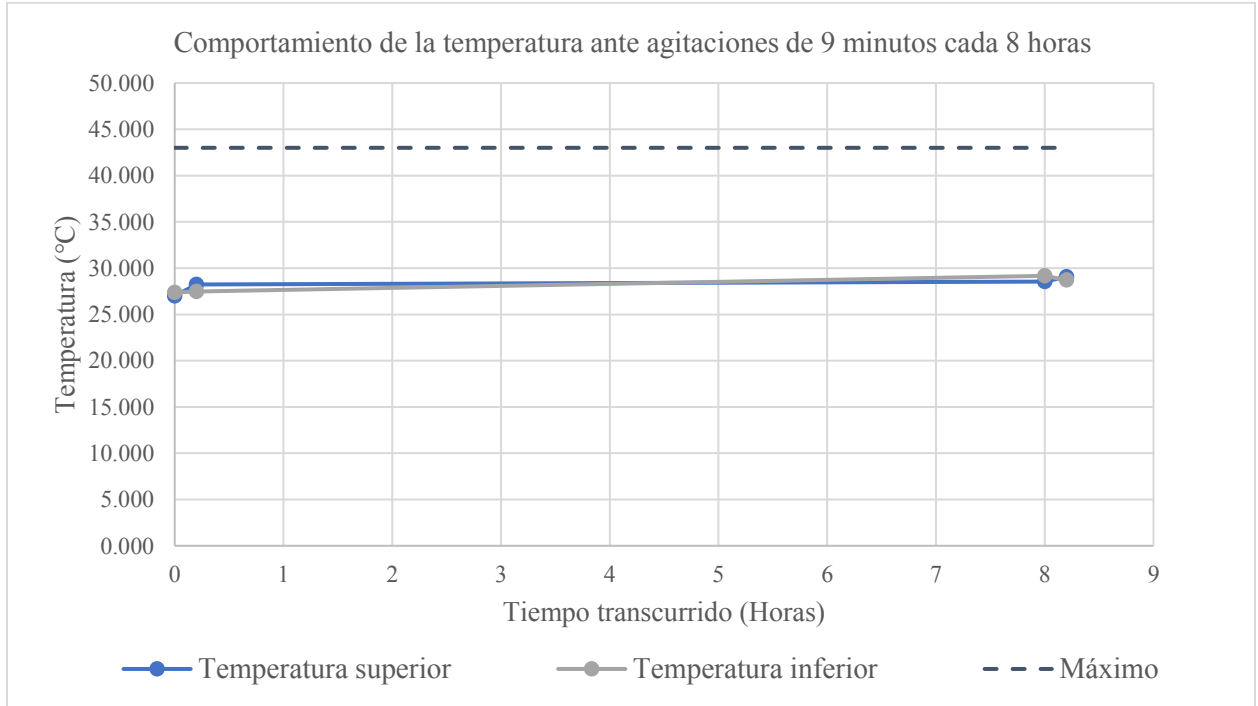


Figura 4.20. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.

4.4.4 Resultados del análisis de varianza (ANOVA)

Para la realización del experimento ANOVA se hace uso de los valores de diferencia de viscosidad individuales para cada zona de muestreo del experimento sin considerar las mediciones realizadas cuando el Plastisol se encuentra en reposo en las primeras seis muestras de cada prueba.

En este experimento se realizan declaraciones generales como lo son las hipótesis y el nivel de significancia como se muestra en la Tabla 4.1 y posteriormente se declaran las características del factor de influencia como se ve en la Tabla 4.2. Con estas declaraciones y los datos ingresados se genera el análisis de la varianza para cada experimento.

Tabla 4.1. Declaración de parámetros del análisis de varianza.

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 4.2. Información de los factores de influencia.

Factor	Niveles	Valores
Agitación	3	5 minutos, 7 minutos, 9 minutos

Con este experimento se buscaba determinar la diferencia entre los distintos tiempos de agitación y a su vez lograr determinar cuál de estos implica la menor diferencia entre las viscosidades superior e inferior en los tanques de almacenamiento mediante un proceso estadístico, matemático y gráfico, lo cual complementa la información graficada en los segmentos anteriores.

Haciendo uso de la herramienta Minitab e ingresando como factor y respuesta los valores mostrados en el Apéndice B.4, para las viscosidades indicadas de la parte superior e inferior del tanque, en la estadística de análisis de varianza de un solo factor, se obtuvieron los siguientes resultados.

4.4.4.1 Resultados ante intervalos de 4 horas entre agitaciones

4.4.4.1.1 Análisis de Varianza

Tabla 4.3. Valor p obtenido mediante el análisis de varianza de ciclos de agitación de 4 horas.

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Agitación	2	493444	246722	0.89	0.419
Error	42	11656333	277532		
Total	44	12149778			

4.4.4.1.2 Resumen del modelo

Tabla 4.4. Obtención del valor de R cuadrado ante ciclos de agitación de 4 horas.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
526.813	4.06%	0.00%	0.00%

4.4.4.1.3 Medias

Tabla 4.5. Obtención de las medias de los factores ante ciclos de agitación de 4 horas.

Agitación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5 minutos	15	563	572	(289, 838)
7 minutos	15	350.0	332.7	(75.5, 624.5)
9 minutos	15	580	628	(305, 855)

Desv.Est. agrupada = 526.813

4.4.4.1.4 Comparaciones en parejas de Tukey

Tabla 4.6. Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% ante ciclos de agitación de 4 horas.

Agitación	N	Media	Agrupación
9 minutos	15	580	A
5 minutos	15	563	A
7 minutos	15	350.0	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

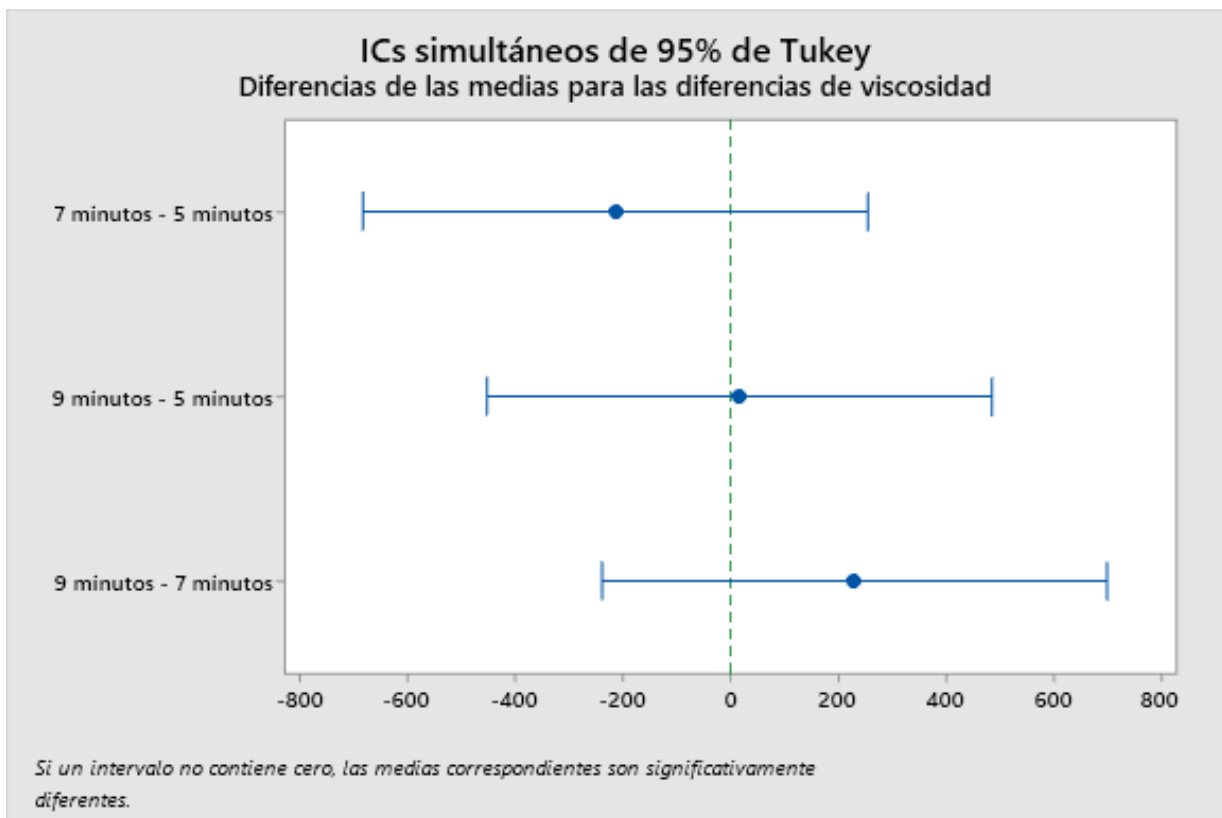


Figura 4.21. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 4 horas.

4.4.4.1.5 Intervalos de diferencia

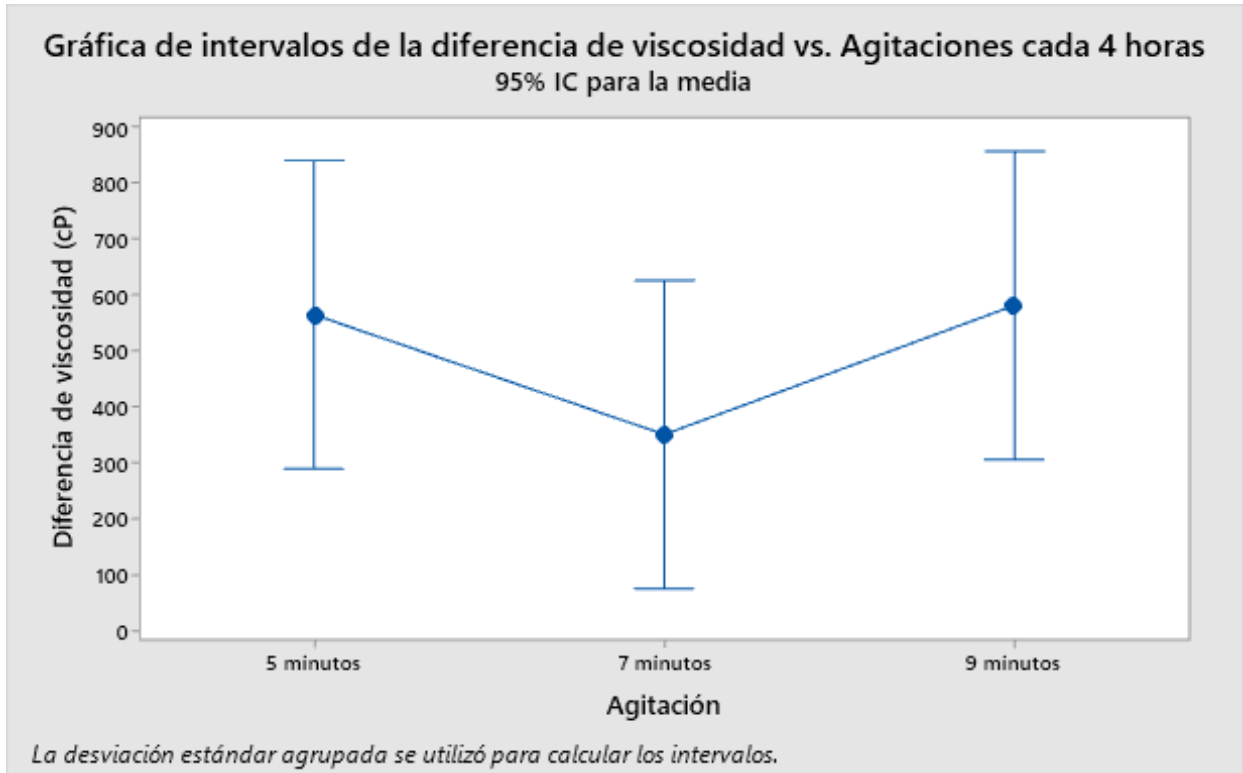


Figura 4.22. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 4 horas.

4.4.4.2 Resultados ante intervalos de 8 horas entre agitaciones

4.4.4.2.1 Análisis de Varianza

Tabla 4.7. Valor p obtenido mediante el análisis de varianza de ciclos de agitación de 8 horas.

Fuente	GL	SC Ajuste	MC Ajuste	Valor F	Valor p
Agitación	2	25244363	12622181	5.79	0.009
Error	24	52276911	2178205		
Total	26	77521274			

4.4.4.2.2 Resumen del modelo

Tabla 4.8. Obtención del valor de R cuadrado ante ciclos de agitación de 8 horas.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1475.87	32.56%	26.94%	14.65%

4.4.4.2.3 Medias

Tabla 4.9. Obtención de las medias de los factores ante ciclos de agitación de 8 horas.

Agitación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5 minutos	9	556	323	(-460, 1571)
7 minutos	9	239	301	(-776, 1254)
9 minutos	9	2430	2518	(1415, 3445)

Desv.Est. agrupada = 1475.87

4.4.4.2.4 Comparaciones en parejas de Tukey

Tabla 4.10. Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% ante ciclos de agitación de 8 horas.

Agitación	N	Media	Agrupación
9 minutos	9	2430	A
5 minutos	9	556	B
7 minutos	9	239	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

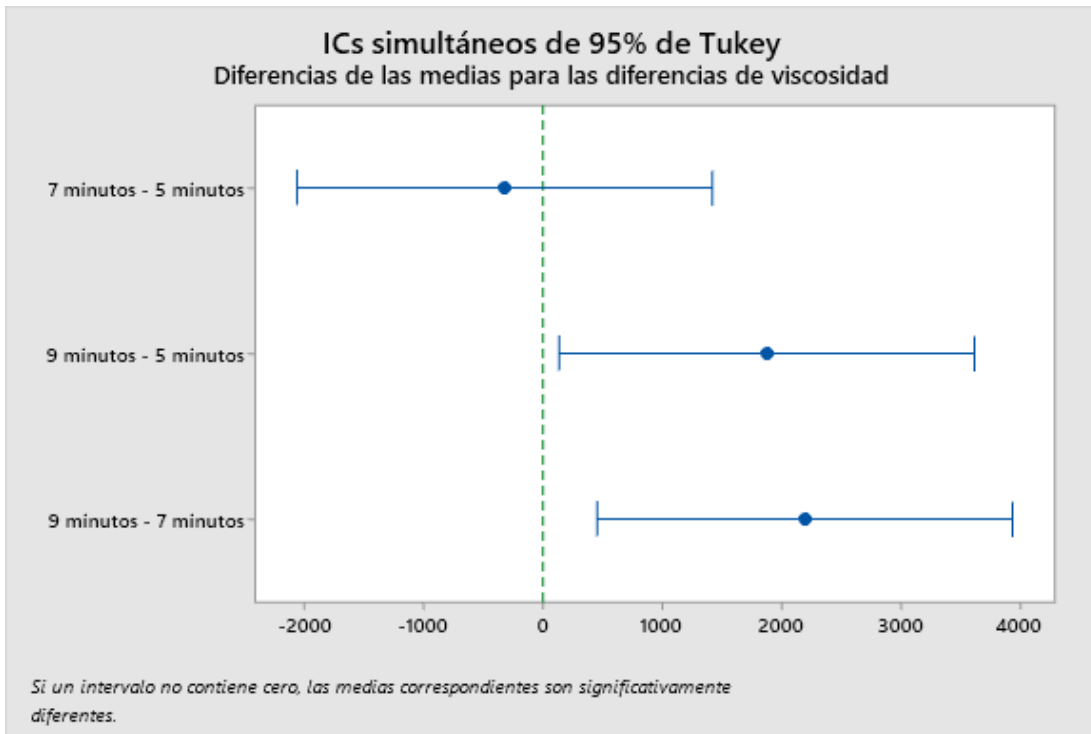


Figura 4.23. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 8 horas.

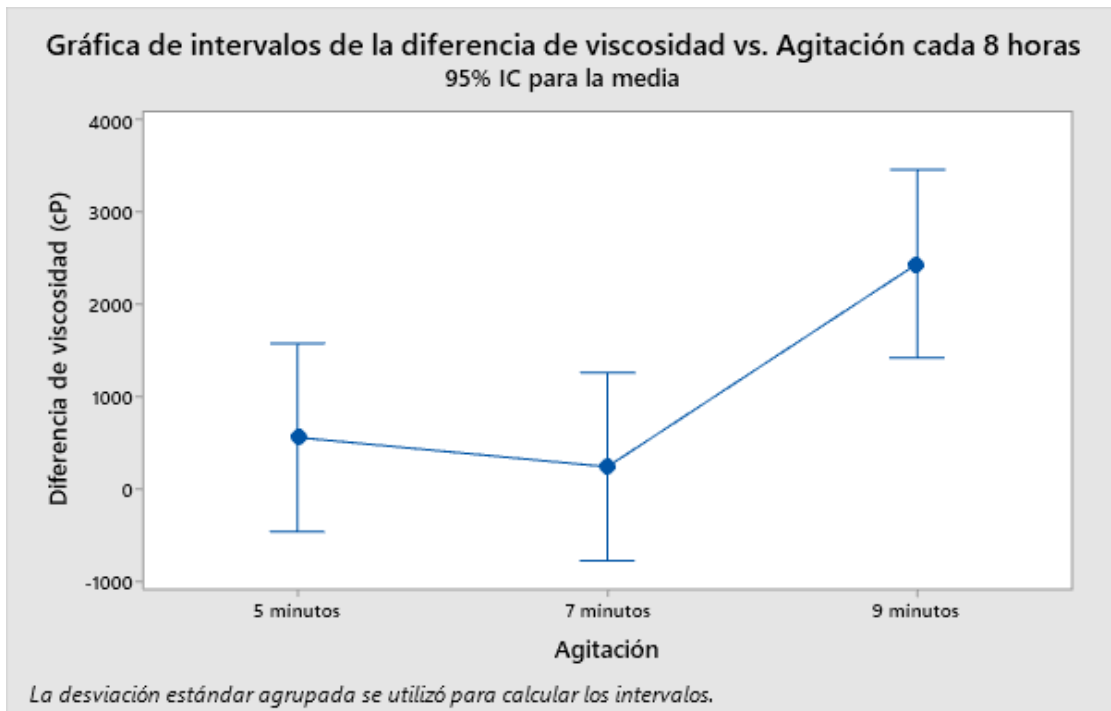


Figura 4.24. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 8 horas.

4.5 Análisis de resultados

4.5.1 Agitaciones de cinco minutos

Al graficar el comportamiento de la viscosidad del Plastisol al aplicarle agitaciones de cinco minutos, se obtuvo una tendencia decreciente en la viscosidad, para las pruebas de tres etapas la viscosidad aumentó considerablemente luego de las cuatro y las ocho horas de reposo, teniendo un aumento de la viscosidad de aproximadamente 4000 cP en la primera prueba y de aproximadamente 8000 cP para la segunda.

De este comportamiento se extrae que este tiempo de agitación no llega a provocar un cambio significativo en el contenido del tanque en términos de la laminación del Plastisol por lo que, al detenerse, el cambio generado es bajo y el retorno a su condición inicial requiere de un menor tiempo.

Por otra parte, se tiene el comportamiento de la temperatura durante el proceso de agitación, la cual no presenta un aumento considerable manteniéndose siempre por debajo de los 30°C, lo cual contribuye con el análisis realizado respecto a la poca variación que esta agitación produce en la sustancia.

Debido al comportamiento de la tendencia de la viscosidad se estima que la viscosidad del Plastisol lograría entrar en el rango de aceptación luego de una agitación adicional para la prueba de 4 horas, mientras que la de 8 horas no parece un procedimiento adecuado para el Plastisol debido a que el poco cambio por la agitación corta y el alto periodo de reposo generaría variaciones muy elevadas de la viscosidad durante el proceso.

Lo anterior afectaría el hecho de que si se desea extraer producto en medio del tiempo de reposo de la sustancia la hora de extracción sería crítica, ya que entre más cerca se esté del momento de agitar más viscoso será el fluido, obteniendo resultados no homogéneos.

Finalmente, la diferencia de viscosidades de la parte inferior y superior parece ser aceptable ya que entra en los rangos de las métricas definidas para la prueba de cuatro horas, pero no ocurre igual para una agitación realizada cada ocho horas.

4.5.2 Agitaciones de siete minutos

De igual manera que para las agitaciones de cinco minutos la tendencia de la viscosidad al agitar el Plastisol tiene un comportamiento decreciente, pero la diferencia se encuentra en el aumento de dicha viscosidad al pasar tiempo en reposo, debido a que apenas aumenta 1700 cP para la prueba de cuatro horas de ciclo y 1000 cP en la prueba de ocho horas de ciclo, que además proyecta disminuir con el tiempo al mantenerse dentro de la banda de aceptación.

Con la agitación de siete minutos parece que, sí se logra obtener un cambio significativo en el comportamiento interno de la sustancia, generando que al detenerse el cambio producido sea suficiente como para mantener durante el reposo un comportamiento regular con ligeras variaciones de la viscosidad.

En lo que respecta a la temperatura las agitaciones de siete minutos lograron alcanzar los 30°C en la sustancia lo cual permite complementar el análisis de la dificultad del Plastisol para llegar a su viscosidad inicial antes de ser agitado.

Al analizar la tendencia de la viscosidad en las gráficas de las Figuras 4.13 y 4.15 se determina que para siete minutos de agitación el Plastisol continuará disminuyendo su viscosidad entre más procedimientos de esta clase se le aplique en los intervalos definidos.

Debido a lo anterior se estima que las agitaciones de siete minutos son adecuadas para que el Plastisol pueda ser extraído del tanque durante los tiempos de reposo durante cualquier hora del proceso e incluso podría aumentarse el tiempo de reposo para mantener un rango de viscosidad que no varíe significativamente, el comportamiento descrito define un producto homogéneo como resultado.

Por último, la diferencia de las viscosidades inferior y superior se mantiene siempre dentro del rango de aceptación definidos en las métricas de validación del sistema tanto para los ciclos de cuatro y ocho horas, pero siendo ligeramente en mejor medida para el primero.

4.5.3 Agitaciones de nueve minutos

Cómo es de esperar las agitaciones realizadas durante nueve minutos son las que poseen la tendencia más pronunciada de disminución de la viscosidad, sin embargo, es el tiempo de agitación con mayor diferencia entre la parte superior e inferior del tanque.

Aparentemente la sección inferior del tanque presenta un límite de disminución de viscosidad ante periodos largos de agitación. En este momento se empieza a generar una brecha entre las viscosidades que parece disminuirse durante el tiempo de reposo lo cual es capaz de producir que al extraer Plastisol justo después de la agitación se tenga un resultado no homogéneo en el producto.

Contradictoriamente para el análisis de la temperatura de la sustancia, esta no logra superar los 30°C alcanzados con las agitaciones de siete minutos y este parámetro no genera variaciones significativas en la sustancia al analizar su comportamiento a lo largo de las seis pruebas.

La pronunciada tendencia de disminución de viscosidad parece indicar que el Plastisol ante agitaciones de nueve minutos es capaz de entrar en la banda de aceptación de este parámetro, pero ante procedimientos consecutivos se estima que la viscosidad podría llegar a disminuir significativamente lo cual daría paso a un posible aumento de la temperatura.

Con lo anterior se determina que la elevada diferencia que puede producir una agitación entre las partes inferior y superior del tanque es capaz de inducir resultados no homogéneos en el producto y la disminución elevada de la viscosidad es capaz de tender a generar aumentos en la temperatura.

4.5.4 Análisis de varianza de intervalos de 4 horas entre agitaciones

Para la extracción de información del experimento ANOVA se utilizan las referencias del soporte de Minitab [24] donde se encuentra documentado el significado estadístico de cada uno de los parámetros de interés del experimento.

El primer parámetro de interés entre los resultados es el del valor p, si este valor presenta una magnitud menor a 0.05 se puede extraer que los factores entre sí difieren significativamente, para el caso de este experimento el valor p presenta un valor de 0.419 indicando que la variación entre las diferencias de viscosidad ante agitaciones de 5, 7 y 9 minutos no difieren significativamente.

Por otra parte, se tiene el parámetro de R cuadrado el cual si presenta un valor pequeño quiere decir que los resultados no pueden extrapolarse más allá de los factores utilizados (por ejemplo, no se podría predecir el comportamiento para agitaciones de 4 o 10 minutos). En el experimento en cuestión se obtuvo un valor de R cuadrado de 0% lo que indica un comportamiento impredecible ante agitaciones fuera del rango utilizado.

Del gráfico de Tukey puede extraerse como las medias de las diferencias de viscosidad entre los tiempos de agitación no presentan diferencias significativas ya que cada línea de comparación cruza por cero.

Como último elemento se tienen los gráficos de los intervalos de las diferencias de viscosidad ante las agitaciones realizadas cada cuatro horas de donde se obtiene que las agitaciones de 7 minutos presentan un punto de inflexión en el comportamiento de esta diferencia, aumentando la diferencia de la viscosidad superior e inferior del tanque al disminuir o aumentar el tiempo de agitación.

4.5.5 Análisis de varianza de intervalos de 8 horas entre agitaciones

Del mismo modo que para los intervalos de 4 horas para este experimento, se analizan los parámetros de interés. Primeramente, se parte del valor p, que en este caso obtiene una magnitud de 0.009 indicando una significativa variación entre las medias de las diferencias de viscosidad para agitaciones de 5, 7, y 9 minutos.

Sin embargo, el valor de R cuadrado presenta un valor de 14.65% lo que quiere decir que de igual manera el experimento no puede extrapolarse para agitaciones de mayor o menor tiempo.

Al analizar el gráfico de Tukey de este experimento se extrae la diferencia significativa entre las agitaciones de 9 y 5 minutos y las agitaciones de 9 y 7 minutos lo que indica una severa variación de resultados entre estas pruebas realizadas. Una forma más visual de interpretar este comportamiento se muestra en el gráfico de la Figura 4.24 donde la prueba de nueve minutos es la que presenta mayores diferencias entre las viscosidades de la parte superior e inferior del tanque, complementando el análisis de la brecha generada por el límite de disminución de viscosidad de la parte inferior de este.

4.6 Conclusiones del experimento

- Con el procedimiento seguido se ha llevado a cabo un experimento donde puede determinarse el comportamiento del Plastisol al ser sometido a distintos ciclos y tiempos de agitación, en términos de la diferencia de viscosidad del área superior e inferior de los tanques de almacenamiento, además de su temperatura.
- Dentro de los valores de viscosidad, velocidad de agitación, tiempo de agitación y cantidad de producto en los tanques se puede determinar que la agitación del Plastisol genera un comportamiento decreciente de la viscosidad.
- Dentro de los rangos del experimento los tiempos de agitación influyen en el comportamiento de la sustancia durante su tiempo de reposo ya que la agitación es capaz de no producir variaciones significativas para cinco minutos de agitación, volviendo a su estado inicial de manera acelerada, mientras que para nueve minutos de agitación la parte inferior del tanque parece llegar a un límite de disminución de viscosidad lo que genera brechas de este parámetro entre la zona inferior y superior del tanque.
- La temperatura no presenta variaciones significativas a lo largo de los experimentos, dentro de los rangos en los que fueron desarrollados, considerando que para obtener un producto homogéneo (según la referencia del supervisor del área de masas) no se requiere mayor tiempo de agitación que el estudiado, no se considera la medición de la temperatura como un parámetro importante en el desarrollo del sistema de control y monitorización.
- Según el análisis de varianza las agitaciones realizadas cada cuatro horas no presentan diferencias significativas en la homogeneidad del producto ya que todas se mantienen dentro de los valores aceptables en las métricas definidas, esto quiere decir que el producto podría ser agitado cada cuatro horas dentro de los límites de los tiempos de agitación medidos y se obtendría un producto homogéneo. Sin embargo, al estudiar la tendencia de la viscosidad se determina que las agitaciones de siete minutos son aquellas que no producen disminuciones pronunciadas de la viscosidad permitiendo mantener la sustancia dentro de los márgenes aceptables definidos mientras la sustancia esté en el tanque.
- La media de las diferencias entre las viscosidades superiores e inferiores de un tanque de almacenamiento presentan menor magnitud cuando se realizan agitaciones de siete minutos y aumentan a menor o mayor tiempo de agitación.
- El análisis de las varianzas de los tiempos de agitación con intervalos de ocho horas presenta diferencias significativas entre las medias de 9 con 5 minutos y 9 con 7 minutos lo que sugiere que al agitar tiempos prolongados aumenta una brecha entre las diferencias de viscosidad de las áreas del tanque.
- Al aplicar intervalos de ocho horas entre agitaciones la media de menor magnitud se da con agitaciones de siete minutos sin presentar gran diferencia respecto a las agitaciones de cinco minutos, pero gran variación con las agitaciones de nueve minutos.
- Los experimentos desarrollados sugieren que la aplicación de agitaciones de siete minutos con ciclos dentro del rango de las cuatro y las ocho horas son los más adecuados para mantener un producto homogéneo a una temperatura lejos del riesgo de quemado.

5 Propuesta de diseño

En esta sección se procede con la toma de decisiones para la generación de la propuesta de diseño respecto de la selección de componentes compatibles entre sí y con los dispositivos instalados en planta con base en la información recopilada del proceso externo de investigación. Por otra parte, se presenta la configuración y conexión de cada uno de estos dispositivos concluyendo en una guía de instalación general que contemple cada etapa del diseño. Los dispositivos y tecnologías contempladas son:

- El PLC.
- La fuente de alimentación del PLC.
- El módulo de comunicación.
- El HMI.
- Los relés de seguridad.
- El dispositivo de interrupción eléctrica principal.
- El botón de paro de emergencia.
- El gabinete de montaje.
- El riel de montaje.

5.1 Selección del PLC

Al contemplar las características de activación de los arrancadores utilizados AN16GN0 especificados en el Anexo A.1, se obtuvo que la cantidad de tensión en la bobina para la activación es de 110V, para lograr entregar esta tensión de forma segura y precisa se determina que puede hacer uso del estándar industrial de 24V como señal de control con una interfaz de potencia de tipo bloque terminal de relé, el cual se especificará más adelante.

Conociendo el requerimiento de tensión de salida del PLC se determina que la selección debe contemplar un dispositivo con una fuente de alimentación de 24V la cual puede ser integrada o modular, por otra parte, al trabajar con diez tanques de Plastisol se evidencia la necesidad de un mínimo de diez salidas digitales para el envío de señales de activación a cada arrancador.

Cada arrancador AN16GN0 permite obtener confirmación del contactor por lo cual se hace uso de diez entradas digitales para confirmación de seguridad de estos, por último, en el tema de las entradas digitales, se requiere de dos entradas adicionales para las señales de paro de emergencia y la señal de activación del modo automático de los tanques. El interruptor en planta del modo automático maneja 110V, para su comunicación con el PLC, se plantea utilizar un relé de seguridad que cumpla la función de interfaz de potencia para esta señal.

El PLC por seleccionar debe ser capaz de ser conectado a una interfaz hombre máquina (HMI), esta interfaz debe ser amigable con los usuarios para facilitar su uso, debido a esto el PLC debe ser compatible con interfaces con gráficos avanzados y dinámicos.

En el ámbito de los protocolos de comunicación, el PLC debe ser compatible con una conexión por PROFINET de entrada y salida para poder recibir instrucciones de manera remota por dispositivos conectados a la misma red, con esto en consideración el dispositivo debe contener al menos un puerto Ethernet de tipo RJ45 para ser conectado a un enrutador que lo conecte a la red.

Respecto de la configuración del PLC se conoce que se requieren de múltiples temporizadores para ejecutar los ciclos de trabajo, tiempos de agitación, tiempos de arranque, retrasos de señal y otros, para poder cumplir con los requerimientos del cliente, es por esto por lo que el factor de memoria y la cantidad de bloques direccionables juega un papel fundamental. Por otra parte, una amplia gama de tipos de programación del dispositivo, los tipos de variables admisibles y los bloques funcionales disponibles son elementos deseables para facilitar el proceso de configuración.

A partir de las consideraciones anteriores y tomando el asesoramiento de un proveedor nacional de la marca Siemens se logró determinar que el uso del PLC Siemens 6ES7214-1AG40-0XB0 el cual es parte de la familia SIMATIC S7-1200 designación 1214C DC/DC/DC cumple con los requerimientos descritos a cabalidad, en el Anexo A.2 se muestra en siete partes la especificación técnica de este dispositivo, donde puede extraerse el cumplimiento de las características descritas. La Tabla 5.1 comprende un resumen de los requerimientos del PLC para el proyecto en contraste con los parámetros de la selección realizada.

Tabla 5.1. Propiedades del PLC Siemens S7-1214C DC/DC/DC ante requerimientos.

Característica	Requerimiento	Propiedades de S7-1200
Tensión de entrada/salida	24V/24V	24V/24V
Fuente de alimentación	Integrada o modular	Modular
Salidas digitales	Mínimo: 10	10
Entradas digitales	Mínimo: 12	14
Compatibilidad con HMI	Mínimo: HMI regular Deseable: HMI COMFORT	Ambas
Protocolo PROFINET	Requerido	Aceptado
Puertos Ethernet RJ45	Mínimo: 1	1
Bloques soportados	FC, DB, contadores y temporizadores	FC, DB, FB, contadores y temporizadores
Máximo de bloques	~200	65535, sin restricción utiliza toda la memoria de trabajo.
Lenguaje de programación	Requerido: LAD Deseable: SFC	SCL, LAD, FBD

5.2 Configuración del PLC

Habiendo seleccionado el modelo de PLC que se adapte a los requerimientos del proyecto se comienza con el desarrollo del programa para el cumplimiento de los requerimientos del

cliente desarrollados en la metodología de este documento. De manera sintetizada, el programa debe cumplir con las siguientes funciones con base en las necesidades:

- Para la operación de los tanques:
 - Permitir la manipulación de temporizadores independientes para el ciclo de trabajo y tiempo de agitación.
 - Postergar el encendido durante un horario restringido, el cual corresponde al horario de mayor costo energético diario.
 - Eliminar el encendido simultáneo de los tanques para la eliminación de picos de corriente que afecten la vida útil de los equipos y aumenten el costo energético.
 - Asegurar un encendido regulado y controlado, que evite interrupciones durante su ejecución.
- Para el manejo del horario restringido:
 - Tomar la hora actual del país de forma que se tenga una restricción exacta.
 - Permitir el ingreso del horario por parte de un usuario del programa.
 - Hacer uso de los rangos de tiempo ingresados para el control de consumo.
- Para el aseguramiento de una correcta operación:
 - Obtener como entrada los valores de confirmación de cada uno de los contactores de los motores y verificar la concordancia entre la señal de arranque de un motor y su confirmación física.

5.2.1 Operación de tanques

El programa para la operación de los tanques corresponde a un proceso secuencial que atraviesa una serie de condiciones hasta poder llegar al encendido del tanque, como primera instancia se tiene la señal de operación que daría un usuario, esta variable puede ser detenida en cualquier momento, lo que llevaría a un reinicio de parámetros y el fin del programa.

El encendido de un tanque puede ocurrir por primera vez al dar la señal de operación o como dependiente del ciclo de trabajo, esto quiere decir que al dar la señal de operación el tanque debe encender inmediatamente, y luego esperar al ciclo para encender por segunda, tercera y veces posteriores. Por lo cual el encendido inicial del tanque es distinto al encendido ciclado ya que el primero no depende del tiempo de ciclo.

Los encendidos que dependen del tiempo de ciclo contemplan un temporizador cuyo valor es definido por un usuario, al terminar este tiempo y obtener su señal de salida se verifica si se está dentro del horario restringido, lo cual conllevaría a una espera a su finalización para poder continuar con el programa. Luego de esta verificación, el tanque entra en una cola de proceso, donde se verifica cuantos tanques deben encenderse en ese momento para secuenciar el encendido.

En caso de no existir más tanques en cola, el tanque encenderá directamente, de lo contrario el encendido esperará una señal de seguridad para encender, este encendido tendrá una duración dependiente del tiempo de agitación definido por el usuario y al finalizar se reiniciarán los parámetros para reiniciar el ciclo de encendido. Este proceso se puede observar en el diagrama de la Figura 5.1.

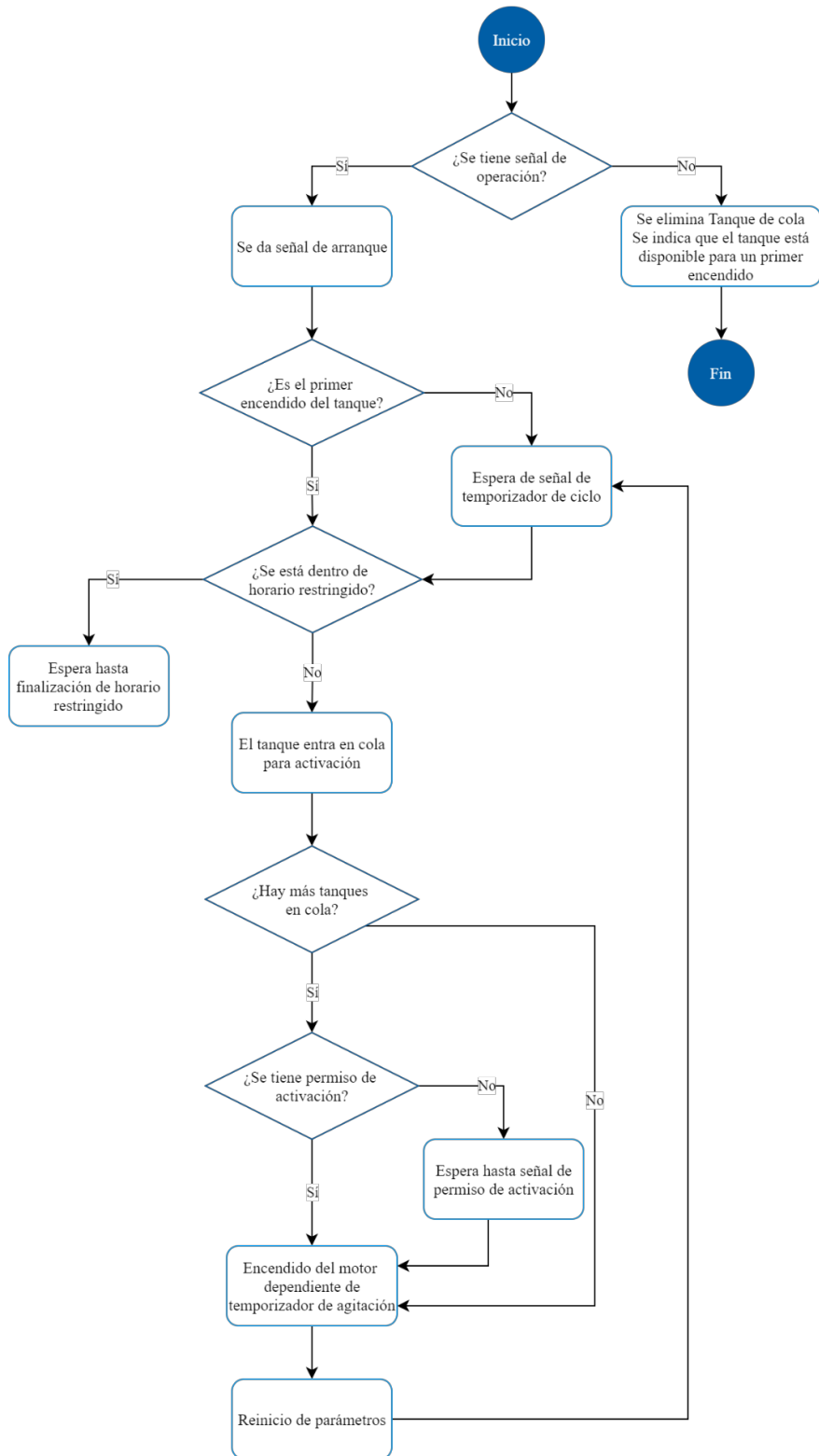


Figura 5.1. Diagrama de flujo del proceso de encendido de los tanques de agitación.

Como puede observarse en el diagrama, el proceso depende de una señal de activación segura al existir múltiples tanques que deben encender en el mismo instante, este algoritmo corresponde a un proceso secuencial de revisión de los tanques que se encuentran en cola, encargado de brindar las señales de encendido seguro luego de un tiempo dependiente del tiempo de arranque de cada uno de los motores de inducción, esto con el fin de evitar picos de tensión en la alimentación, lo cual permite disminuir el costo energético y aumenta el tiempo de vida útil de los equipos. El diagrama mostrado en la Figura 5.2 ilustra el proceso descrito.

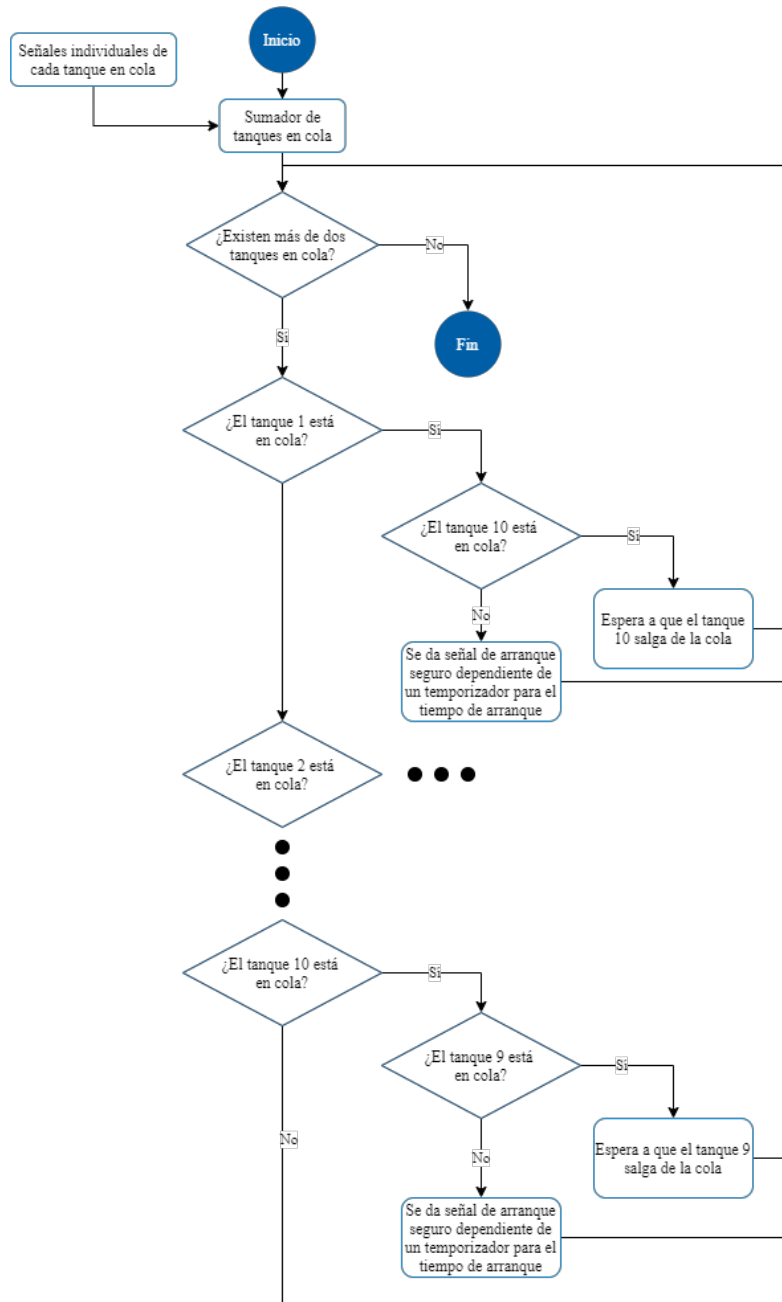


Figura 5.2. Proceso de secuenciación de encendido seguro de los tanques al existir simultaneidad.

A partir de los diagramas anteriores se desarrolló el programa en lenguaje LAD en TIA Portal para el PLC 1214. El programa mostrado en las Figuras 5.3a, 5.3b, 5.3c, 5.4a, y 5.4b donde se muestra para el Tanque 1 el algoritmo de encendido el cual es replicado para los diez tanques con sus respectivas variables y el secuenciador de arranque seguro para su señal de activación.

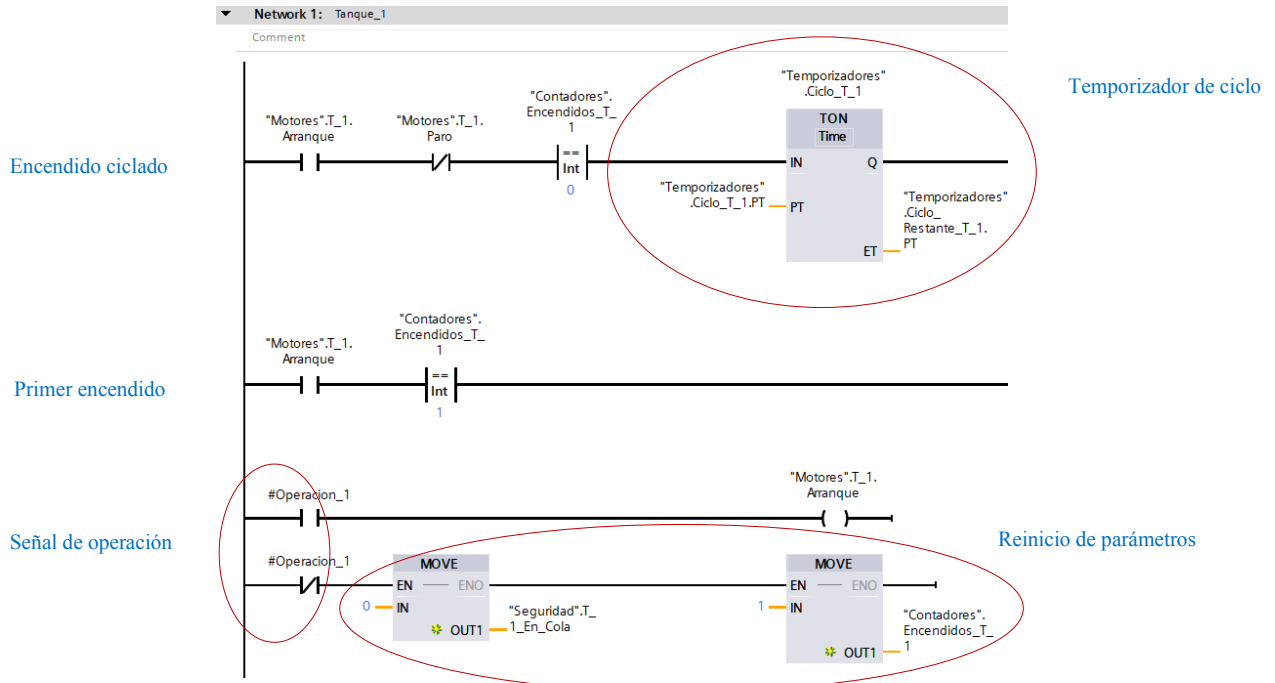


Figura 5.3a. Primera parte del programa de encendido de los tanques de agitación.

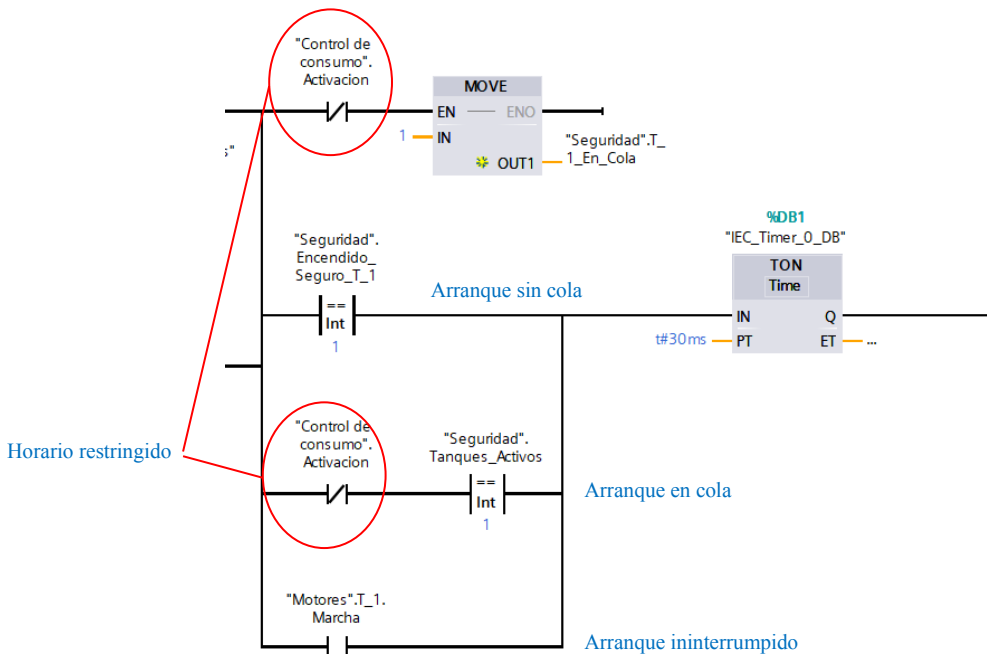


Figura 5.3b. Segunda parte del programa de encendido de los tanques de agitación.

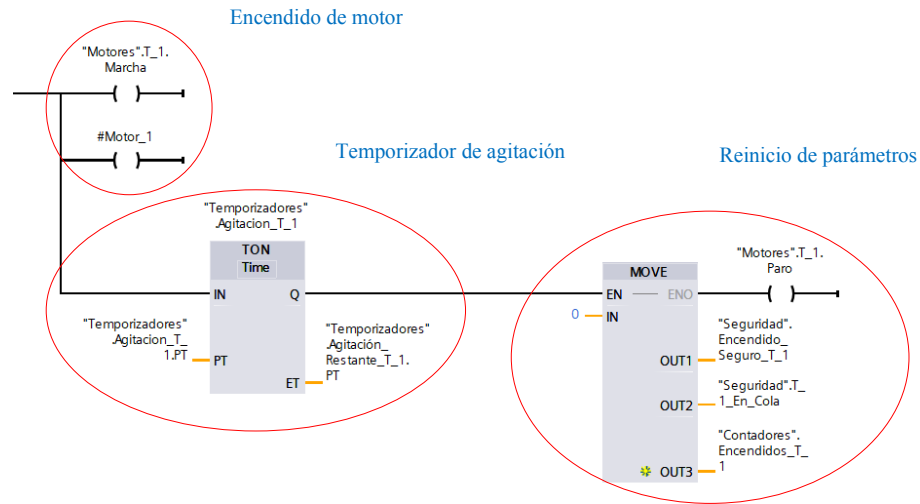


Figura 5.3c. Tercera parte del programa de encendido de los tanques de agitación.

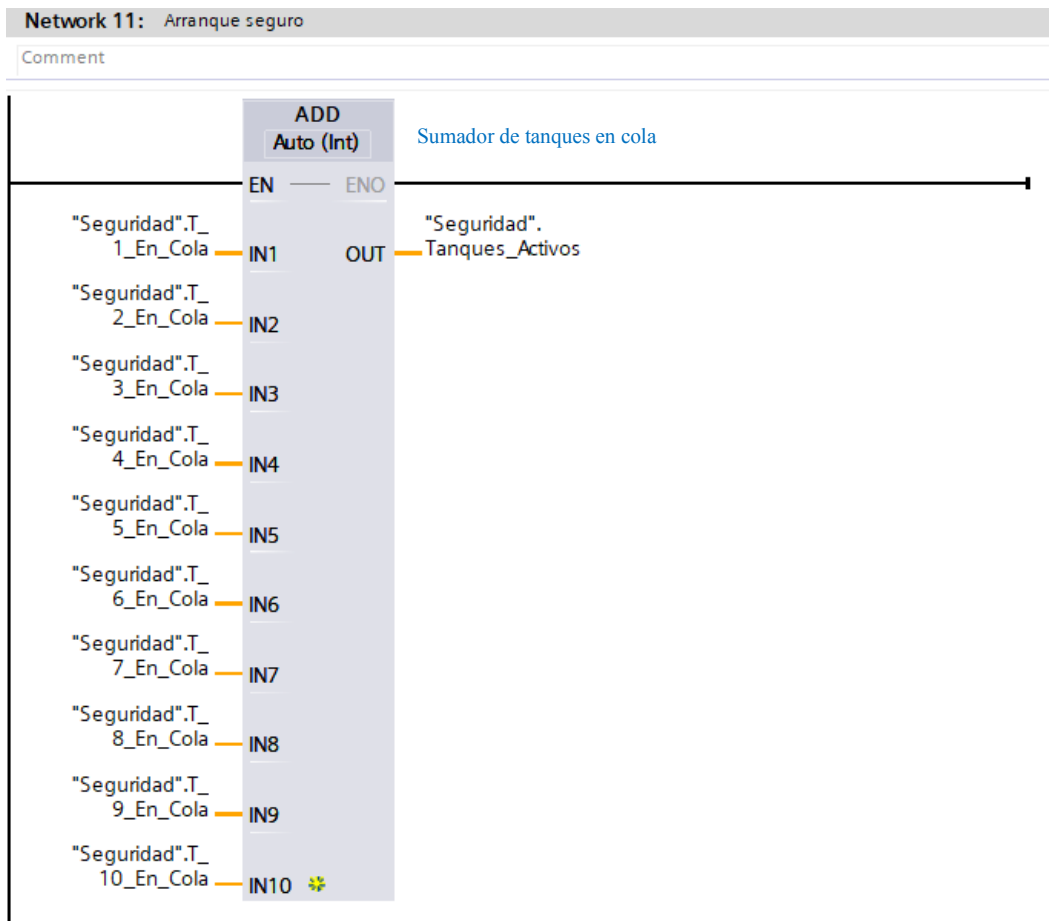


Figura 5.4a. Primera parte del programa de arranque seguro de los tanques.

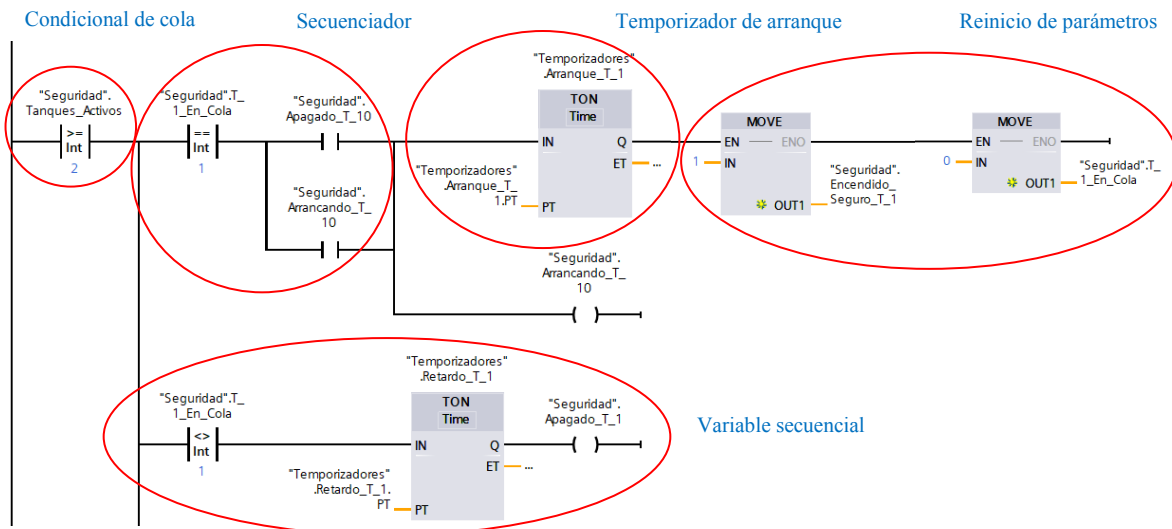


Figura 5.4b. Segunda parte del programa de arranque seguro de los tanques.

Las Figuras anteriores señalan en rojo el elemento correspondiente en el diagrama de flujo que representan, con el fin de ilustrar la función del segmento lógico que cumplen. Para el programa de arranque seguro se tiene una replicación del algoritmo mostrado para cada uno de los tanques de agitación ya que cada uno opera de forma independiente.

El programa mostrado contempla los requerimientos siguientes:

- Manejo del ciclo de operación.
- Manejo del tiempo de agitación.
- Operación secuencial ante arranques en el mismo instante.
- Encendido ininterrumpido de cada tanque.
- Operación independiente.
- Incorporación del horario restringido.

5.2.2 Control de horario restringido

El control del horario restringido en el programa requiere de tres operaciones básicas, las cuales son la obtención de la hora actual, la toma de datos del horario restringido por parte del operario y la operación de condicionales en los rangos de tiempos ingresados. La Figura 5.5 muestra el diagrama de operación de este algoritmo.

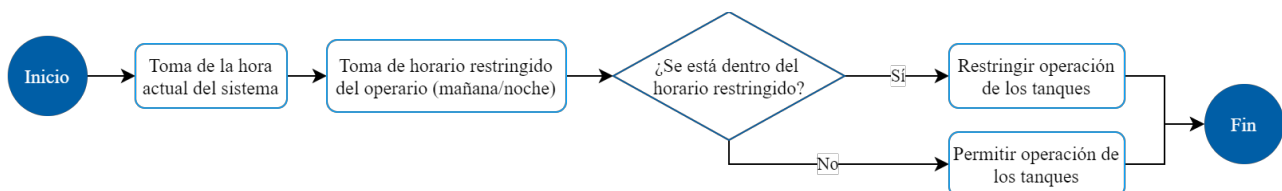


Figura 5.5. Proceso de manejo del horario restringido de los tanques de agitación.

Con el esquema de proceso definido se procede con la demostración del programa desarrollado en TIA Portal para la manipulación de la señal de restricción de operación en la Figura 5.6.

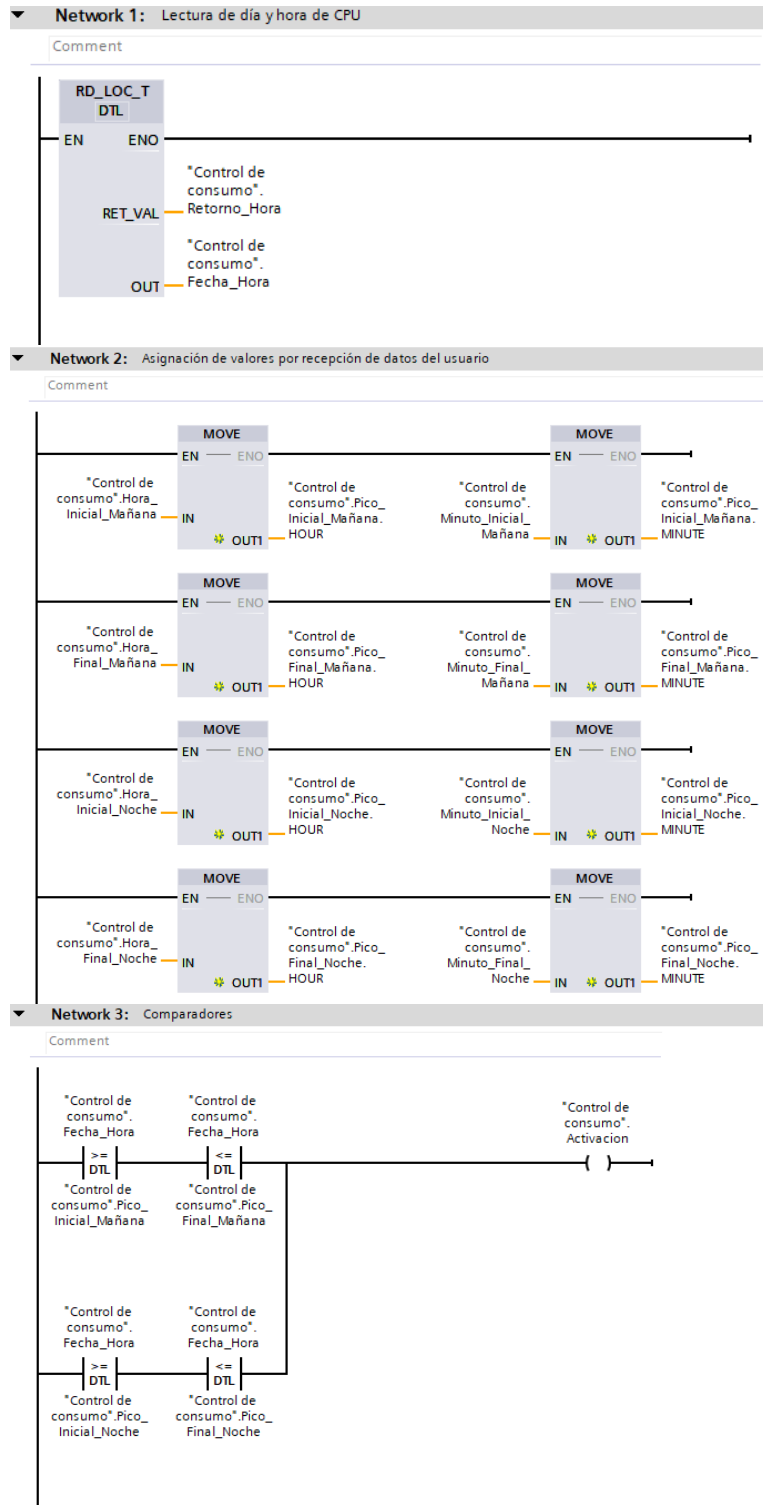


Figura 5.6. Programa de manejo de horas con un elevado costo de la energía.

5.2.3 Confirmación de contactores

El segmento del programa encargado de la confirmación corresponde al segmento más simple de la lógica, pero uno de los más importantes para la verificación del correcto funcionamiento del sistema, ya que este realiza una comparación entre la señal enviada de arranque al motor y la confirmación física obtenida del PLC con el fin de alertar en caso de un mal funcionamiento de la operación.

La primera parte corresponde a la toma de datos individual de cada uno de los tanques para la activación de una memoria que indica que existe confirmación por parte del contactor respectivo, la segunda parte corresponde a una comparador entre esta memoria y la señal de arranque, para que en el caso de que estas sean distintas se envíe una alerta al operario. La Figura 5.7 muestra la secuencia de operación de este proceso.

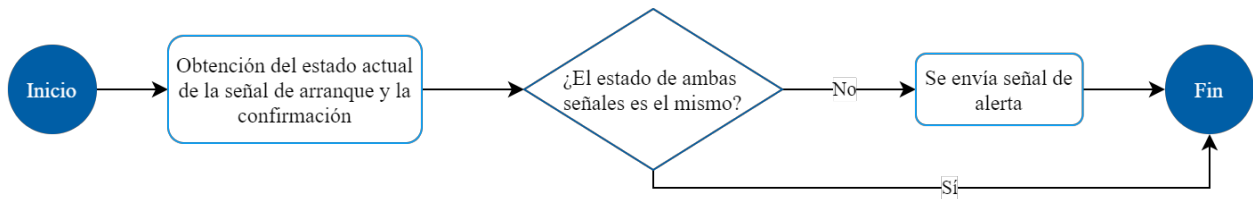


Figura 5.7. Secuencia del programa para la obtención de la confirmación y alerta de operación.

A partir de la lógica mostrada se presenta en la Figura 5.8 el programa desarrollado para su ejecución.

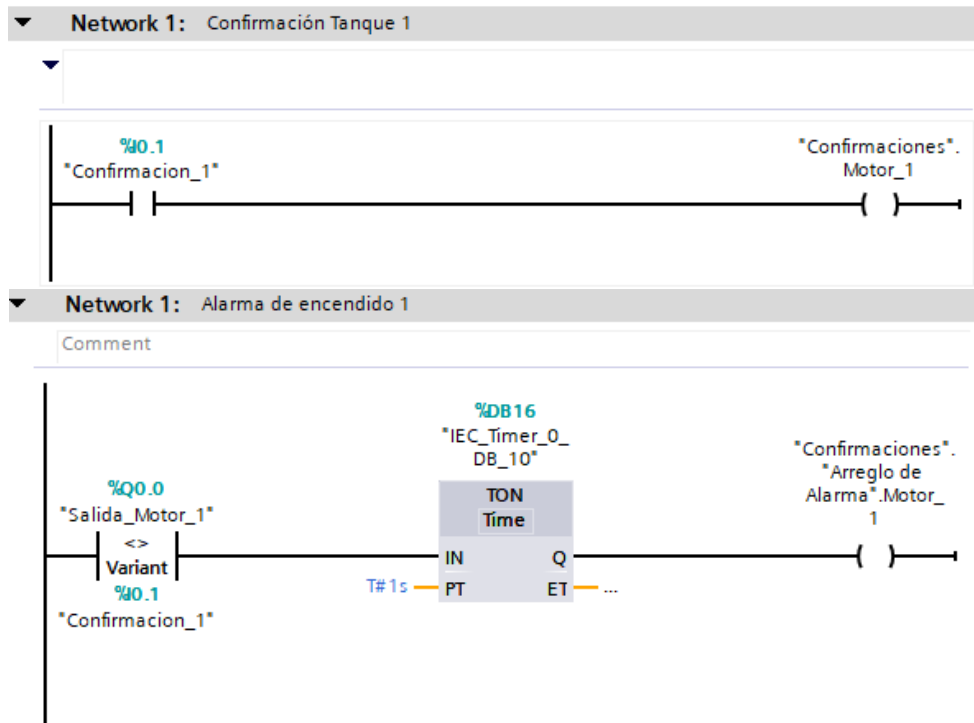


Figura 5.8. Programa para el envío de alertas por diferencia de confirmación y arranque.

Cada uno de los programas mostrados en la Figura 5.8 es replicado para cada tanque de almacenamiento para obtener un factor de seguridad de cada uno de los tanques dentro de su operación individual.

5.3 Selección de la fuente de alimentación del PLC

Como se observa en la Tabla 5.1 la alimentación del PLC S7-1200 seleccionado es de tipo modular, esto quiere decir que es necesario la selección de un bloque de alimentación externo al procesador para obtener desde una entrada de alimentación de 110 V AC una tensión de 24 V DC.

Para el PLC 1200 se tiene un módulo compatible de alimentación que corresponde al equipo SIPLUS S7-1200 PM 1207 que cumple con estas características, en el Anexo A.4 se muestra la especificación técnica de este equipo, y en la Tabla 5.2 el resumen de características energéticas principales del equipo.

Tabla 5.2. Módulo de alimentación PM1207 Siemens 6EP1332-1SH71.

Característica	Requerimiento	Propiedades de PM1207
Entrada	AC monofásica	AC monofásica
Tensión de alimentación	120V	120V
Frecuencia de red	60 Hz	60 Hz
Tensión de salida	24V	24V
Corriente de salida	~200mA	2.5 A

5.4 Selección del módulo de comunicación

Si bien el enrutamiento industrial será realizado por la distribución de red empresarial es necesario que se cuente con un dispositivo encargado de administrar las señales de red entre el HMI, el PLC y el dispositivo remoto, con el fin de asegurar una velocidad adecuada de comunicación en un protocolo seguro.

El PLC S7-1200 cuenta únicamente con un puerto Ethernet para ser conectado a la red o al HMI, es por esto también que se requiere de un módulo switch de comunicación para que se tenga una comunicación directa entre los dispositivos.

Para este modelo de PLC existe el módulo compacto CSM 1277 el cual puede encargarse de administrar la comunicación de estos equipos mientras le da acceso a una red de internet local industrial [26]. La especificación técnica de este equipo se muestra en el Anexo A.10.

5.5 Selección del HMI

Si bien la selección de la Interfaz Humano Máquina parece de carácter trivial, sus requerimientos de selección no poseen menor importancia que los del PLC. Debido a que la selección del PLC obtuvo como resultado un dispositivo de la marca Siemens, por motivos de compatibilidad se determinó que el HMI debe corresponder al PLC.

Cómo dentro de las necesidades del cliente está que la interfaz gráfica debe presentar un uso simple para operarios de bajo conocimiento computacional, se determinó que el dispositivo debe presentar herramientas gráficas avanzadas, ya que dentro de los modelos de Siemens existen Interfaces simplificadas que pueden presentar complicaciones para algunos operarios, por lo cual no serían aptas para esta aplicación.

Por otra parte, la interfaz debe tener la capacidad de ser accesada de forma remota y las herramientas que la selección presente para facilitar esta capacidad son deseables, lo que implica también que debe poder ser conectada mediante el protocolo de PROFINET mediante un puerto Ethernet RJ45.

Finalmente, por solicitud directa del cliente la pantalla de la interfaz debe de ser resistente a la interacción con sustancias corrosivas o activas que pueda tener un operario en sus manos al momento de interactuar con el sistema para disminuir el desgaste del equipo con el tiempo.

Mediante la investigación exhaustiva de los modelos de HMI's que Siemens posee se logró determinar que el modelo 6AG1124-0GC01-4AX0 correspondiente a una HMI SIPLUS TP700 COMFORT presenta las características necesarias para cumplir con los requerimientos del proyecto en cuestión. En el Anexo A.3 se muestra la información técnica del modelo de donde se extrae la información resumida en la Tabla 5.3 respecto de la comparación de los requerimientos, necesidades y características del dispositivo para el desarrollo de la solución.

Tabla 5.3. Propiedades del HMI SIPLUS TP700 COMFORT ante requerimientos del proyecto.

Característica	Requerimiento	Propiedades de HMI SIPLUS TP700 COMFORT
Compatibilidad	Requerido: S7-1200	Aceptado
Alimentación	DC / 24V	DC / 24V
Protocolo PROFINET	Requerido	Aceptado
Puertos Ethernet RJ45	Mínimo: 1	2
Resistencia	Apto para sistemas industriales estacionarios con grado de resistencia a sustancias químicas.	Modelo SIPLUS ¹³ : resistente a condiciones ambientales de carácter industrial.
Software de configuración	Requerido: TIA Portal	Aceptado
Funcionalidad remota	Deseable: Web Server ¹⁴	Aceptado
Cantidad de variables	~100	2048
Imágenes configurables	~20	500 ¹⁵
Perfiles de seguridad	Requerido	Aceptado
Material de encapsulamiento	Requerido: distinto a plástico	Aluminio

¹³ Los modelos SIPLUS corresponden a una gama de dispositivos de Siemens diseñados para soportar condiciones extremas, se determina necesaria esta característica debido a que el cliente ha expresado que, al colocar interfaces en otras aplicaciones, estas se ven afectadas por químicos del proceso.

¹⁴ Web Server corresponde a una herramienta con la que cuentan algunos HMI's para poder acceder de forma remota de manera simple a la interfaz, evitando las configuraciones complejas o compra de dispositivos de terceros.

¹⁵ Los paneles COMFORT están diseñados para la implementación de interfaces con alto rendimiento visual en aplicaciones.

5.6 Configuración del HMI

Con un modelo de HMI definido se inicia con el desarrollo de la configuración de la interfaz haciendo uso de las variables declaradas para el PLC. La aplicación TIA Portal permite realizar la conexión de ambos dispositivos para ejecutar su programa y validar su funcionamiento. La información detallada del uso de la aplicación puede encontrarse en el manual de usuario adjunto en el Apéndice B.5.

Considerando los requerimientos del cliente, la interfaz gráfica que se desarrolla en esta sección posee los siguientes elementos:

- Perfiles protegidos para entrar a la monitorización y la configuración del sistema.
- Resumen informativo del programa y sus características.
- Herramienta de monitorización de los tanques de agitación.
- Herramientas de configuración independiente de los ciclos y tiempos de agitación.
- Sistema de alarmas para el control de errores de operación.
- Configuración de horario restringido para el control de consumo diario.
- Referencias de configuración para la operación del sistema basada en los tiempos de ciclo y agitación con base en la experimentación realizada para la obtención de producto homogéneo.

5.6.1 Acceso seguro a la interfaz

Debido a que el sistema debe plantearse para ser accesado de forma remota, se considera necesario que este cuente con perfiles de usuario tanto para un operario regular como un configurador. Esto para mantener un grado de acceso restringido donde los parámetros de configuración más críticos no estén accesibles a personal no autorizado o capacitado.

La Tabla 5.4 muestra los perfiles diseñados para el uso del sistema además de un resumen de los permisos a los que cada uno de estos tiene acceso en el programa. Cada perfil cuenta con una contraseña de acceso.

Tabla 5.4. Perfiles de acceso diseñados para proteger la configuración del sistema.

Nombre del perfil	Permisos concedidos
Configurador	Configuración completa del sistema, a diferencia del perfil de usuario este es capaz de configurar las horas de encendido restringido.
Usuario	Perfil para la configuración de ciclos de trabajo y tiempos de agitación, capaz de revisar el estado actual de los tanques de agitación.

La pantalla inicial del programa se muestra en la Figura 5.9, en esta se presenta un diseño únicamente con propósitos de acceso sin información del estado actual del sistema, con el fin de que un usuario no autorizado no acceda a la aplicación de configuración o pueda monitorizar el equipo. Cada pantalla de la interfaz cuenta con un encabezado que muestra el logo empresarial del contratista, el título de la aplicación, además de la hora y fecha actual.



Figura 5.9. Pantalla de acceso al Sistema de Control y Monitorización.

Al interactuar con el cuadro de acceso en azul se presenta el cuadro de solicitud de credenciales de perfil de usuario para acceder, el cuadro descrito se muestra en la Figura 5.10 y para ingresar se introduce el nombre del perfil correspondiente que se ha definido en la Tabla 5.4 con su contraseña. Al introducir las credenciales el usuario podrá tener acceso a aquellas propiedades del sistema a las que esté autorizado.

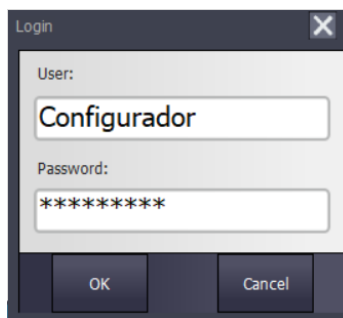


Figura 5.10. Pantalla emergente de solicitud de credenciales de usuario.

5.6.2 Pantalla principal

Al acceder al programa se tiene en segunda instancia la pantalla principal, en esta se muestra información general sobre la monitorización del programa y la forma de identificar el estado actual de un tanque de agitación. Esta pantalla corresponde a un núcleo para el acceso a

las pantallas más importantes de la configuración y monitorización del sistema, en la Figura 5.11 se muestra la pantalla principal de la interfaz con sus partes debidamente señaladas.



Figura 5.11. Pantalla principal del Sistema de Control y Monitorización.

Las partes de la pantalla principal mostradas en la Figura 4.11 cumplen las siguientes funciones:

- Encabezado e imágenes: esta sección se encarga de informar cómo identificar visualmente el estado actual de los tanques en la pantalla de monitorización donde un:
 - Tanque en color gris con letra “A” (apagado): indica un tanque que está apagado.
 - Tanque en azul con letra “C” (ciclado): tanque que no está agitando, pero posee un ciclo programado y al finalizar el tiempo de ciclo comenzará a agitar automáticamente, siguiendo esta operación ciclada hasta recibir una señal de apagado.
 - Tanque verde con letra “E” (encendido): corresponde a un tanque que se encuentra agitando durante el tiempo programado, al finalizar pasará a azul y esperará el tiempo de ciclo.
- Botón monitorización: este se encarga de llevar al usuario a una pantalla que resume el estado actual de los diez tanques, esta se detallará más adelante.

- Plantilla de comandos inferior: esta se conforma de los botones generales en negro de la parte inferior y contiene:
 - Principal: lleva al usuario a la pantalla principal desde donde sea que se encuentre.
 - Atrás: lleva al usuario a la pantalla anterior de navegación.
 - Información: navega a una pantalla de información general del programa.
 - Referencia: navega a una pantalla donde se presentan valores recomendados para el ciclo y la agitación del Plastisol.
 - Alarmas: navega a una pantalla donde se recopilan alertas del sistema ante errores que puedan presentarse durante su operación.
 - Restricción: para acceder a esta pantalla se solicita el ingreso de las credenciales del perfil de ‘Configurador’ y navega a una pantalla donde se configura el horario de encendido restringido.
 - Terminar runtime: Navega a la pantalla principal del HMI donde se pueden configurar parámetros del dispositivo.
 - Bloquear: navega a la pantalla de acceso y cierra la sesión del usuario, por lo que para ingresar se solicitan de nuevo las credenciales.

5.6.3 Información general

La pantalla de información general corresponde a una explicación del fin de la herramienta, el manejo básico de la pantalla de monitorización y las definiciones principales que se requiere manejar para configurar un tanque de agitación. La Figura 5.12 muestra esta pantalla.



Figura 5.12. Pantalla de información del Sistema de Control y Monitorización.

5.6.4 Resumen de monitorización

La pantalla de monitorización corresponde a uno de los segmentos más importantes de la interfaz de usuario, debido a que en esta puede observarse el estado actual de los diez tanques de agitación al mismo tiempo, y a su vez, brinda acceso a cada tanque de forma individual para entrar en su pantalla de configuración y asignar sus parámetros.

Cada uno de los tanques se presenta en un cuadro en color gris, con un globo que indica su número en la parte superior derecha, este globo se mantiene en blanco cuando no se posee confirmación del arrancador respecto del encendido de dicho motor y cambia a verde al obtenerla, los tanques operan individualmente y cambian de color según su estado.

La Figura 5.13 muestra la pantalla de monitorización con los tanques apagados y la Figura 5.14 la misma pantalla con los tanques 1, 4, 5, 8 y 9 operando a diferentes tiempos de ciclo y agitación (debido al carácter de simulación no se muestra la confirmación activa en la Figura 5.14 ya que esta señal corresponde a una entrada física hacia el PLC, la operación de esta señal puede verse en el Manual de Usuario del Apéndice B.5).

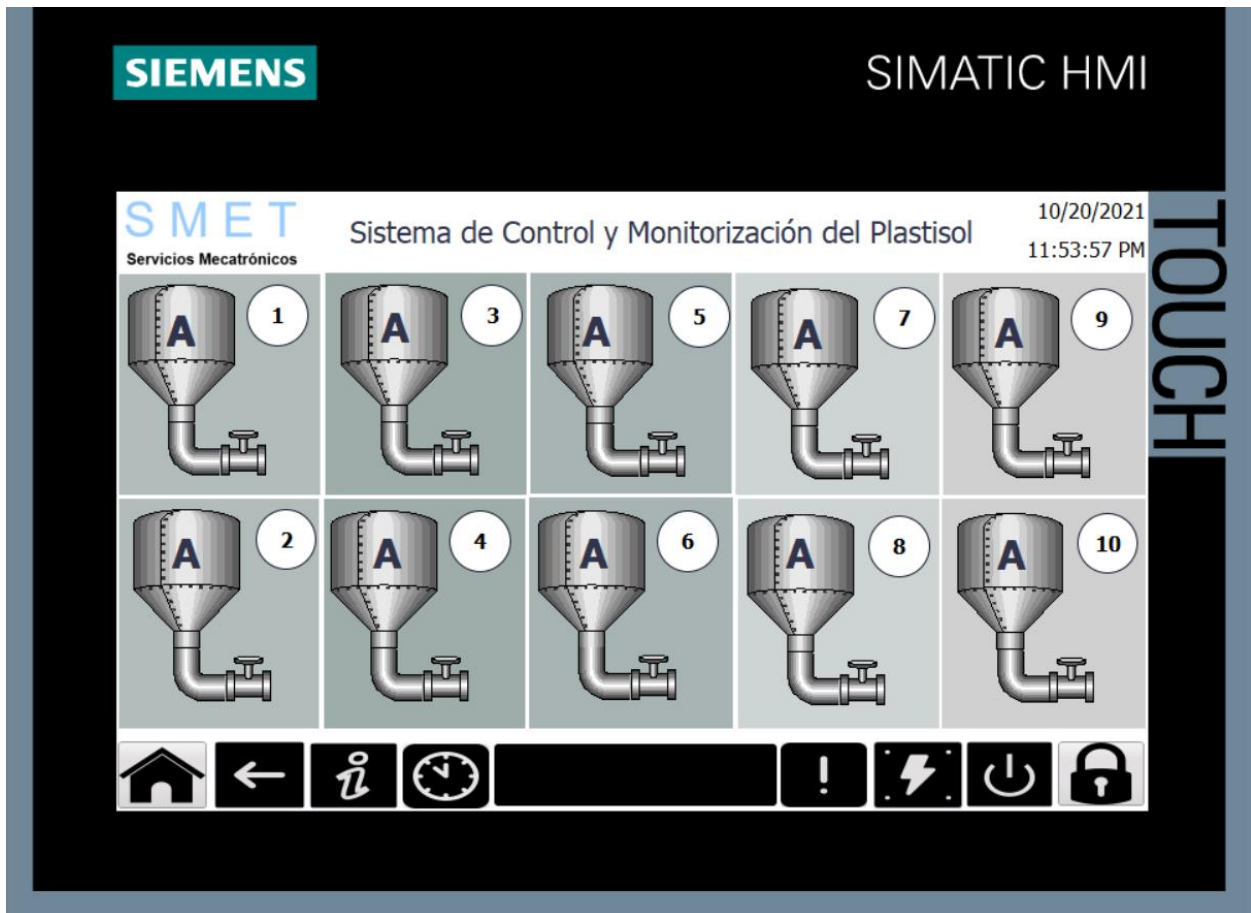


Figura 5.13. Pantalla de monitorización del Sistema de Control y Monitorización con los tanques apagados.

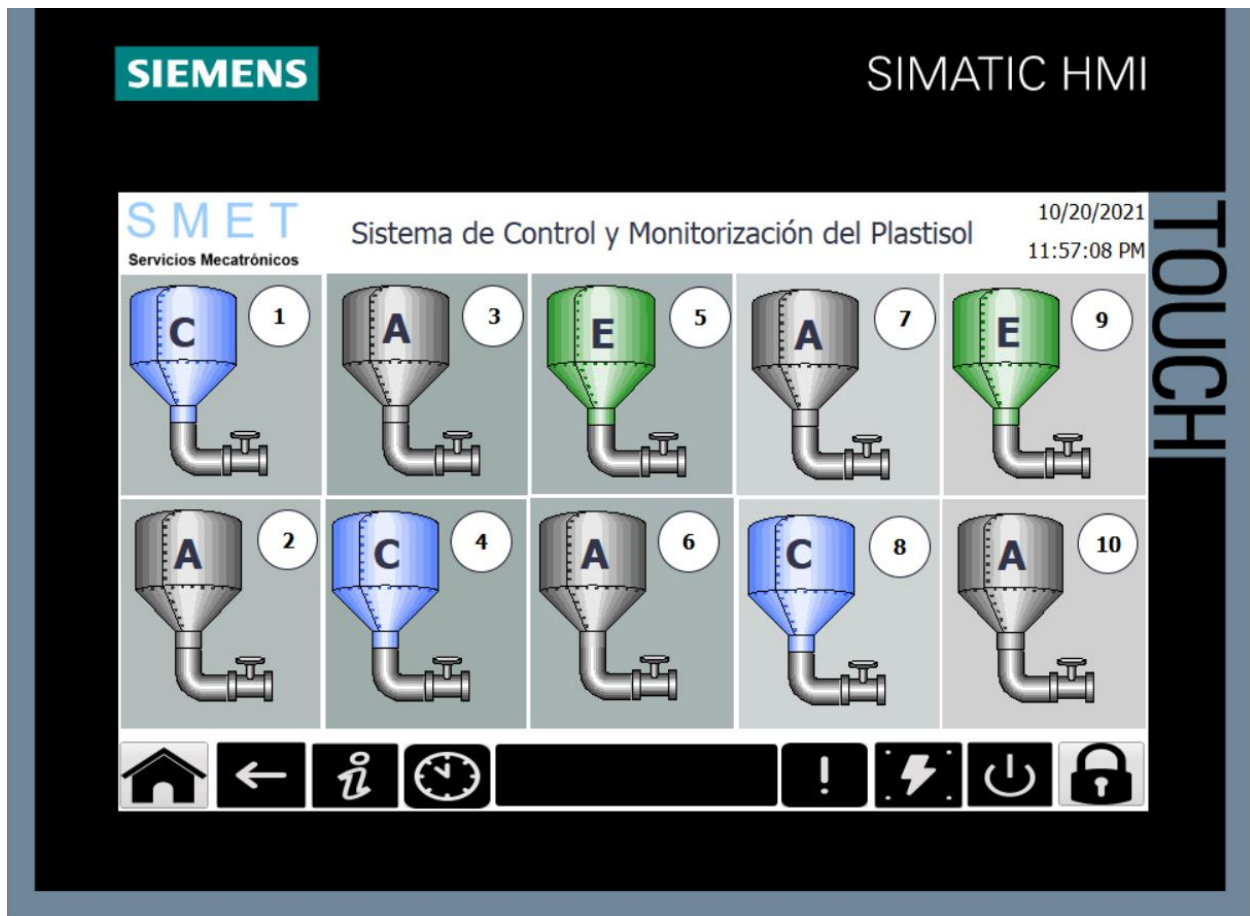


Figura 5.14. Pantalla de monitorización del Sistema de Control y Monitorización con los tanques 1, 4, 5, 8 y 9 operando.

5.6.5 Control de tanques

Al interactuar con cualquiera de los cuadros correspondientes a los tanques, se ingresa a la pantalla de control, en esta puede configurarse el tiempo de ciclo y el de agitación de dicho tanque, la herramienta posee un botón de encendido para el tanque que se transforma en un botón de apagado al encontrar el tanque operando.

De modo que se pueda verificar la señal de encendido enviada al tanque, las pantallas de configuración presentan un gráfico dinámico del tanque que varía su color de la misma forma que en la pantalla de monitorización con los colores gris, azul y verde.

Como último elemento de este segmento de la interfaz la pantalla cuenta con cuadros numéricos para mostrar al usuario cuánto tiempo lleva el tanque del proceso en cuestión, por ejemplo, si el tanque se encuentra agitando por 600 segundos este cuadro mostrará la cantidad de segundos que el tanque lleva agitando hasta el momento, con el fin de que exista conocimiento del estado actual del proceso. Las Figuras 5.15 y 5.16 muestran la pantalla de configuración del Tanque 1 al estar apagado y al encontrarse operando respectivamente.

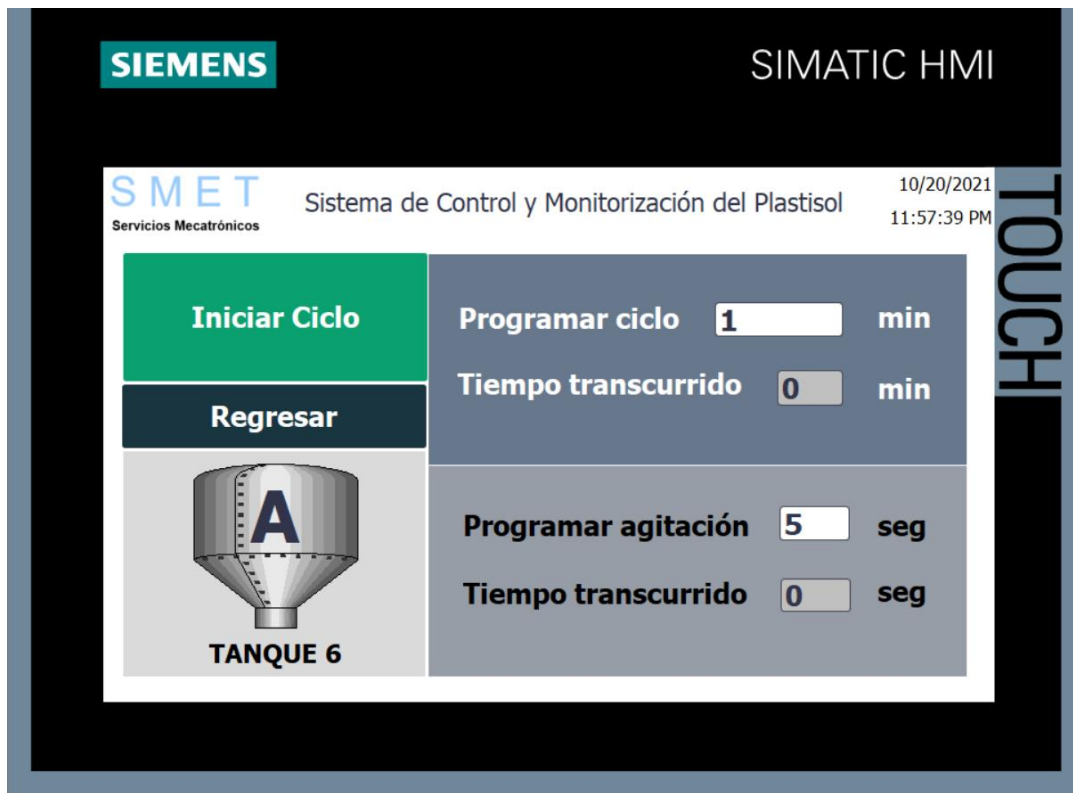


Figura 5.15. Pantalla de configuración del SCM del Tanque 6 apagado.

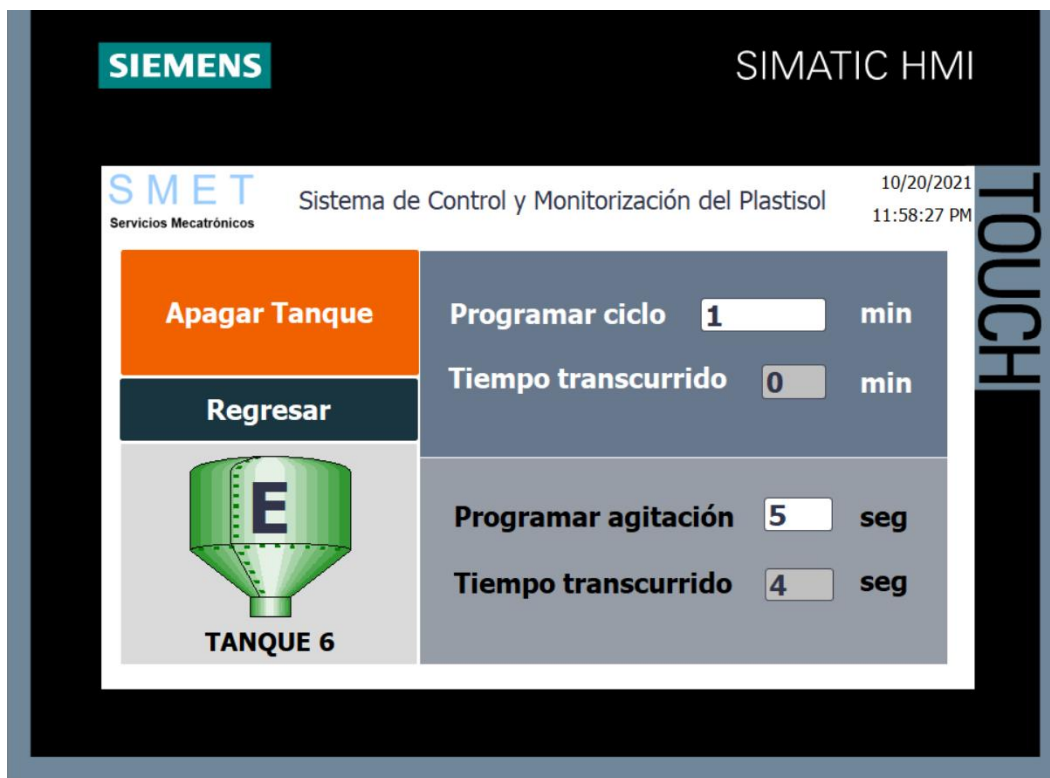


Figura 5.16. Pantalla de configuración del SCM del Tanque 6 encendido.

5.6.6 Sistema de alarmas

Luego de encender el tanque, el programa verifica el comportamiento de las señales de entrada y salida de cada tanque, con el fin de determinar si se tiene un correcto funcionamiento del sistema, en caso de que el funcionamiento no sea adecuado, el sistema activará una alarma en la pantalla definida en la Figura 5.11 vista anteriormente.

Las alarmas generadas muestran un resumen del error encontrado, especificando el motor del tanque que se encuentra presentando problemas. Por otra parte, estas alarmas muestran distintos estados, los cuales son:

- I: alarma entrante (se ha detectado un error en proceso).
- IO: alarma de problema saliente (existe un error, pero no está en proceso actualmente).
- O: alarma saliente (el problema se ha resuelto y la alarma queda activada como registro).

Los errores para los cuales el sistema de alarmas está diseñado corresponden a la no correspondencia de la señal de arranque de un motor y la confirmación de su arrancador, la Figura 5.17 muestra la pantalla de alarmas del Sistema de Control y Monitorización (SCM) con una alarma entrante respecto de no obtener confirmación en el Tanque 1.

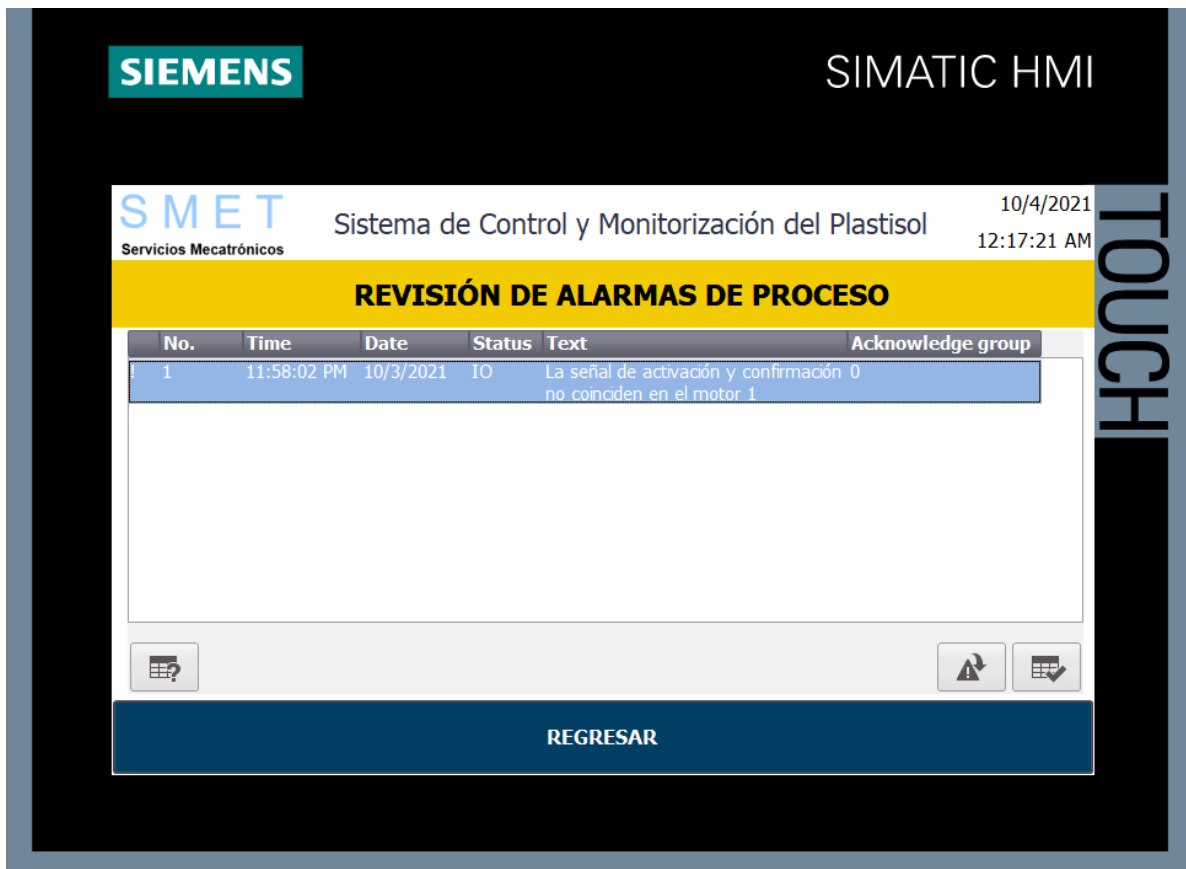


Figura 5.17. Pantalla de alarmas del SCM con un aviso de estado de alarma con problema saliente IO.

5.6.7 Horario para control de consumo

El establecimiento del horario para el control de consumo corresponde a una pantalla de acceso restringido, la cual requiere de las credenciales de un usuario de tipo Configurador esto debido a que no debe ser un parámetro configurable por personal no autorizado.

Para acceder a esta pantalla puede hacerse uso del botón descrito en la Figura 5.11, este control muestra una explicación breve de cómo realizar su configuración, en síntesis, el usuario solo debe de establecer las horas de inicio y final del horario que se desea restringir el encendido de los tanques para la mañana y la noche en un formato de 24 horas.

La Figura 5.18 muestra la pantalla de control de horas de encendido restringido para el control de consumo.



Figura 5.18. Pantalla de control de horas de encendido restringido del SCM.

5.6.8 Referencia de configuración

La referencia de configuración corresponde a un segmento del programa que se encarga de informar al usuario sobre los tiempos óptimos de ciclo y de agitación de los tanques con el fin de disminuir el riesgo de quemado del Plastisol, en esta pantalla también se muestran conversiones

de tiempos de horas a minutos y de minutos a segundos para su ingreso en la pantalla de configuración individual de los tanques.

La referencia de configuración toma como base los resultados obtenidos durante el experimento realizado e indica que estos valores recomendados brindan resultados adecuados para la sustancia, por lo que se disminuye la probabilidad de que un operario asigne valores no fundamentados en los tiempos del tanque.

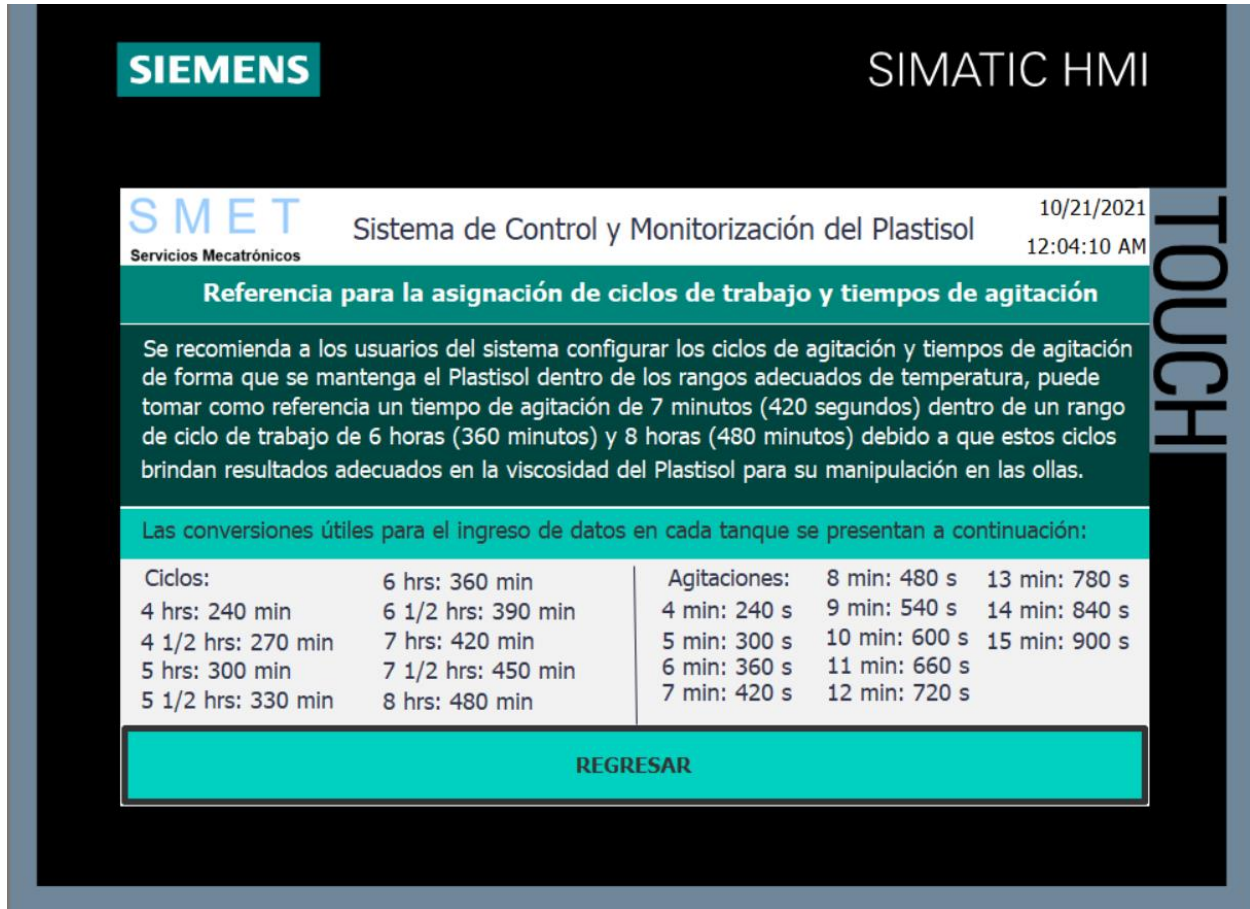


Figura 5.19. Pantalla de referencia de configuración del SCM.

5.7 Selección de los modelos de Relés de seguridad

Para la conexión del PLC a los arrancadores de los motores de inducción y la obtención de la señal de activación del proceso automático es necesario hacer uso de dispositivos que operen como interfaz de potencia, con el fin de evitar posibles daños en el PLC.

Para esta interfaz se ha seleccionado la utilización de relés de carácter industrial, debido a que por las características de la aplicación no se requiere de una conmutación demasiado rápida (lo cual aumentaría el costo de la interfaz) y estos dispositivos son capaces de comunicar circuitos con potencias elevadas.

A partir del asesoramiento obtenido por un proveedor de dispositivos de potencia de la marca EATON se consideran como opciones los dispositivos mostrados en el Anexo A.4 el cual corresponde a un Catálogo de Relés de Control de Bloque Terminal EATON y se utiliza a continuación para seleccionar un dispositivo adecuado para el sistema.

5.7.1 Relé de activación de los arrancadores

Este dispositivo será el encargado de accionar la bobina del arrancador de los motores, estos arrancadores son accionados con una tensión de 120V a 60Hz, por otra parte, la señal de salida del PLC corresponde a una señal de tensión DC de 24V. Como último factor, el tipo de conexión deseado corresponde a un relé de una entrada con una salida normalmente abierta (SPST).

Al revisar el Catálogo de Relés de Bloque Terminal del Anexo A.4 puede extraerse el modelo XRUI1D24U el cual corresponde a un relé estándar accionable mediante una tensión de 24V AC o DC y un mínimo de 10 mA, capaz de interrumpir hasta 250V AC o DC con carga continua de hasta 6 A y una vida de servicio mecánico de 2×10^7 ciclos. Este dispositivo cuenta con dos salidas (SPDT), esto se debe a que cuenta con una normalmente abierta y una normalmente cerrada, que para motivos de este sistema no produce errores de operación.

Este modelo contempla los requerimientos del sistema como puede notarse en el resumen de la Tabla 5.5, el diagrama eléctrico de este dispositivo puede verse en la Figura 5.20.

Tabla 5.5. Resumen de parámetros del relé XRUI1D24U.

Característica	Requerimiento	Propiedades del relé XRUI1D24U
Tensión de entrada	24V DC	24V AC/DC
Corriente mínima de entrada	No más de 0.5A	10mA
Tensión de interrupción	120V AC	Desde 12V AC/DC Hasta 250V AC/DC
Tipo de conexión	Preferible: SPST Aceptable: SPDT	SPDT

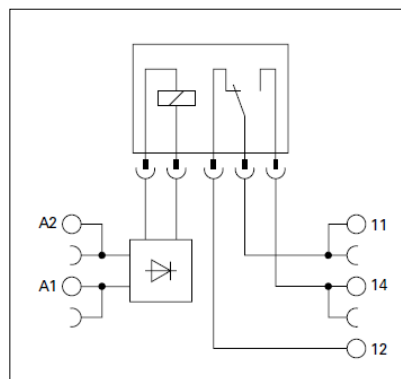


Figura 5.20. Diagrama eléctrico del relé de clase SPDT marca EATON. Fuente: [27].

5.7.2 Relé de señal de modo automático

Los criterios de selección para el relé de control de la señal del sistema de automatización son similares al de los arrancadores, con la diferencia de que en este caso la señal de activación de la bobina del relé debe accionarse con una tensión de 120V AC y debe ser capaz de interrumpir una señal de 24V, esto debido a que en el panel de control de la planta el interruptor manual/automático corresponde a un llavín conectado a 120V , y la señal de interrupción debe enviar una señal que sea apta para el PLC.

Al revisar el Catálogo de Relés de Bloque Terminal del Anexo A.4 se extrae el modelo XRUID120U el cual presenta las mismas características que el XRUID24U visto en el segmento anterior, con la diferencia de su tensión de entrada, la cual corresponde a 120V AC. De igual manera su conexión es de clase SPDT por lo que su diagrama corresponde también al de la Figura 5.20. En la Tabla 5.6 se muestra el resumen de características de esta selección.

Tabla 5.6. Resumen de parámetros del relé XRUID120U.

Característica	Requerimiento	Propiedades del relé XRUID120U
Tensión de entrada	120V AC	110V DC/ 120V AC
Corriente mínima de entrada	No más de 0.5A	10mA
Tensión de interrupción	24V DC	Desde 12V AC/DC Hasta 250V AC/DC
Tipo de conexión	Preferible: SPST Aceptable: SPDT	SPDT

5.8 Selección del dispositivo de interrupción de seguridad

Un dispositivo de interrupción de seguridad corresponde a un disyuntor que proteja el equipo de procesamiento y alimentación ante cortos circuitos que puedan presentarse en la red eléctrica de la planta de Proquinal y son necesarios debido al costo monetario de los equipos que se plantean para la solución de automatización.

Para seleccionar este dispositivo se obtuvo asesoramiento de un empleado de la empresa EATON el cual indicó la importancia de estos elementos y detalló como deben de ser seleccionados.

Debido a la operación de la fuente de alimentación del PLC la cual es alimentada a 120V y 1.2 A puede hacerse uso de un dispositivo de interrupción con un rango bajo de amperaje. En EATON estos interruptores corresponden a los clasificados con una curva B de respuesta, los cuales se especializan en proteger equipo electrónico y computacional. Esta información puede ser revisada en el Anexo A.6 correspondiente a algunos de los segmentos del catálogo de dispositivos de interrupción suplementaria (esta hoja de datos es seccionada debido a que contempla dispositivos que no son de interés para esta aplicación).

Con los requerimientos mencionados, se procede a la selección de dispositivo UL 1077 FAZ-C3-1-SP con curva C con un soporte de rango de amperaje de 1 a 63 A con una tensión de interrupción de 277 V AC a un polo, generando una interrupción de corto circuito al identificar de 3 a 5 veces la corriente nominal y una protección térmica al identificar 1.35 veces la corriente nominal a más de 40°C [28].

5.9 Selección del botón de paro de emergencia

Al trabajar la aplicación de automatización en cuestión con motores que agitan una sustancia importante para la producción del vinilo, es necesario que exista un elemento de seguridad para detener toda operación que esté realizando el equipo de procesamiento.

Para detener procesos por alguna emergencia se suelen utilizar dispositivos físicos normalizados, los cuales se encuentran debidamente rotulados y son capaces de soportar los ambientes industriales hostiles.

Haciendo uso del catálogo de botonería para paro de emergencia de la marca EATON mostrado en el Anexo A.7 se determina que un dispositivo de la serie M22 con accionamiento por giro y normalmente cerrado corresponde a un botón de paro adecuado para la aplicación en cuestión. Según el código alfanumérico de estos elementos de seguridad un botón M22-PVT-K01 cumple con los requerimientos de la aplicación [29].

5.10 Selección del riel de montaje de los dispositivos

Los dispositivos seleccionados poseen una entrada para un perfil tipo DIN de 35 mm en su parte trasera según se observa en sus hojas de especificación técnica, debido a estos se debe seleccionar uno de los perfiles estandarizados de esta clase, donde la selección se encuentra en la longitud del perfil. Siemens maneja cuatro longitudes estándar, las cuales son:

- 483 mm.
- 530 mm.
- 830 mm.
- 2000 mm.

Para identificar el perfil necesario en la aplicación se debe hacer uso de la medida de ancho de cada uno de los dispositivos. Por razones de comodidad en el gabinete donde se implementa la solución se plantea el uso de dos niveles, donde en el nivel superior se ubique el dispositivo de interrupción complementario, la fuente de alimentación del PLC, el módulo de comunicación y el PLC, mientras que en el nivel inferior se ubiquen los once relés de seguridad.

En la Tabla 5.7 se muestra el resumen de las medidas de alto, largo y ancho de cada uno de los dispositivos seleccionados.

Tabla 5.7. Dimensiones de los dispositivos seleccionados que serán montados en el riel.

Dispositivo	Alto	Largo	Ancho
S7-1200	100 mm	110 mm	75 mm
PM1207	100 mm	70 mm	75 mm
XRU1D24U	80 mm	6.2 mm	94 mm
XRU1D120U	80 mm	6.2 mm	94 mm
FAZ-C3-1-SP	80 mm	17.7 mm	72.9 mm
CSM 1277	100 mm	45 mm	75 mm

De la tabla anterior se extrae que la longitud necesaria para un riel de montaje superior corresponde a la suma del largo del S7-1200, el PM1207, el CSM 1277 y el UL1077 lo cual representa 242.7 mm de longitud, por otra parte, para los once relés que se ubican en el nivel inferior son necesarios 68.2 mm.

Con estas mediciones realizadas se concluye que un riel de 483 mm posee una distancia suficiente como para abarcar ambos niveles si este perfil se secciona a la mitad. El perfil Siemens seleccionado corresponde al 6ES5710-8MA11 y su información puede encontrarse en el Anexo A.8.

5.11 Selección del gabinete de montaje

El gabinete de montaje corresponde a un elemento de protección donde se fijan los elementos seleccionados para protegerlos del ambiente y depende directamente de las dimensiones de los dispositivos presentados en la Tabla 5.7. Además, debe considerarse el cableado interno, el montaje del HMI, y el botón de paro de emergencia para evitar que el equipo choque entre sí y asegurar una presentación organizada en su interior en caso de requerir mantenimiento.

El ancho máximo de los dispositivos corresponde a 100 mm, el mínimo de altura para el diseño con dos niveles es de 180 mm y el largo mínimo requerido para los dispositivos ubicados en el riel de montaje del nivel superior es de 242.7 mm.

Al considerar la ubicación de los elementos internos y el espaciamiento entre estos se determina que se requiere de un gabinete que duplique las dimensiones indicadas con el fin de permitir suficiente espacio para cablear el sistema y ubicar adecuadamente los dispositivos.

Con esto en consideración, al buscar en el mercado se obtuvo que una puerta ciega tipo Spatial CRN NSYCRN43200 de la marca Schneider Electric cumple con los requerimientos mencionados ya que cuenta con dimensiones nominales de 400 mm de altura, 300 mm de largo y 200 mm de ancho [30]. Debe notarse que la medida de largo no duplica la del montaje de los dispositivos ya que se considera que el alto y el ancho son las medidas más críticas para el montaje en el gabinete. La especificación técnica de este producto se muestra en el Anexo A.9.

5.12 Prueba de funcionamiento

En este segmento se demostrará la operación del sistema a partir de las configuraciones mostradas tanto del PLC como del HMI, con el fin de que se visualicen los envíos de señales como prueba de una operación adecuada del funcionamiento del sistema.

La comprobación hará uso del tanque 1 del sistema, luego de acceder en la interfaz y entrar a su pantalla de configuración se programa un tiempo de agitación de 7 minutos con un ciclo de 15 minutos. Considerando las condiciones iniciales del sistema, aún si se indica el inicio del tanque en la interfaz de usuario, si el modo automático no se selecciona en el tablero de control de la planta, el tanque no se accionará (Figura 5.21).

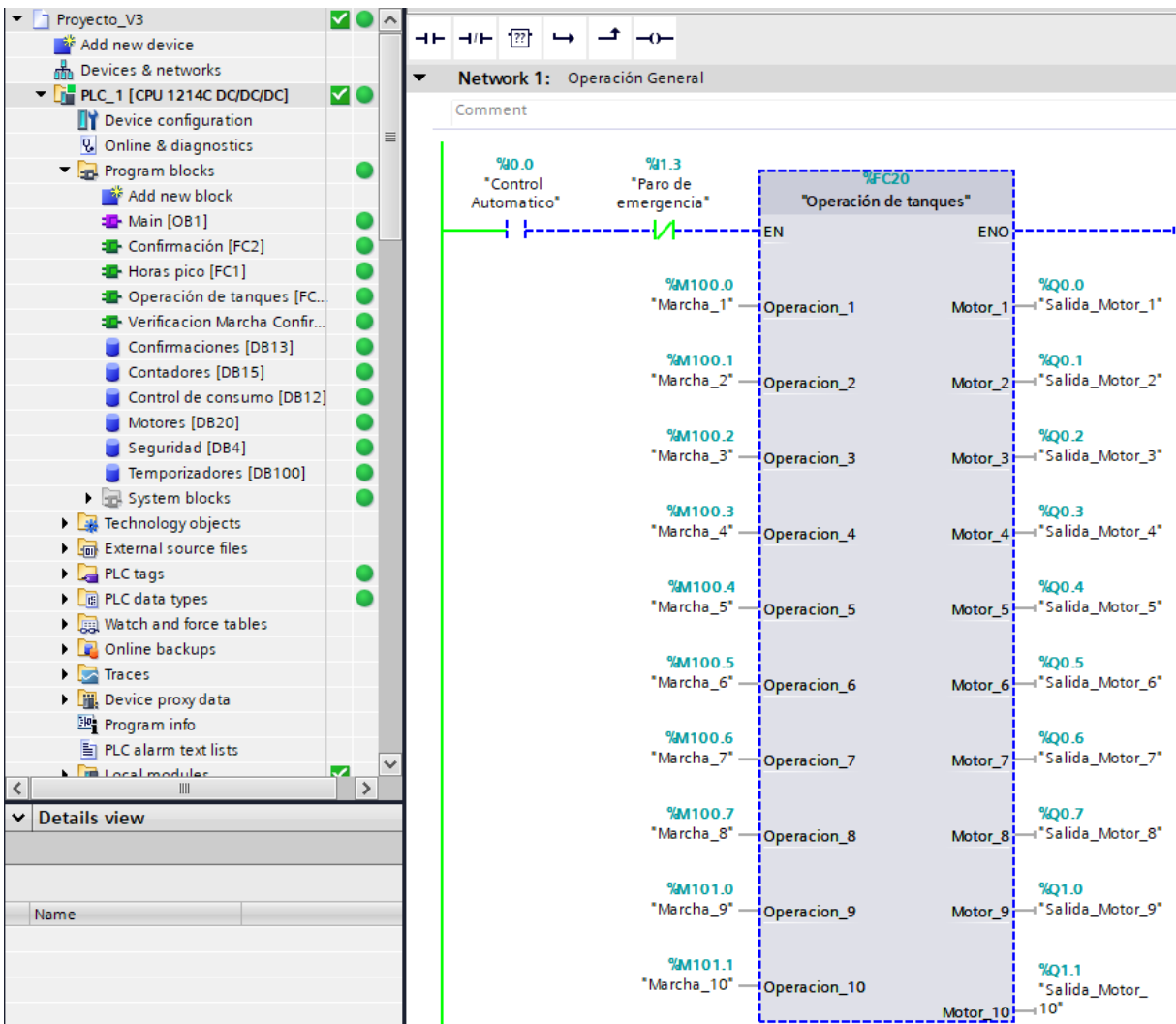


Figura 5.21. Deshabilitación del control de los tanques ante selección del modo distinto al automático.

Una vez seleccionado el modo automático el accionamiento de los tanques depende del paro de emergencia del sistema, como puede observarse en la Figura 5.22.

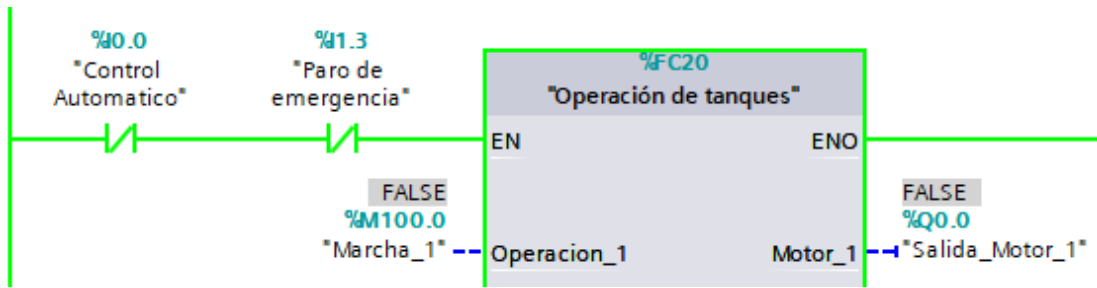


Figura 5.22. Habilitación del control de los tanques ante selección del modo automático.

Al encender el tanque en la interfaz diseñada con los tiempos indicados, el tanque recibe la señal de marcha y enciende la salida durante el tiempo indicado.

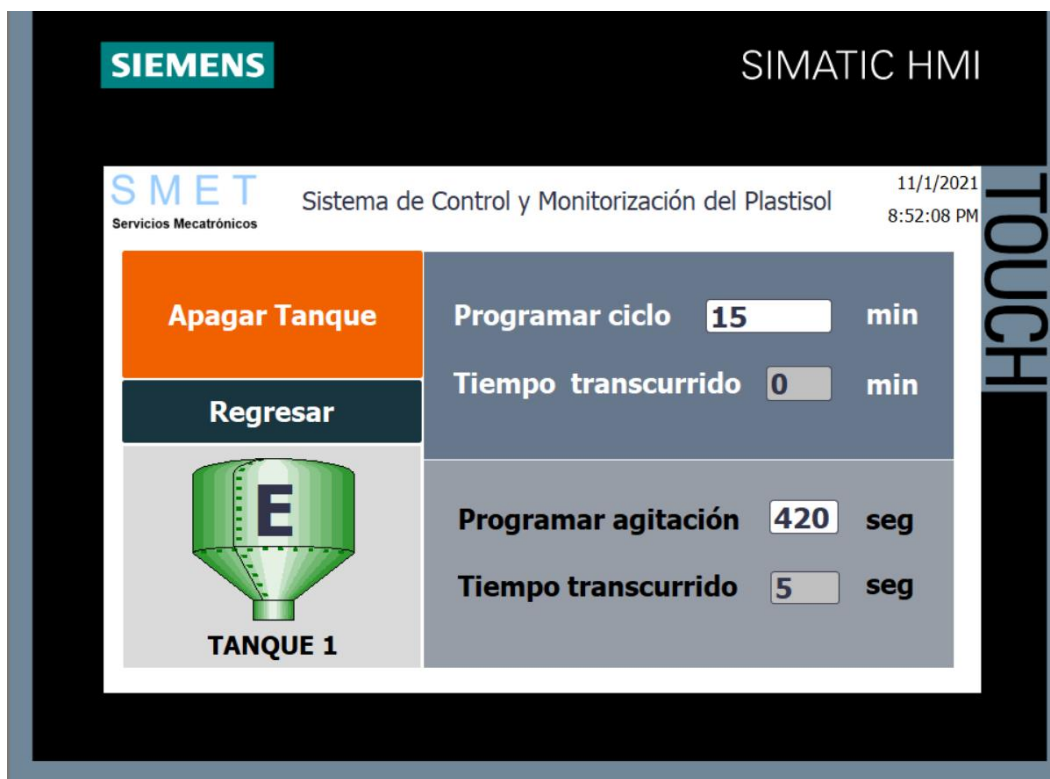


Figura 5.23. Encendido del tanque de almacenamiento.

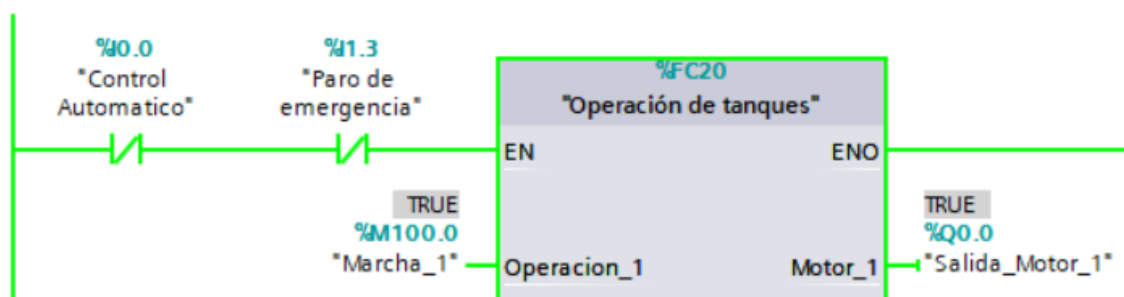


Figura 5.24. Señales activas de marcha y salida del tanque 1.

El programa diseñado, internamente se encarga de enviar las señales para el encendido del tanque según factores como el primer encendido, encendido regular y turno para encendido seguro, como se describió previamente en este capítulo.

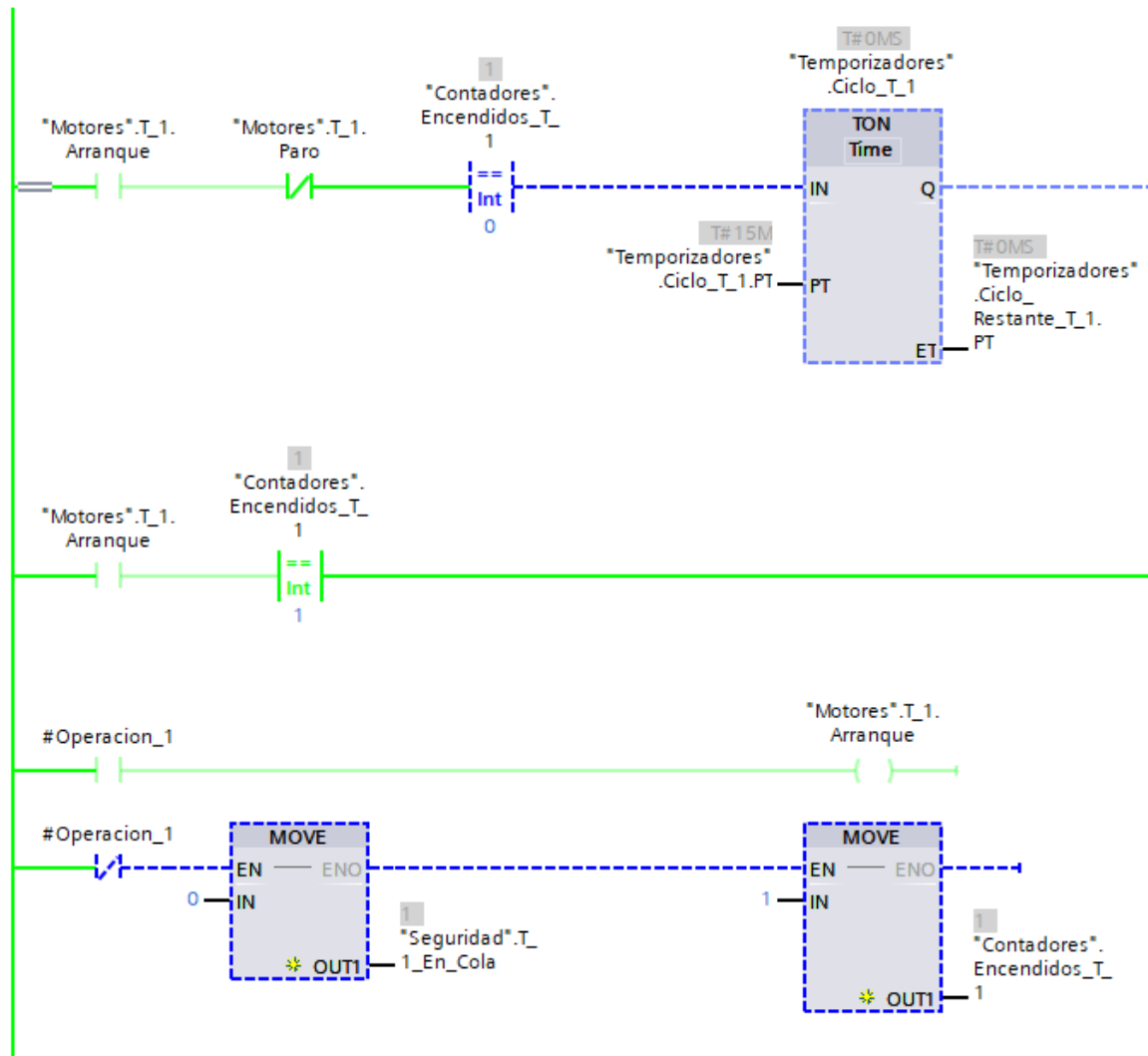


Figura 5.25. Envío de señales para el primer encendido del tanque 1.

El primer encendido mostrado en la Figura 5.25 no contempla el tiempo de ciclo ya que es necesario que el tanque se encienda justo cuando se le indica su señal de activación, posterior a esto el tanque entra en un ciclo considerando los temporizadores asignados.

La Figura 5.26 muestra como el temporizador de agitación realiza su conteo al detectar que solo existe un tanque activo en ese instante, esto también activa la memoria del motor evitando desconexiones indeseadas y habilita su salida física. Cuando el temporizador de agitación finaliza este, reinicia los parámetros de encendido, lo que a su vez reinicia el ciclo de activación.

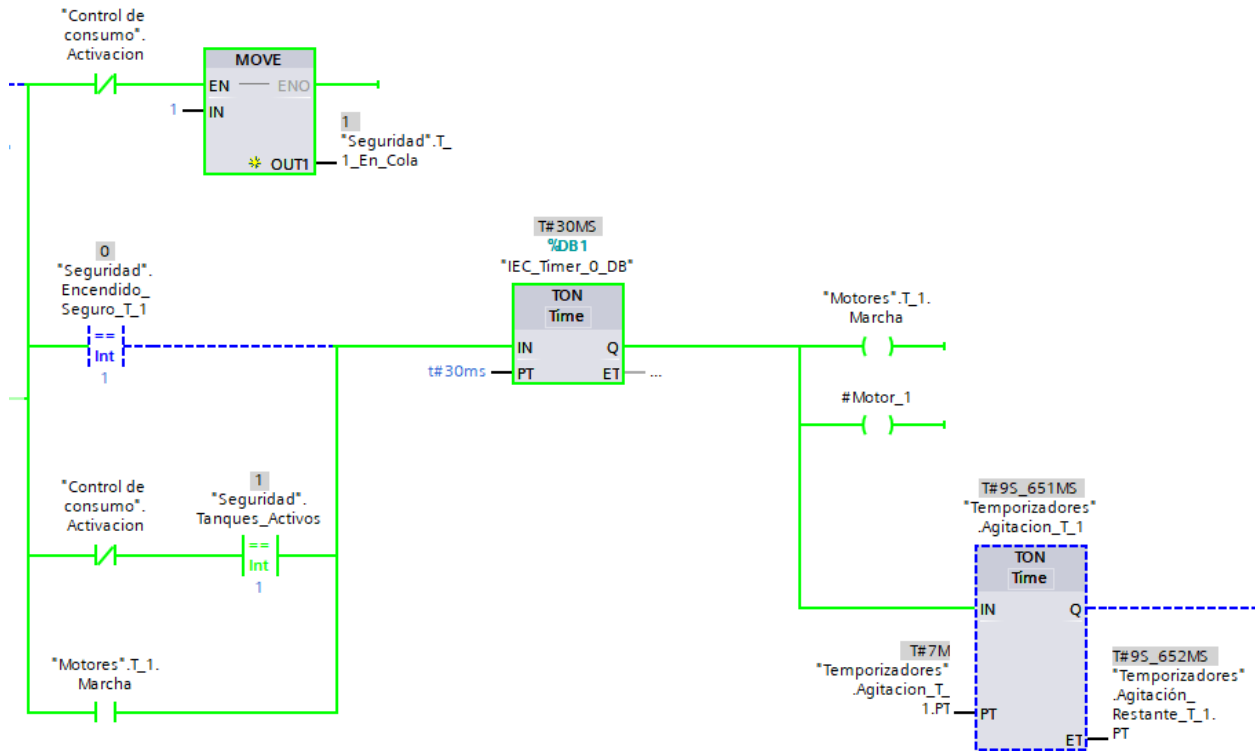


Figura 5.26. Accionamiento de la salida física del motor y el contador de agitación.

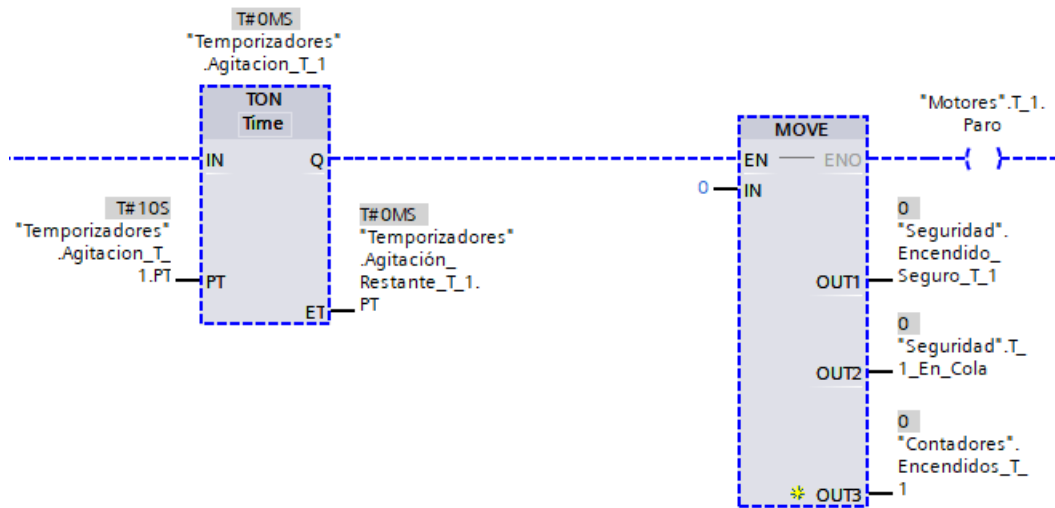


Figura 5.27. Reinicio de parámetros para iniciar el ciclo.

La diferencia de un primer encendido y uno posterior se muestra en la Figura 5.28 donde en vez de encenderse la ruta de activación del primer encendido se acciona el contador de ciclo. El procedimiento de las salidas físicas y el contador de agitación ocurren de la misma manera como en las Figuras 5.26 y 5.27.

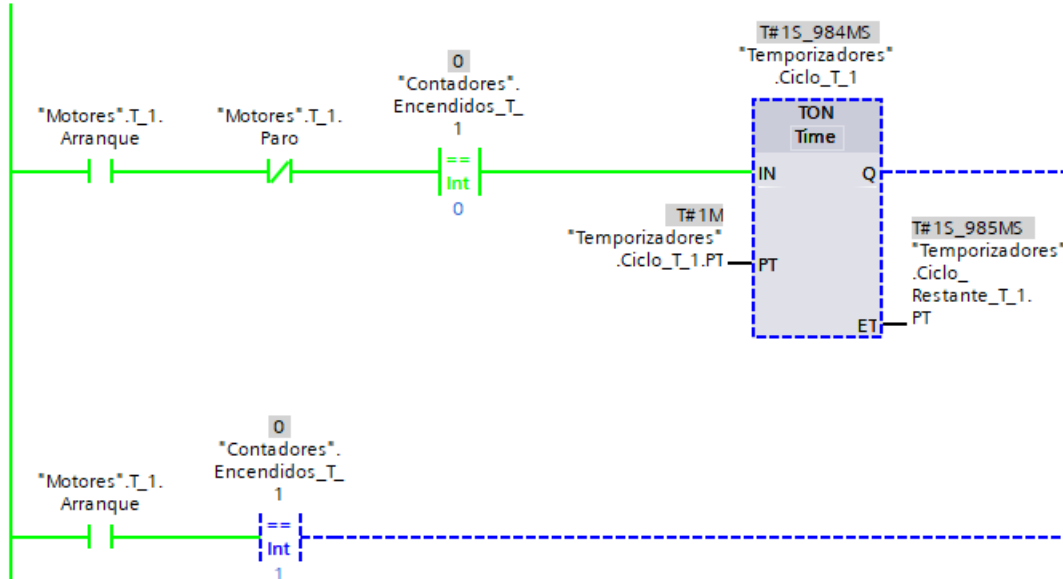


Figura 5.28. Encendidos regulares del tanque 1 posteriores a su primer accionamiento.

Las figuras anteriores demuestran el comportamiento adecuado de las señales ante un encendido regular de uno de los tanques, la Figura 5.29 muestra como al encontrarse el encendido del tanque dentro del periodo de control de consumo (horario restringido), incluso luego de finalizar su tiempo de ciclo, este no acciona la salida física ni el contador de agitación.

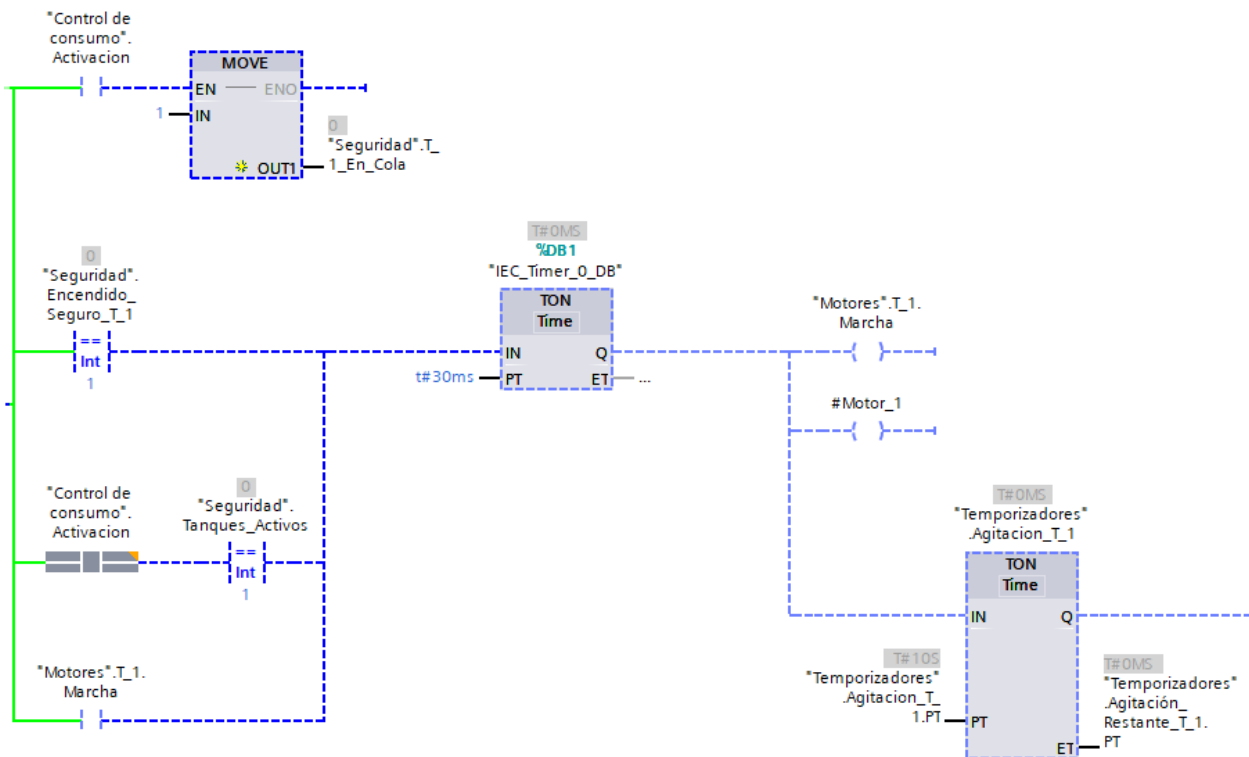


Figura 5.29. Comportamiento de señales dentro del periodo de horario restringido.

Al encender tanques de forma simultánea ambos presentarán el mismo comportamiento, con la diferencia de que comenzará la generación de la cola de tanques por encender, para el encendido seguro.

Para esta prueba, además del encendido del tanque 1 (Figura 5.23) se encenderá el tanque 2 con los mismos parámetros, lo cual genera en el sistema las señales mostradas en la Figura 5.30.

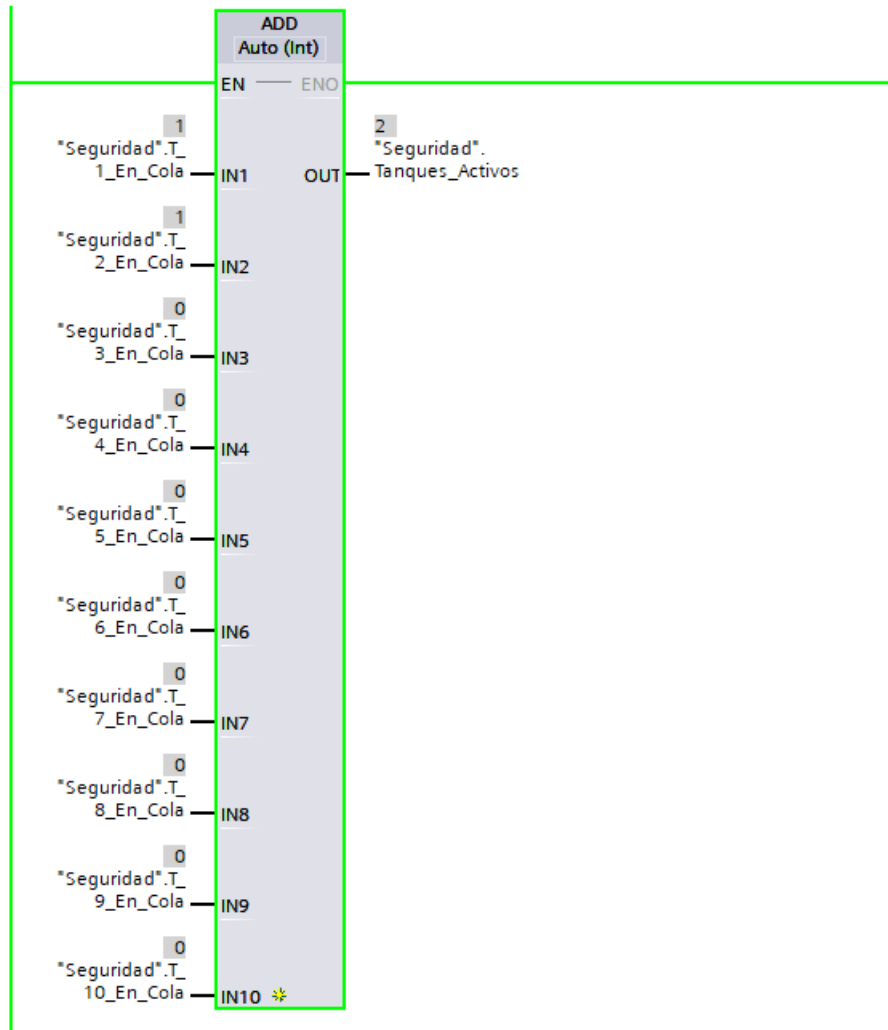


Figura 5.30. Señales de tanques en cola para el accionamiento del secuenciador.

Cuando los tanques entran en cola se ingresa al secuenciador de los tanques, en este se tienen una serie de condicionales que evalúan el estado de cada uno y dependiendo de este estado los hacen esperar el tiempo de arranque para evitar los picos de corriente que pueden ser ingresados a la red de alimentación.

Al terminar este tiempo se da pie al siguiente tanque en cola con su respectivo tiempo de espera, siguiendo de forma secuencial con cada uno de los tanques.

La Figura 5.31 muestra como el tanque 1 espera el tiempo de arranque antes de permitirle al tanque 2 el envío de la señal física de activación. La Figura 5.32 muestra como el tanque 2 ha sido accionado y da pie al siguiente tanque para su activación.

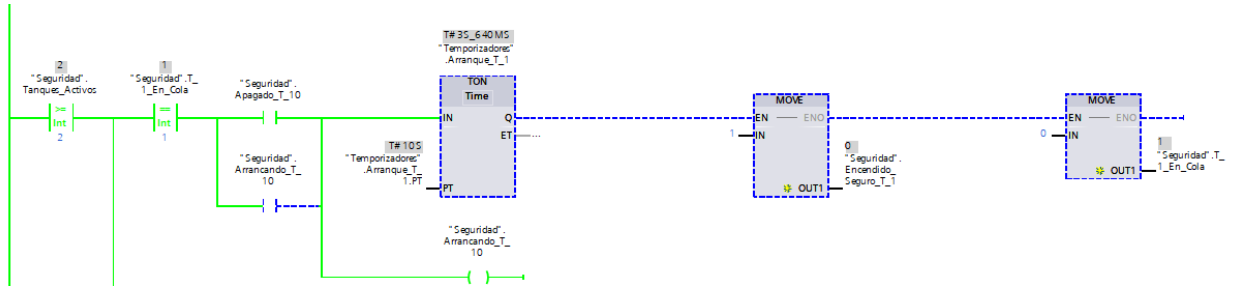


Figura 5.31. Ejecución del tiempo de arranque del tanque 1 para el encendido seguro.

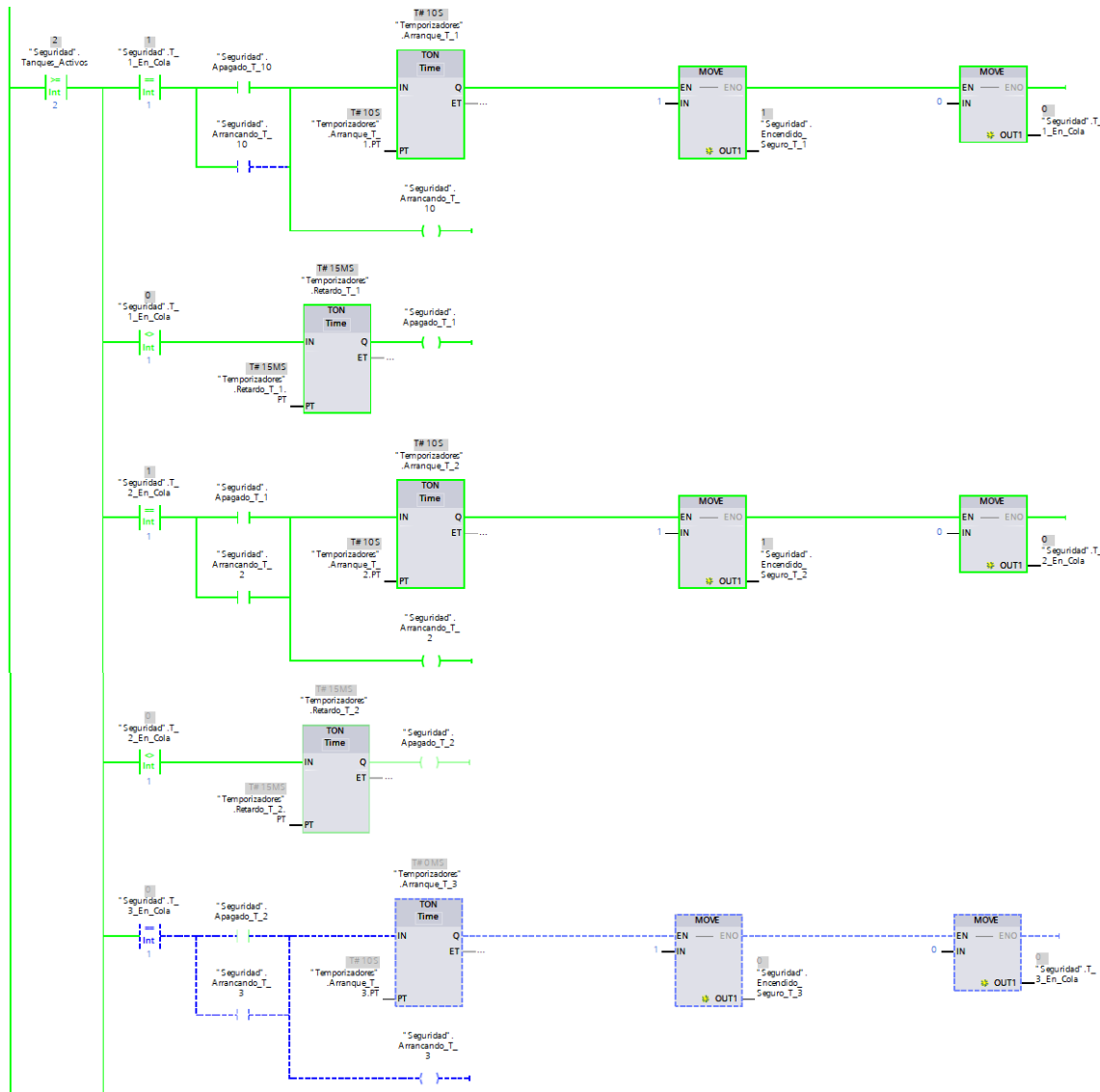


Figura 5.32. Secuencia de permisos de activación a partir del tanque 2.

En la última prueba se evidencia la generación de las alarmas a partir de la confirmación obtenida de la entrada física al PLC, en la Figura 5.33 se muestra como el sistema no logra obtener la señal de confirmación, mientras que en la Figura 5.34 se muestra la comparación de las señales de salida y de entrada del tanque 1 para la generación de la alarma.



Figura 5.33. Obtención de la entrada de confirmación del tanque 1.

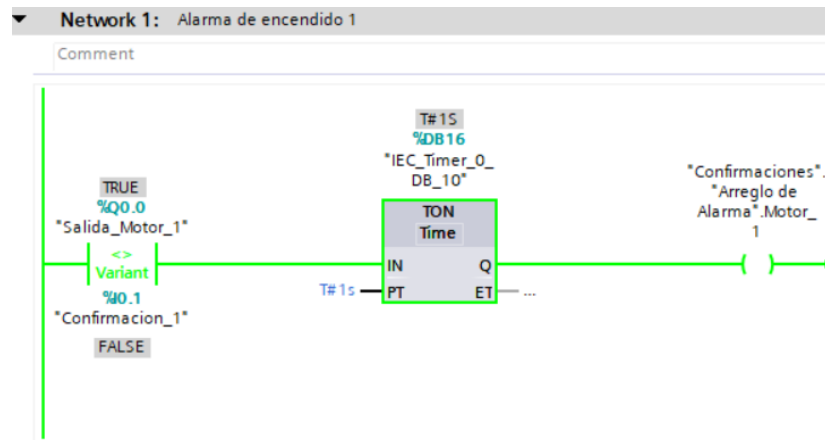


Figura 5.34. Comparación de las señales para la generación de la alarma.

A partir de las figuras de esta sección se demuestra como el sistema es capaz de enviar las señales definidas a lo largo de las configuraciones descritas tanto del PLC como del HMI en este capítulo, debido a esto se determina que el sistema es capaz de procesar el ingreso de temporizadores de ciclo y de agitación, además de los horarios restringidos para el control de consumo y la secuencia de encendido de los tanques para el ahorro energético y la protección de la red de alimentación.

6 Guía de instalación

El proceso de instalación del Sistema de Control y Monitorización (SCM) consiste en dos etapas principales donde la primera es el montaje en el gabinete del equipo de procesamiento PLC, su fuente de alimentación, el módulo de comunicación, los relés de seguridad (para entrada y salida), el relé de activación, el botón de paro de emergencia y el HMI.

La segunda etapa consiste en la configuración del acceso remoto al HMI para permitir a los usuarios de la planta de Proquinal la activación de los tanques de agitación, esta manipulación remota se plantea para dispositivos fijos y móviles.

6.1 Montaje de componentes en el gabinete

El montaje en el gabinete consiste en una serie de pasos que deben coordinarse con el departamento de mantenimiento de Proquinal, ya que ellos son los encargados de la realización de los montajes de equipos en la planta, en esta sección se describe paso a paso el montaje físico de los equipos, en el Apéndice B.7 se muestran los planos con las medidas referentes a esta sección.

Primeramente, es necesario realizar una serie de agujeros en el gabinete, esto con el fin de poder acoplar la HMI, el botón de paro de emergencia y el riel de montaje tipo DIN al mismo, además de permitir la entrada de cables de alimentación de tensión y de red. Las Figuras 6.1 y 6.2 muestran los agujeros para el montaje de estos equipos.

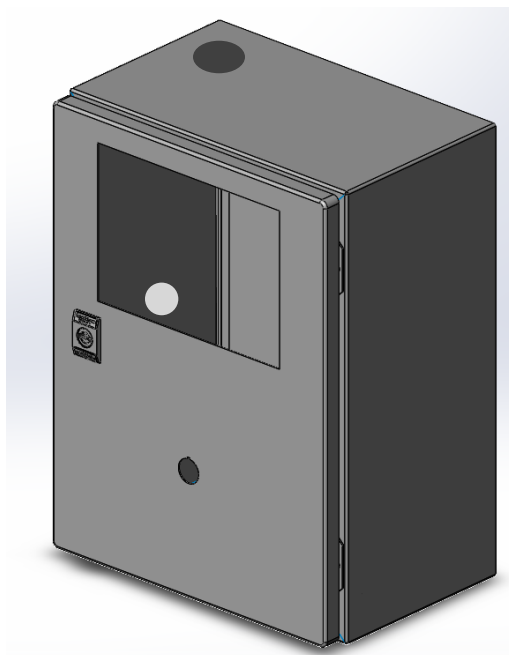


Figura 6.1. Agujeros por realizar en el gabinete de montaje para el acople de componentes y cableado.

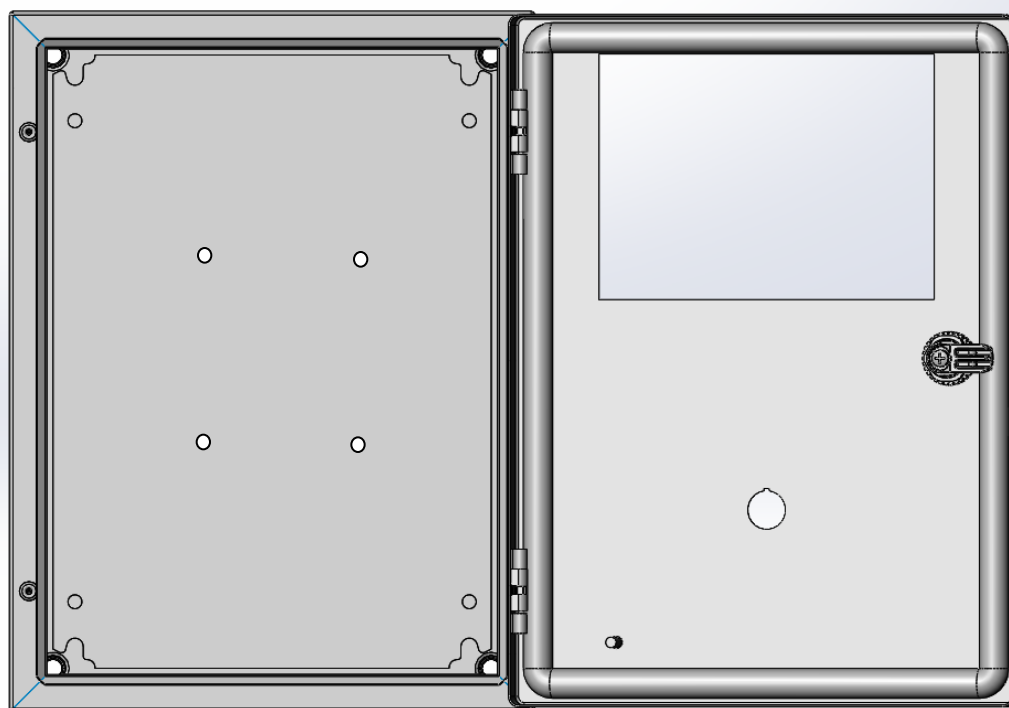


Figura 6.2. Agujeros por realizar en el gabinete de montaje para el acople del riel DIN.

Posterior a la realización de los agujeros se debe proceder con apuntalar el riel DIN al gabinete y el gabinete a la placa o pared donde se ubicará el sistema. La Figura 6.3 muestra los componentes necesarios para este proceso.

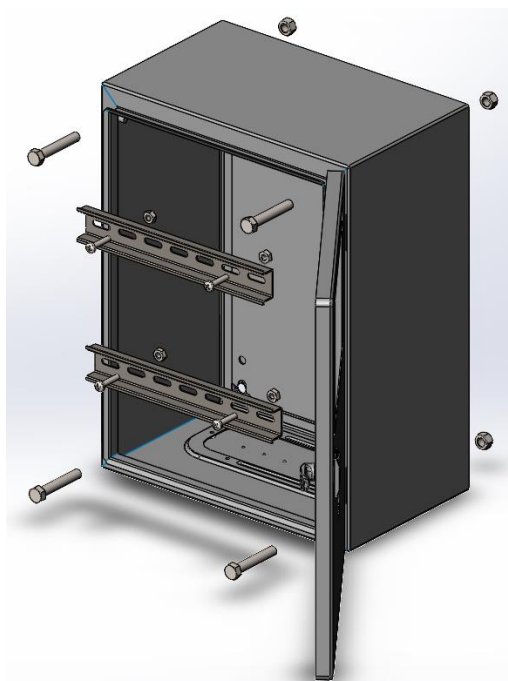


Figura 6.3. Componentes necesarios para el acople del gabinete al área de montaje.

Con el gabinete montado en la planta se puede proceder con el montaje de los equipos internos y su respectiva conexión eléctrica, nótese que se ha dejado por último el montaje de los equipos que deben montarse en la puerta del gabinete, con el fin de facilitar la conexión de los equipos.

En la Figura 6.4 se muestra cómo debe verse el montaje de los equipos en el riel DIN separados en los dos niveles descritos en el capítulo anterior y se muestra la trayectoria del cableado, el cual se detalla en la siguiente sección.

Para el cableado del sistema se plantea que la alimentación debe ingresar por el agujero superior izquierdo del gabinete, la conexión a la red debe ingresar por el agujero lateral derecho y las entradas y salidas que se comunican con los contactores deben ingresar por la parte inferior y atravesar el lateral derecho de los equipos.

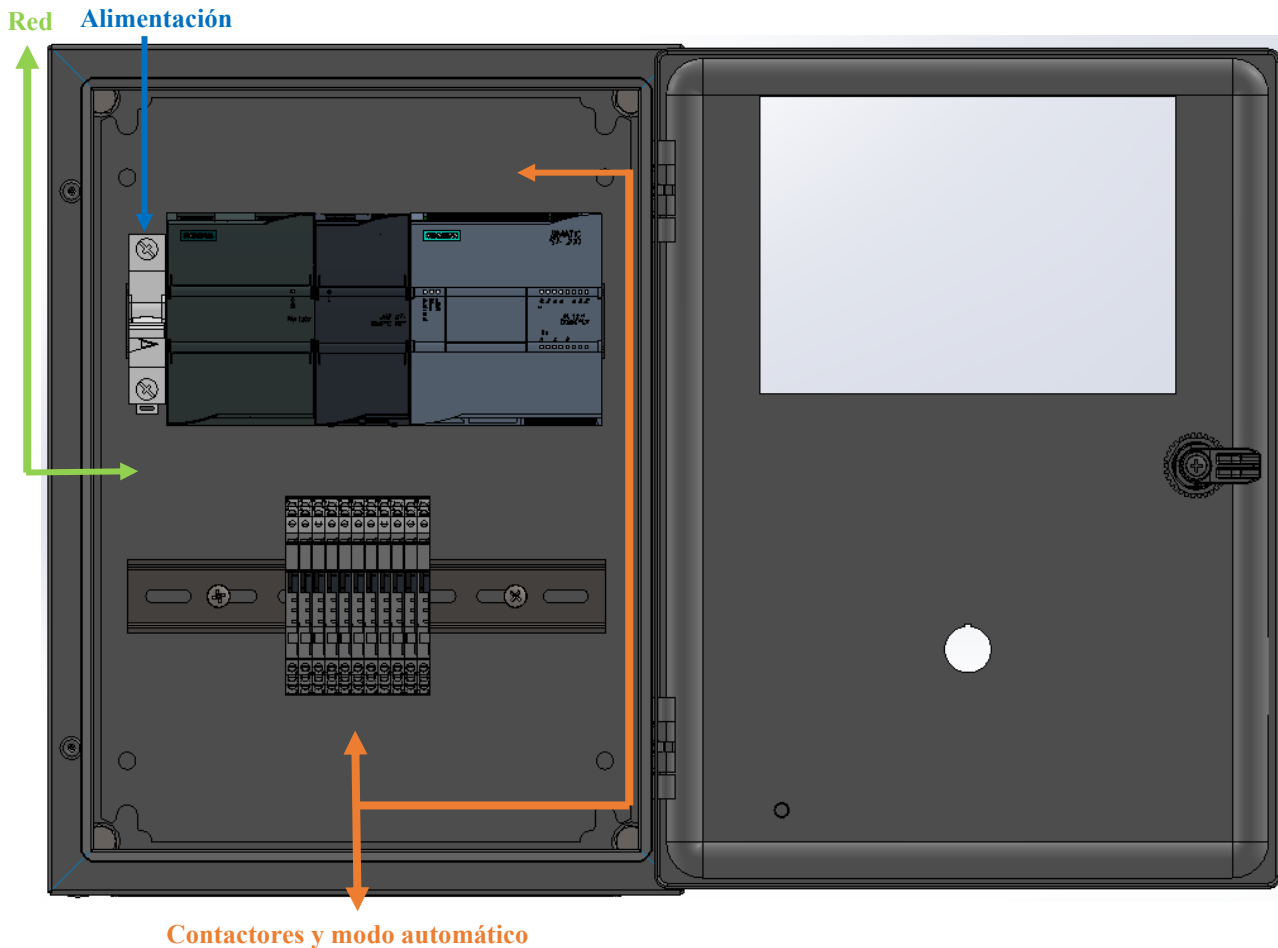


Figura 6.4. Montaje de los equipos en los rieles DIN acoplados al gabinete.

Por último, se realiza el montaje de la HMI y el botón de paro de emergencia (Figura 6.5) en la puerta del gabinete con sus respectivas conexiones lo cual finaliza el proceso descrito.

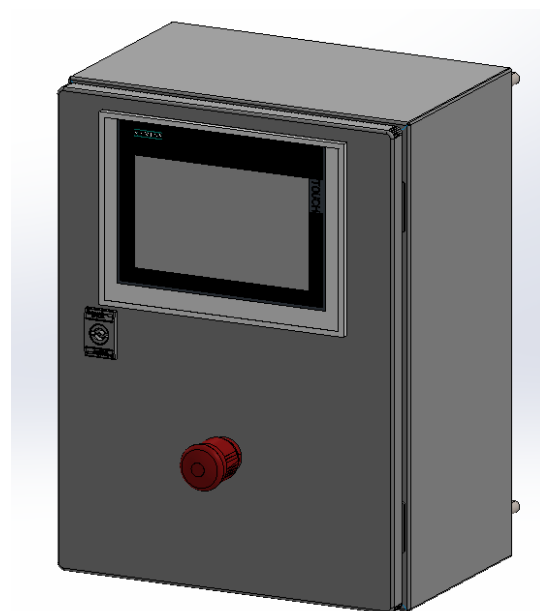


Figura 6.5. Montaje del HMI y el botón de paro de emergencia.

El listado de componentes utilizados para el montaje del sistema de control y monitorización se presenta en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Listado de componentes del montaje categorizado por el sistema del que son parte.

Sistema	Componente	Cantidad	Descripción
Control	PLC S7-1200	1	Controlador encargado de procesar señales de entrada para enviar las señales de activación a los tanques de almacenamiento.
Control / Monitorización	PM1207	1	Fuente encargada de alimentar equipos que requiere 24 V DC.
Control	XRUI1D24U	10	Relé de protección para el envío de señales de control a los contactores de los tanques de almacenamiento.
Control	XRUI1D120U	1	Relé de protección para la recepción de la señal de activación del modo automático del sistema.
Control / Monitorización	FAZ-C3-1-SP	1	Disyuntor de protección ante picos de corriente de la red eléctrica.
Monitorización	CSM 1277	1	Switch de red para la conectividad de los equipos del sistema.
Control / Monitorización	NSYCRN13200	1	Gabinete de montaje.
Control / Monitorización	Riel DIN	1	Carril de montaje para los equipos.
Control	M22-PVT-K01	1	Botón de paro de emergencia.
Control / Monitorización	HMI COMFORT TP700	1	Pantalla táctil para la interfaz del sistema y el control de este.

6.2 Conexiones del sistema

Con los dispositivos seleccionados se pueden esquematizar las conexiones eléctricas necesarias para que el sistema opere de forma adecuada considerando los dispositivos de seguridad ante eventos eléctricos inesperados o emergencias.

El diagrama eléctrico debe de ser seccionado por motivos de facilitar la interpretación del diagrama, las divisiones de este esquema consideran la:

- Alimentación de dispositivos.
- Conexión de entradas.
- Conexión de salidas.
- Conexión de red.

6.2.1 Alimentación de dispositivos

Al haber seleccionado un PLC de tipo DC/DC/DC fue necesario seleccionar un dispositivo de alimentación (PM 1207) el cual es capaz de brindar una tensión DC al PLC de 24V al recibir una entrada de 120V AC, este dispositivo también es necesario debido a la demanda energética de los dispositivos como el HMI y el switch CSM 1277.

La fuente de alimentación debe encontrarse protegida ante variaciones en la red eléctrica y de aumentos significativos en la temperatura de las conexiones, es por esto por lo que se ha seleccionado el disyuntor de seguridad FAZ-C3-1-SP. Debe recalarse que cada una de las conexiones debe realizarse sin corriente eléctrica por motivos de seguridad.

Con esta consideración se procede a cablear el PLC, el switch de red y el HMI como se muestra en la Figura 6.6.

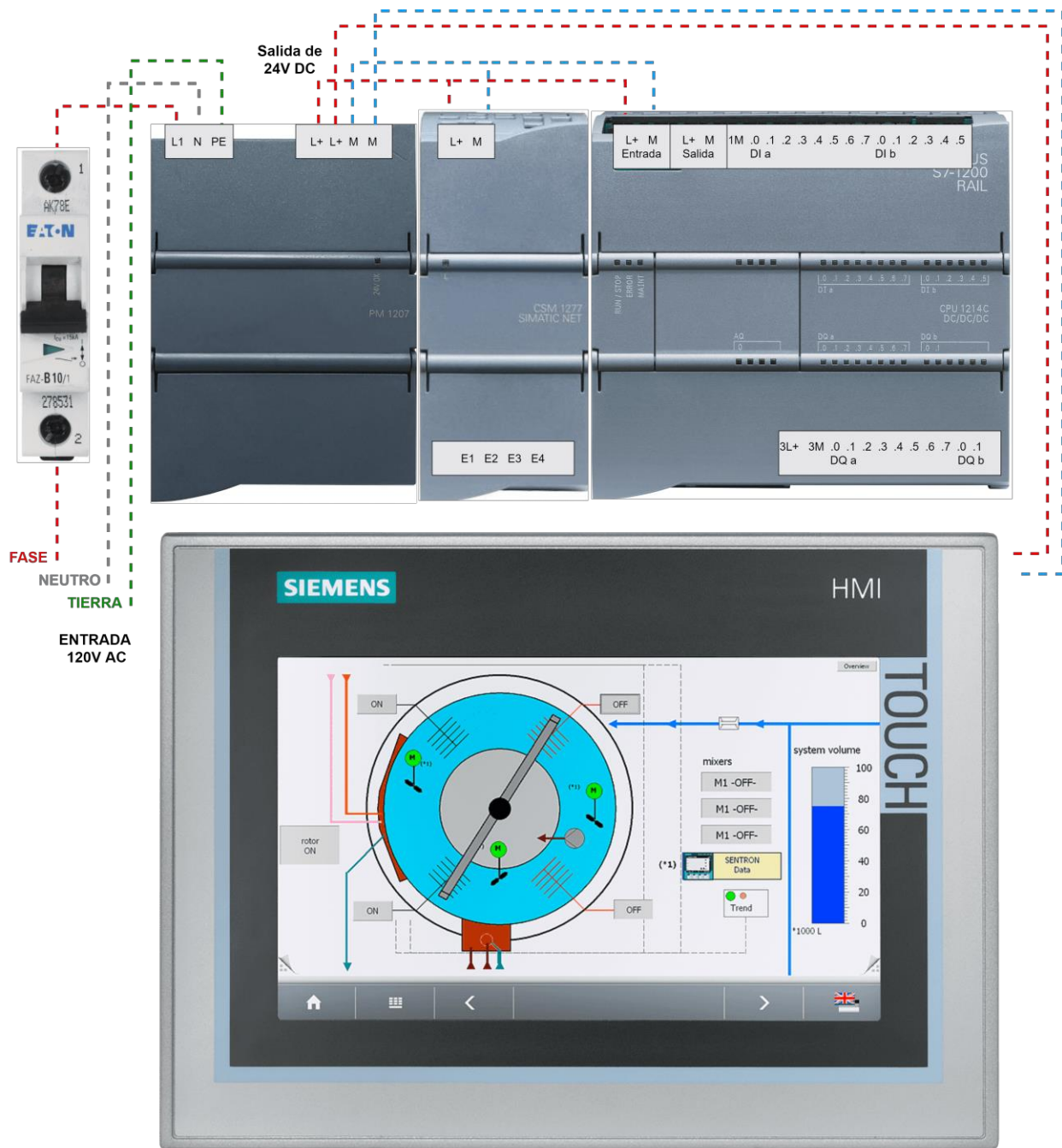


Figura 6.6. Diagrama de conexiones de alimentación de los dispositivos.

6.2.2 Conexión de entradas

Para recibir una entrada en el PLC se conecta la masa de la alimentación (M) al común (1M) del bus de puertos del PLC y se extrae la señal L+ para alimentar cada dispositivo. Por otra parte, del bus de puertos de entradas se extraen las señales independientes para cerrar el circuito en cada uno de los dispositivos generadores de señales de entrada.

Para la aplicación en cuestión, las entradas se componen de tres grupos, el primero de estos es la obtención de la señal de confirmación de los arrancadores, esto con el fin de determinar que los motores de los tanques operen cuando se envíe la señal de arranque como se explicó en la sección de configuración del PLC.

El segundo grupo corresponde a la obtención de la señal de activación del modo automático, esto para que el sistema de configuración y monitorización sepa cuando intervenir en la operación de los tanques. El último grupo está conformado por una señal brindada por un botón de paro de emergencia el cual se encarga de detener cualquier operación del sistema. En la Figura 6.7 pueden observarse las conexiones descritas.

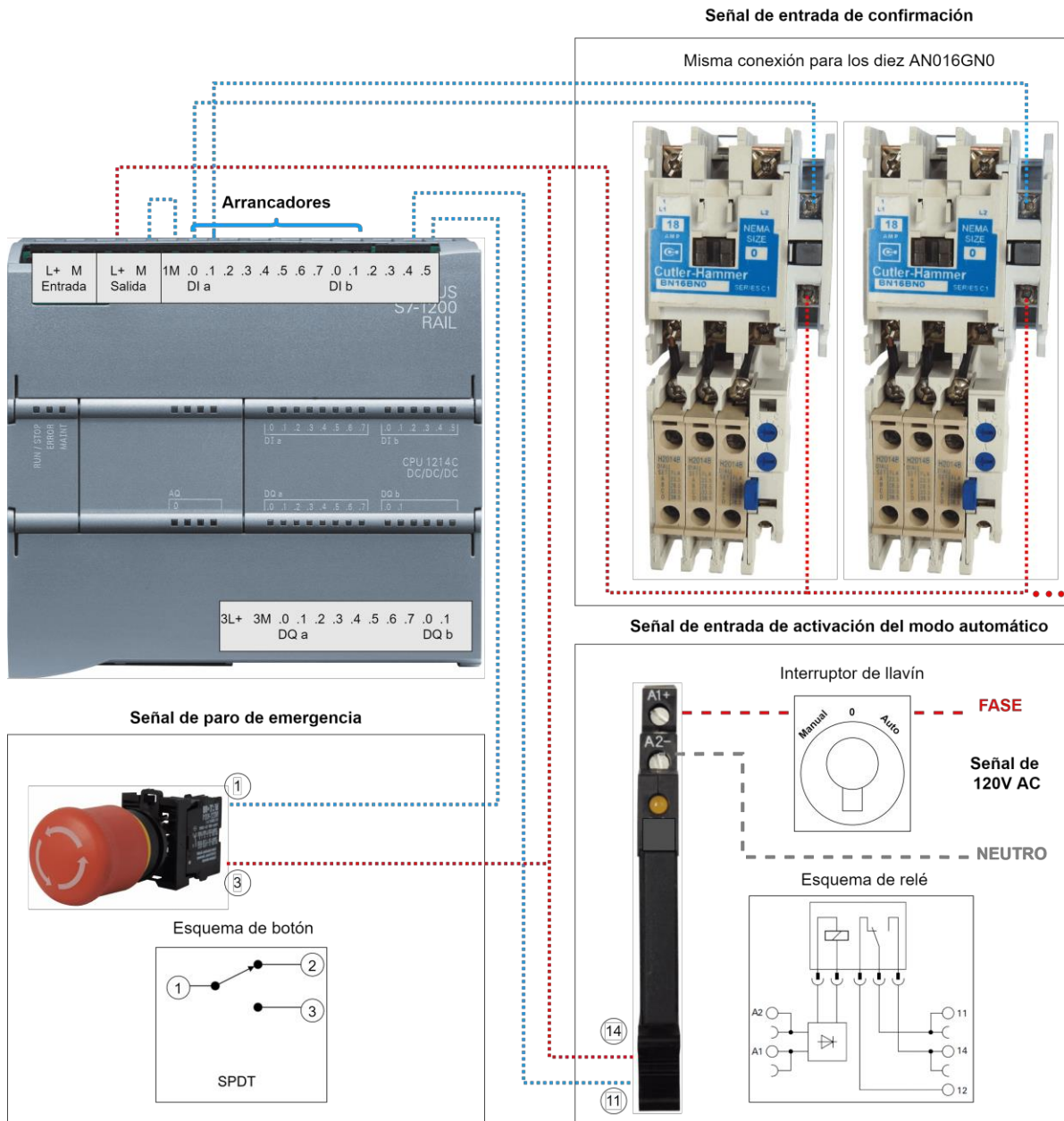


Figura 6.7. Diagrama de conexiones de las entradas del PLC.

6.2.3 Conexión de salidas

Para la conexión de las salidas del PLC es necesario alimentar los comunes 3L+ y 3M con L+ y M respectivamente para alimentar el bus de señales, luego de esto se extrae como común la masa del PLC hacia los dispositivos y la señal independiente del bus para cerrar el circuito.

Las salidas del PLC para la aplicación en cuestión solo presentan una etapa la cual es la alimentación de los relés de seguridad, pero la activación de estos relés debe transportar una señal de alimentación de 120V AC a la bobina de los arrancadores de los tanques de agitación como se muestra en la Figura 6.8.

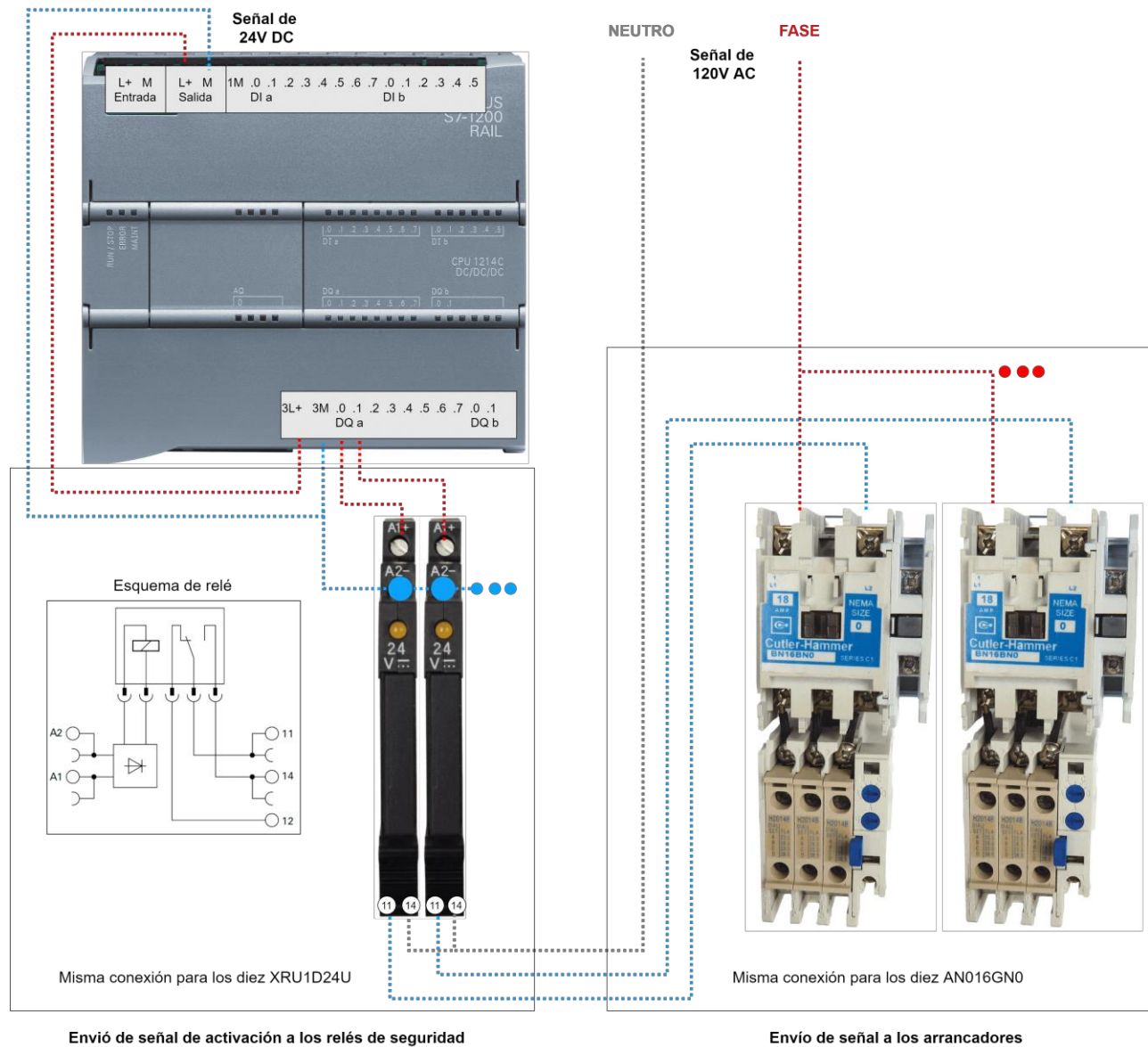


Figura 6.8. Diagrama de conexiones de las salidas del PLC.

6.2.4 Conexión de red

La conexión de red es la más simple entre las conexiones, pero su complejidad radica en la configuración interna del PLC ya que debe indicarse adecuadamente las direcciones IP estática de cada dispositivo y la dirección del enrutador como se verá en la siguiente sección de la configuración del acceso remoto. La Figura 6.9 muestra el diagrama de conexiones de red del sistema.

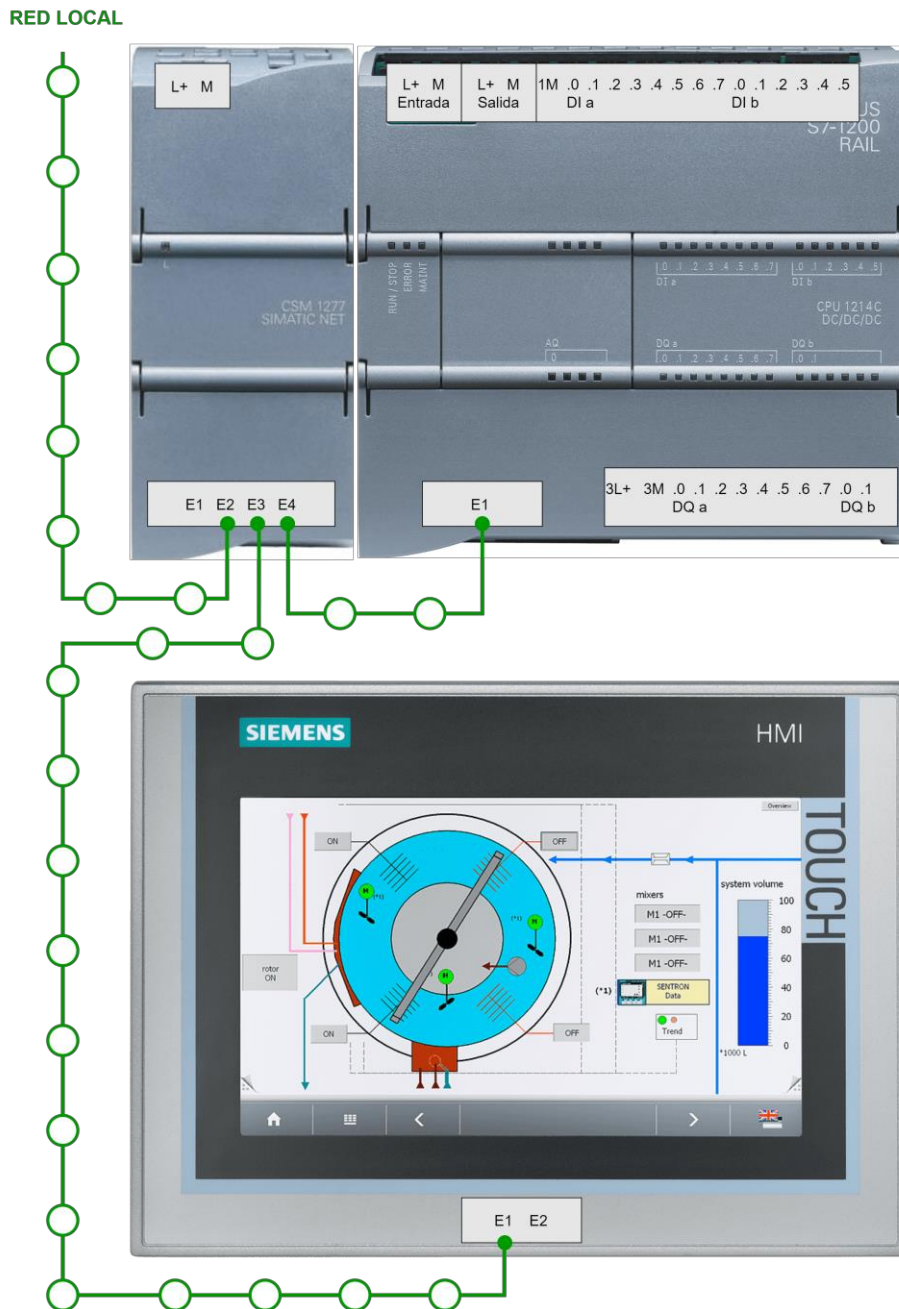


Figura 6.9. Diagrama de conexiones de red del sistema.

6.3 Configuración del acceso remoto

Para realizar la conexión remota al HMI es necesario efectuar una configuración previa del dispositivo mediante la herramienta TIA Portal, primeramente, en el dispositivo PLC deben asignarse los parámetros de red local ethernet según el esquema de la red empresarial, habiendo obtenido una dirección válida con su respectiva máscara de subred y la dirección del enrutador que hace de compuerta.

La Figura 6.10 muestra de forma numerada el proceso para realizar esta configuración en el PLC seleccionado. En el punto 5 mostrado en la imagen deben de ingresarse los parámetros adecuados de la configuración.

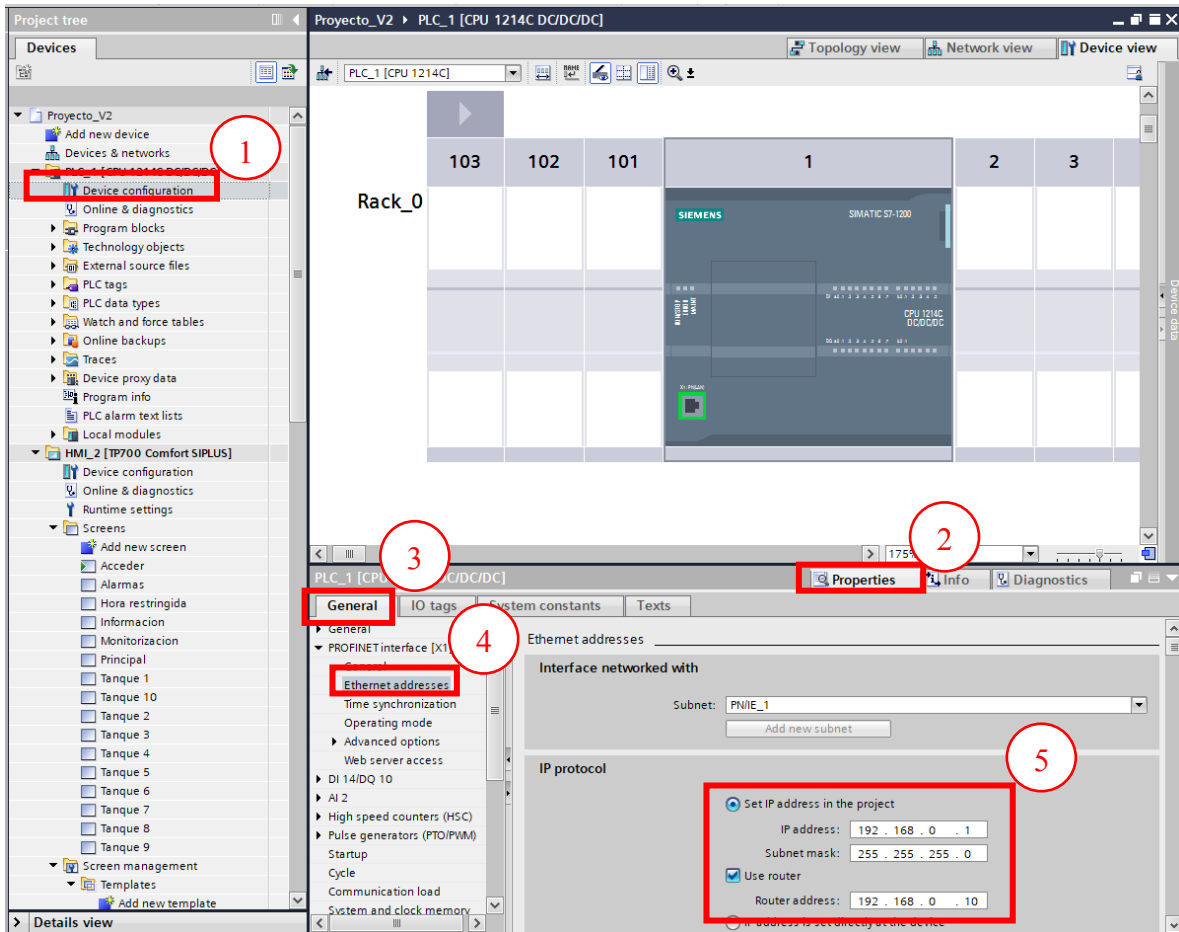


Figura 6.10. Procedimiento para ingresar la configuración de red del dispositivo PLC.

De igual manera se debe de configurar la dirección de red para el dispositivo HMI con una red distinta al PLC y aceptada en el esquema de red empresarial cómo se muestra en la Figura 6.11.

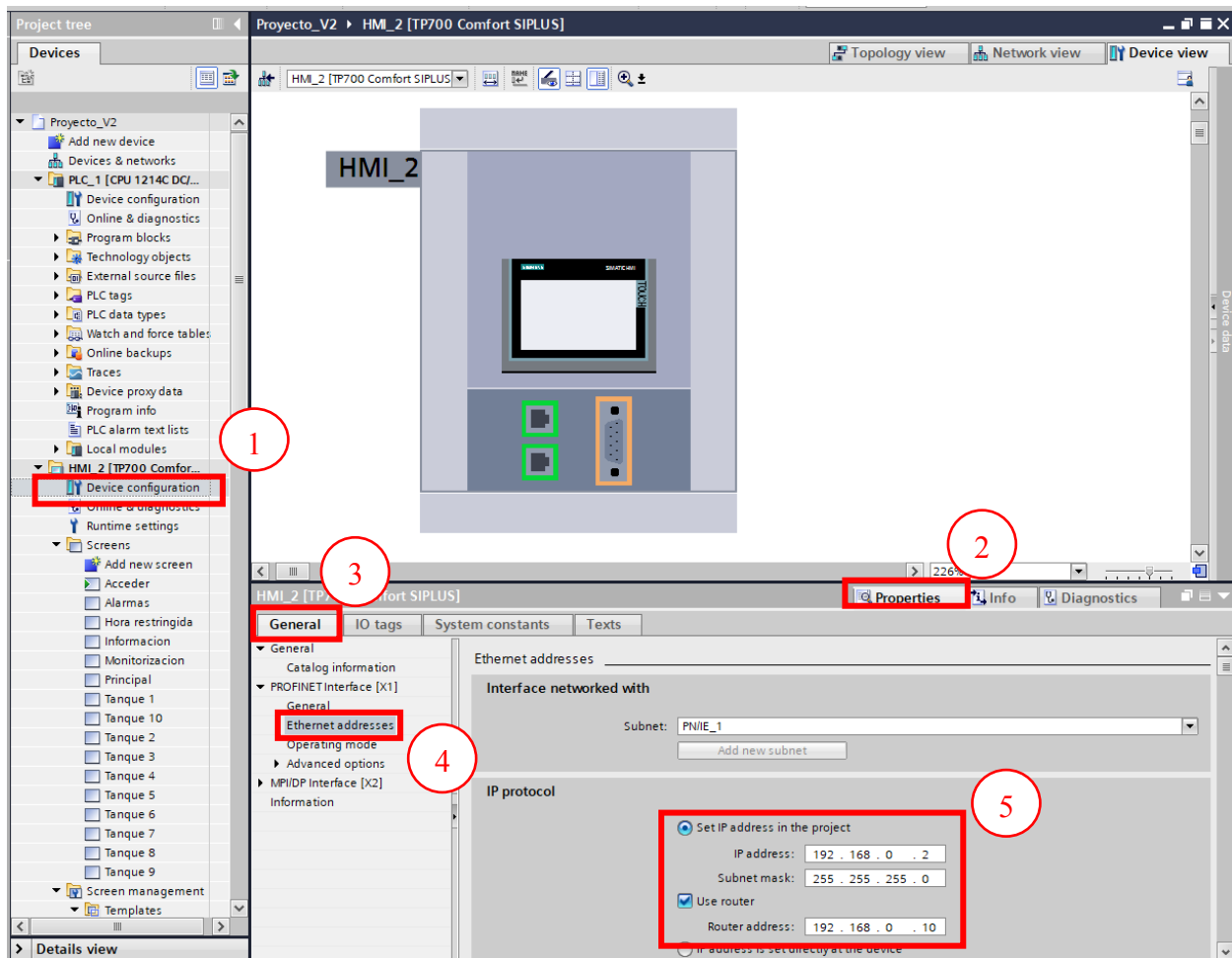


Figura 6.11. Procedimiento para ingresar la configuración de red del dispositivo HMI.

Para permitir el acceso remoto en este dispositivo es necesario activar el servicio de Sm@rt Server del dispositivo, Sm@rt Server corresponde a una herramienta con la que cuentan los paneles de tipo COMFORT para facilitar el acceso remoto al mismo mediante un servidor brindado por Siemens encriptado y seguro. Para configurar este servidor se deben seguir los pasos mostrados en la Figura 6.12.

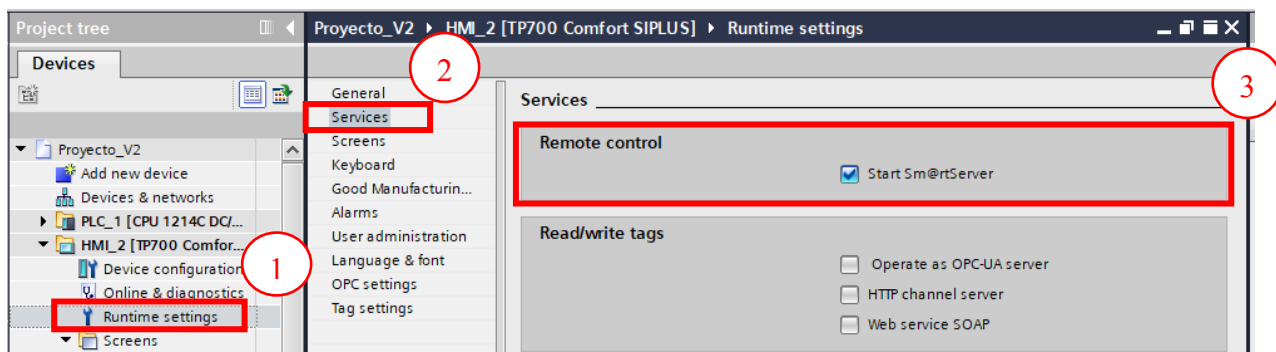


Figura 6.12. Procedimiento para activar el servidor inteligente en el HMI.

Con el Sm@rt Server activado y la configuración del PLC y el HMI realizada se puede cargar el programa en ambos dispositivos. Con los dispositivos cargados y conectados se accede al HMI y se finaliza el runtime del programa con el botón mencionado en la Figura 5.11, al ejecutar este comando el HMI muestra su pantalla fuente donde se puede acceder a la configuración del acceso remoto.

En la Figura 6.13 se muestra la pantalla fuente del HMI (este diseño aparece por defecto y es propio del sistema.)

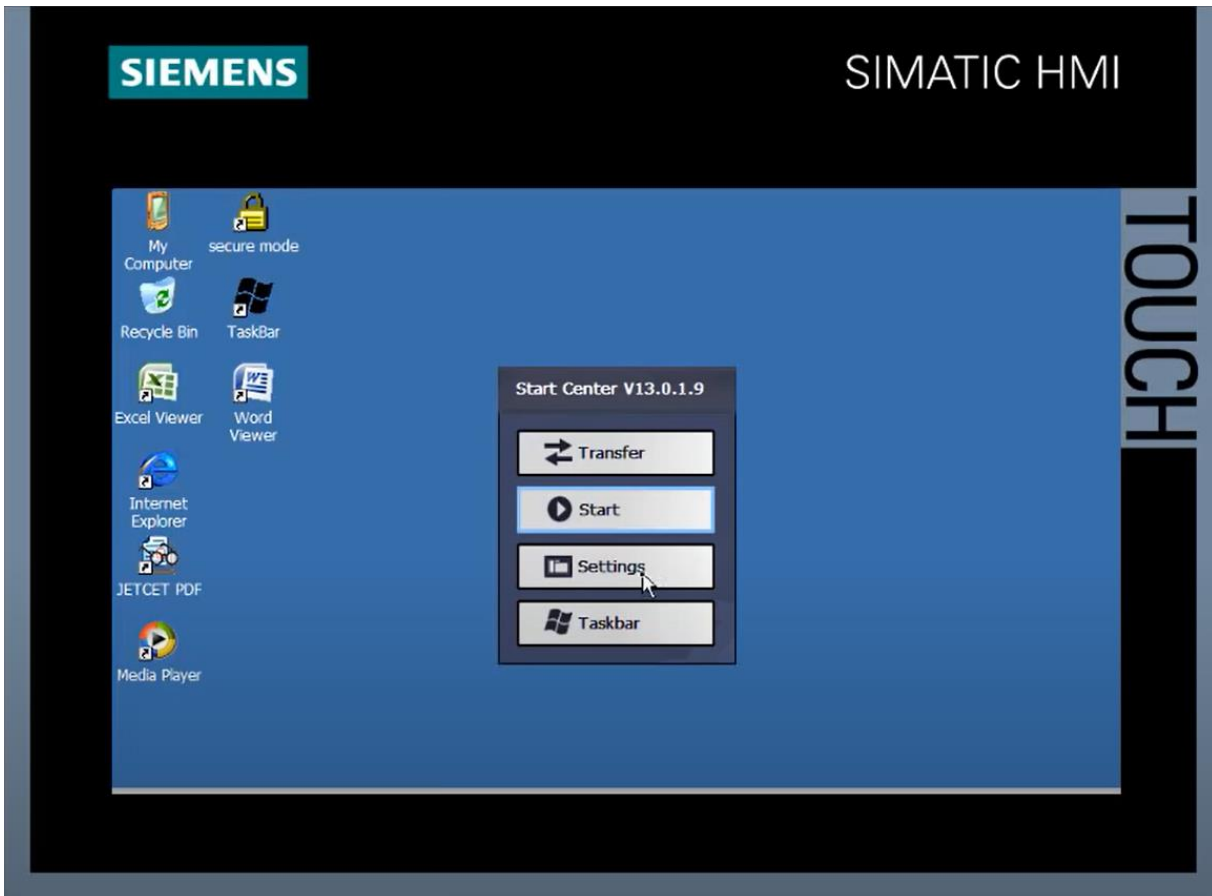


Figura 6.13. Pantalla fuente predeterminada del dispositivo HMI.

Al ingresar a la opción “Settings” (configuración), se navega a la pantalla general de configuraciones del dispositivo, como se muestra en la Figura 6.14, en esta pantalla se presenta el ícono de WinCC Internet Settings, el cual se encarga de abrir la aplicación de configuración del servidor remoto.

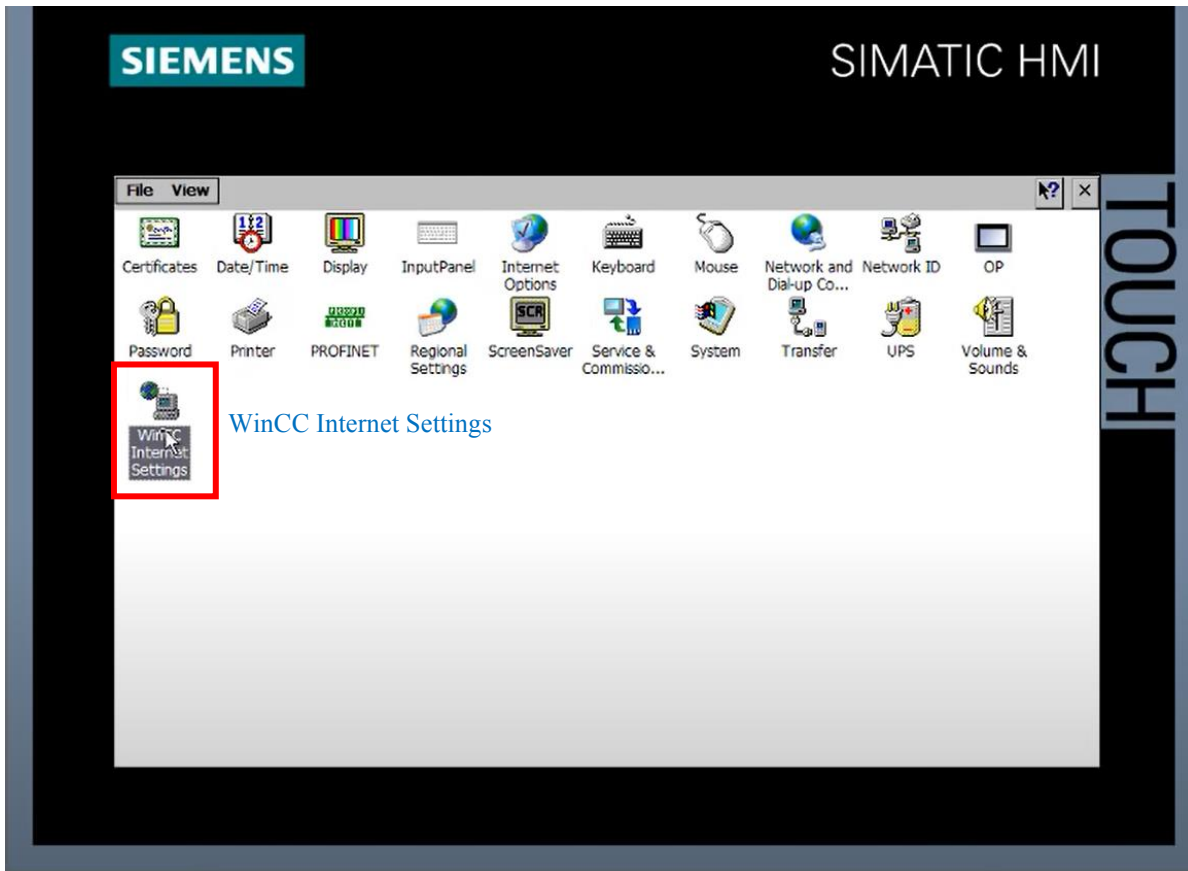


Figura 6.14. Pantalla de configuración para acceder a la aplicación del servidor.

Al abrir la aplicación aparecerá una ventana emergente en la cual se configuran los parámetros de acceso remoto, la pantalla se muestra en la Figura 6.15.

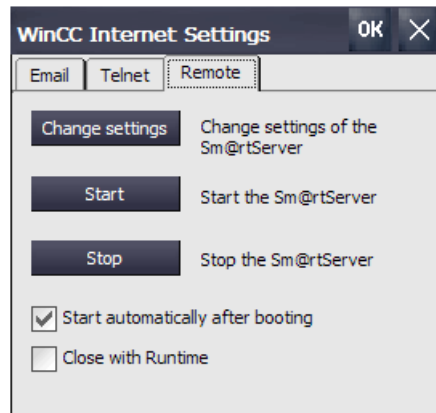


Figura 6.15. Pantalla de configuración del acceso remoto.

En la ventana de la Figura 6.15 se observa la pestaña “Remote”, en la cual se tiene la recopilación de configuraciones necesarias para el servidor, en el botón “Change settings” puede configurarse la contraseña de acceso al HMI, se tienen los botones Start y Stop para encender y

apagar el servidor automáticamente y por último un par de cuadros de selección, el primero para iniciar el servidor siempre que se encienda el HMI y el segundo para finalizar el servidor cuando se finalice el “runtime”.

Al acceder al botón “Change settings” se muestra la ventana de la Figura 6.16 en donde se puede configurar un par de contraseñas de acceso encriptables, cada una con permisos configurables ya sean solo de lectura o completos, la ventana presenta además la capacidad de bloquear el acceso en el panel físico para evitar la interacción de un operario en el área de ubicación del sistema.

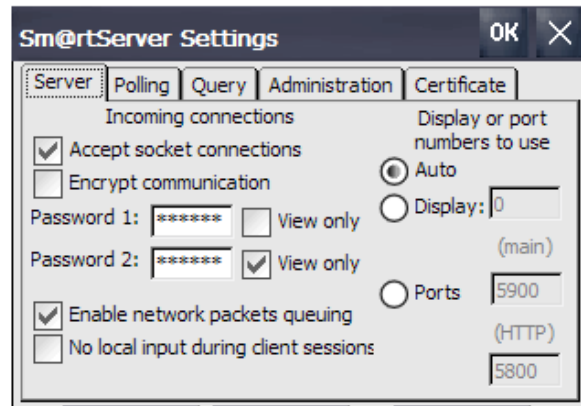


Figura 6.16. Configuración de seguridad del servidor remoto del panel.

Al realizar esta configuración se interactúa con el botón de aplicar y aceptar y se acepta un aviso de conexión remota posterior, luego de esto se debe de reiniciar el HMI y se pasa a configurar el acceso a la interfaz desde un dispositivo conectado a la misma red.

6.3.1 Acceder a la interfaz desde una PC

Para acceder al HMI desde un ordenador, este debe estar conectado a la misma red ya sea alámbrica o inalámbricamente, el ordenador debe tener instalada la herramienta de Siemens Sm@rt Client. Al abrir esta aplicación se debe seleccionar el tipo de perfil de red de conexión e ingresar la dirección IP del HMI como se muestra en la Figura 6.17.

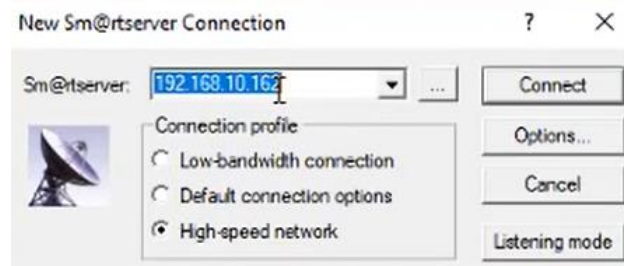


Figura 6.17. Ingreso de dirección de red en la aplicación Sm@rt Client del ordenador.

Al dar click en “Connect” la aplicación busca la conexión entre el HMI y el ordenador, cuando el sistema encuentra esta conexión se muestra la pantalla mostrada en la Figura 6.18 en la

cual al visualizarse las letras en rojo se tiene confirmación de conexión. Con esta confirmación, puede ingresarse una de las contraseñas de acceso al dar click en “OK” saltará la ventana del panel HMI como se ve en la Figura 6.19.

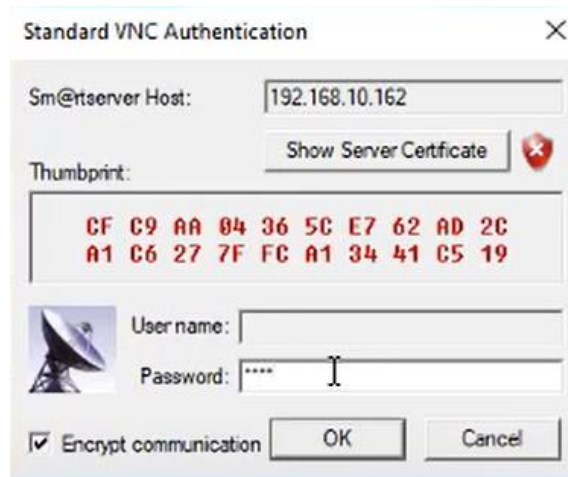


Figura 6.18. Confirmación de conexión y acceso de credenciales para conectividad remota.

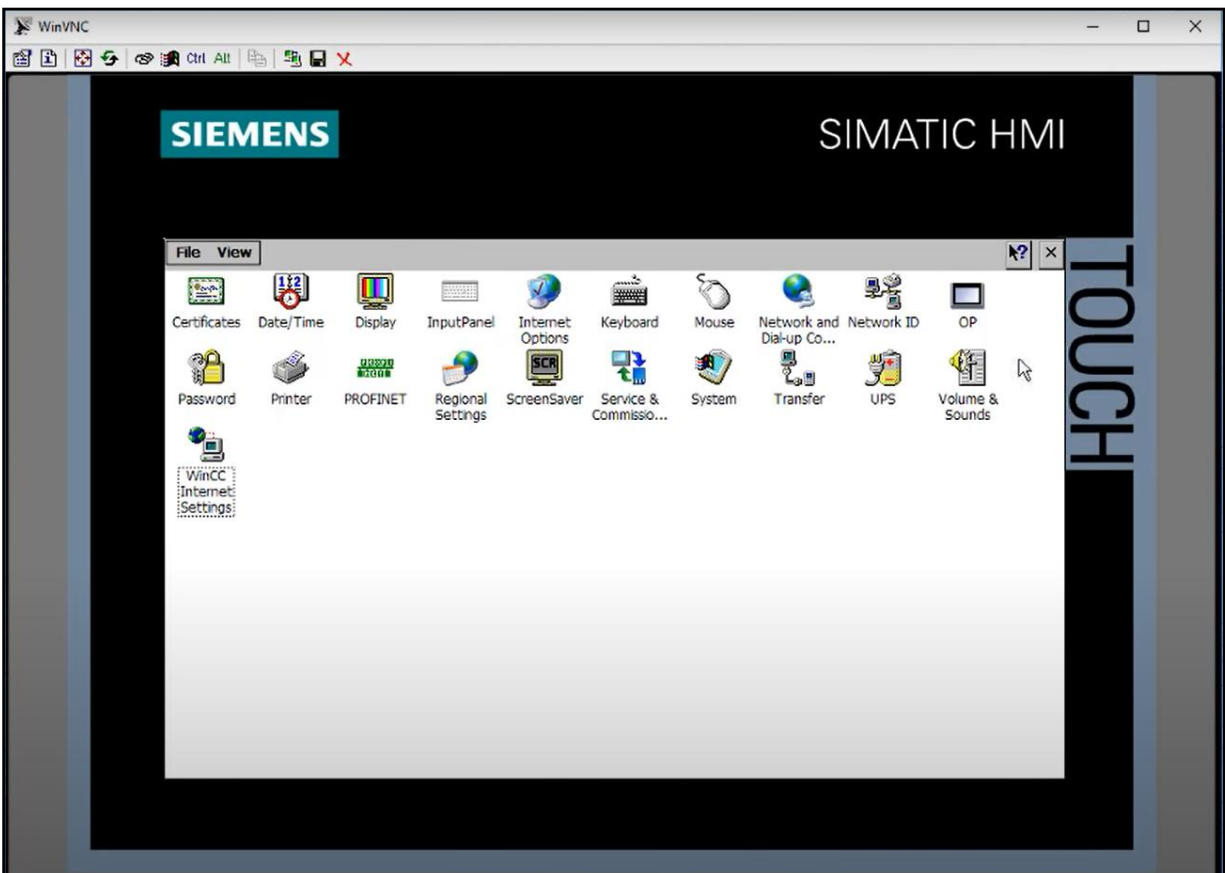


Figura 6.19. Pantalla del HMI vista desde un ordenador con conexión remota.

6.3.2 Acceder a la interfaz desde un dispositivo móvil

Para acceder a la interfaz HMI mediante un dispositivo móvil con sistema operativo Android o IOS se debe acceder a Play Store o App Store (según corresponda) y se debe descargar la aplicación Sm@rt Client Lite cuyo logo se muestra en la Figura 6.20.



Figura 6.20. Logo de la aplicación Sm@rt Client Lite. Fuente: [31].

Con la aplicación instalada se debe conectar el dispositivo a la misma red en la que se encuentra el sistema. Al ingresar en la aplicación se deben aceptar los términos de esta y se debe ingresar una contraseña para asegurar la seguridad de la interfaz. Esta configuración se muestra en la Figura 6.21.

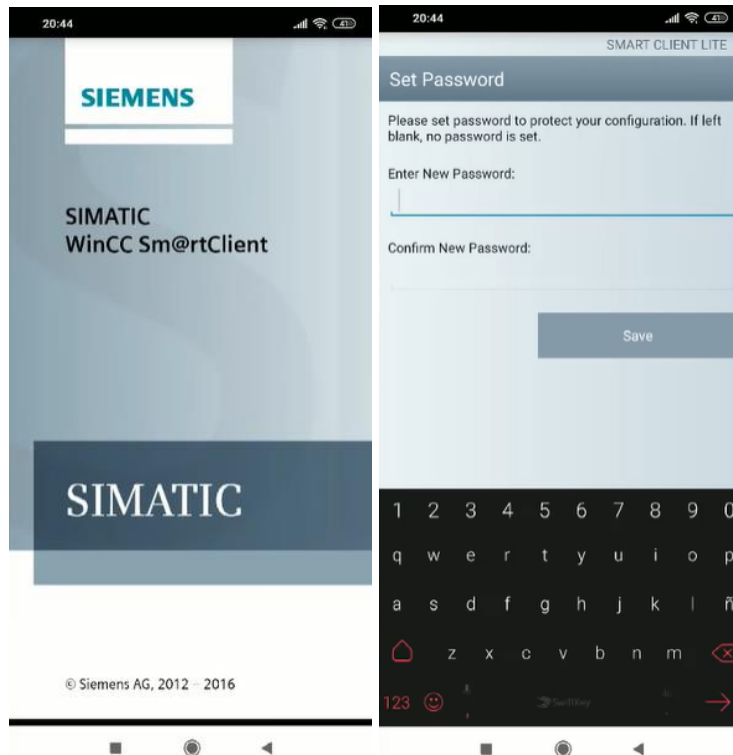


Figura 6.21. Pantalla principal y configuración inicial de seguridad de la aplicación.

Con la contraseña ingresada se accede a la pantalla principal, inicialmente no se tienen pantallas accesibles por lo que se debe hacer uso del ícono “+” ubicado en la parte superior derecha, en esta se ingresan las credenciales del HMI conectado en la misma red, se destaca que esta conexión puede encriptarse para aumentar su seguridad. El ingreso de un HMI en la aplicación se muestra en la Figura 6.22.

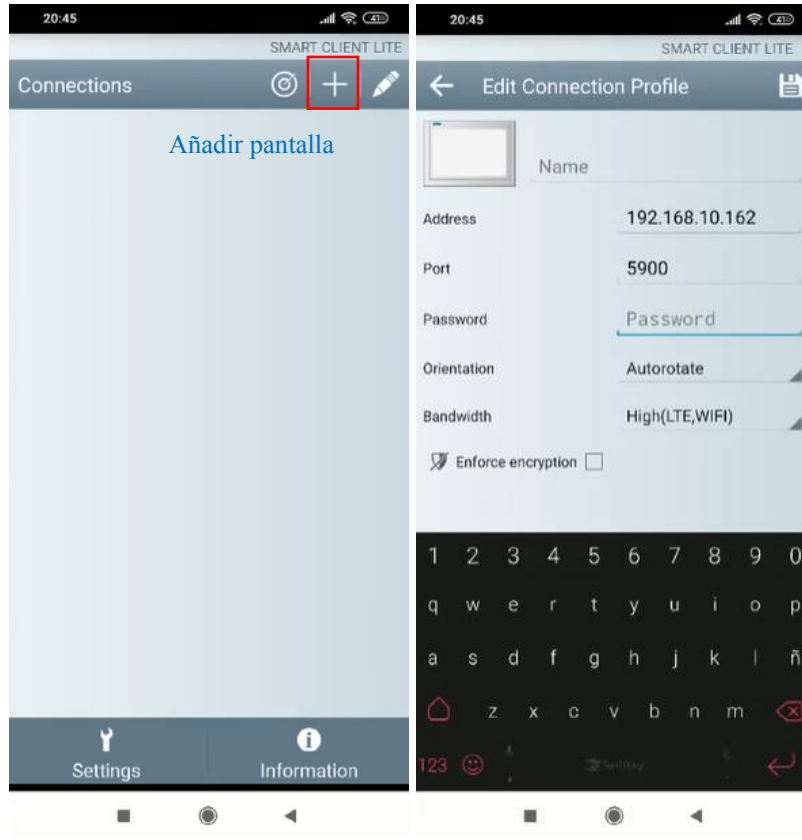


Figura 6.22. Ingreso de credenciales del HMI para la conexión remota.

Luego de ingresar la pantalla, esta aparecerá en la pantalla “Connections” del dispositivo, donde al interactuar con su ícono abrirá la conexión con el sistema y en esta visualización, para facilitar la visualización la pantalla puede rotarse.

Existen dos versiones de esta aplicación, la que se muestra en este proceso corresponde a la versión gratuita, entre las limitaciones de esto se tiene que solo puede observarse una HMI a la vez, lo cual para la aplicación en cuestión no presenta ninguna problemática.

La conexión realizada con el HMI conectado a la misma red e ingresado a la aplicación móvil Sm@rt Client se muestra en la Figura 6.23.

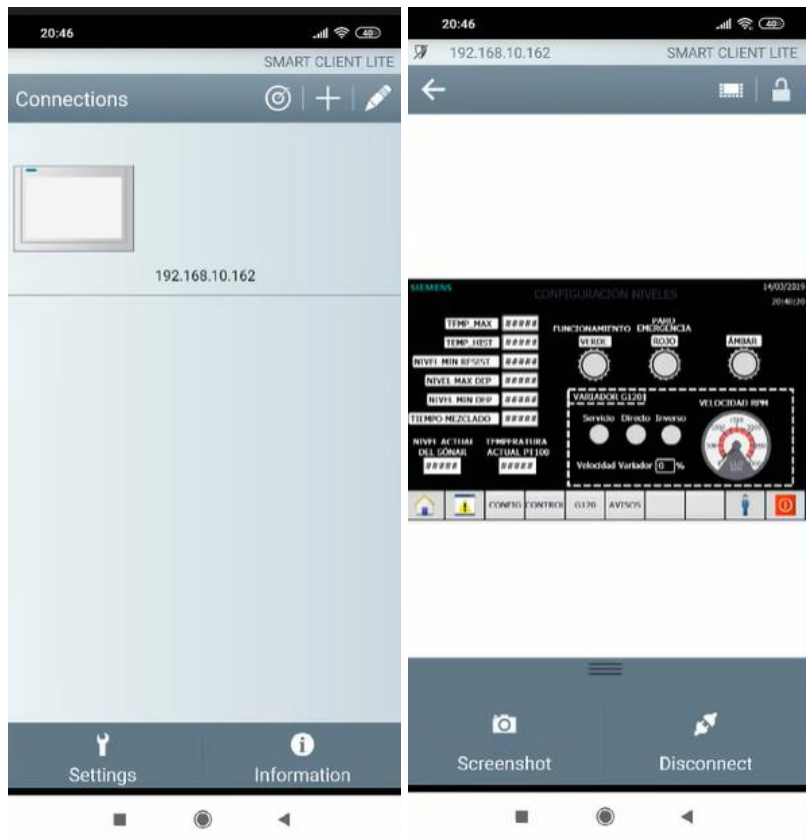


Figura 6.23. Resultado de ingreso de pantalla en la aplicación móvil.

7 Resultados y análisis

7.1 Validación del sistema

Para realizar la validación de la propuesta de diseño del capítulo anterior se tomarán como base las métricas definidas en la Tabla 3.5 del capítulo “Metodología” recopilada a continuación:

Tabla 3.5. Valores marginales e ideales para las métricas definidas.

Número	Métrica	Importancia	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
Parámetros medibles					
1	Uso intuitivo	5	Subjetivo	≤ 4	5
2	Pico de energía máximo generado	4	kW	>111kW (2 tanques)	65kW (2 tanques)
3	Temperatura máxima del Plastisol	3	°C	<42°	<38°
4	Diferencia de viscosidad	3	cP	500	<300
5	Magnitud de viscosidad	3	cP	9000	3000
6	Eventos de Tiempo No Productivo	4	Evento/Quincena	3	2
Capacidades de control					
7	Ciclos de trabajo	5	Binario	Cumple	Cumple
8	Tiempo de batido	5	Binario	Cumple	Cumple
9	Control automático y manual	5	Binario	Cumple	Cumple
10	Control individual	5	Binario	Cumple	Cumple
11	Medición de temperatura	3	Binario	No Cumple	Cumple
12	Control remoto	4	Binario	Cumple	Cumple
13	Notificaciones	3	Binario	No Cumple	Cumple

En esta tabla se consideraron las necesidades del cliente con sus respectivos valores marginales e ideales para su cumplimiento. Para realizar la validación del sistema propuesto se hace uso de las métricas, analizando cada una de forma independiente y categorizando su nivel de cumplimiento.

Se destaca que existen dos tipos de métricas, los parámetros medibles son validados mediante el análisis del comportamiento de los procesos en la planta de Proquinal, como lo son el Plastisol resultante al ser agitado y la clasificación de la facilidad de uso del sistema obtenida como respuesta de los operarios.

El segundo tipo de métrica corresponde a las capacidades de control, las cuales son validadas a partir de la programación y la simulación del sistema.

7.1.1 Parámetros medibles

7.1.1.1 Uso intuitivo del sistema

Para realizar la validación correspondiente a la facilidad de uso del sistema se ha hecho uso de una encuesta a las personas que interactúan con los tanques de almacenamiento de la planta de Proquinal, a los cuales se les presentó el Manual de Usuario del Apéndice B.5. Al haber leído cada uno el manual se contó con una perspectiva propia de la facilidad de uso del sistema.

La encuesta realizada se presenta en el Apéndice B.6 junto con las respuestas obtenidas por parte de las personas involucradas en el proceso de agitación del Plastisol, inicialmente en la encuesta realizada al cliente se indicó que en el proceso se involucraban seis personas, de las cuales pudieron obtenerse cinco respuestas.

Entre las respuestas no se tuvo demasiada variación ya que cuatro de las respuestas estimaron al sistema como “de uso sencillo”, mientras un individuo indicó “de uso complejo”, esto quiere decir que la mayor parte de las personas involucradas en el proceso clasifica al sistema diseñado dentro de los parámetros aceptables definidos en las métricas de este capítulo, pero de igual manera debe hacerse una evaluación del caso aislado que lo ha clasificado por debajo de este estándar.

Con los resultados obtenidos se considera que el sistema cumple parcialmente con la métrica de uso intuitivo, pero debe evaluarse posteriormente la interacción de los operarios con el sistema, se añade que la entrega de un manual a los operarios no es la forma adecuada de capacitarlos para la utilización de un sistema con el cual tendrán que interactuar día a día, pero debido a que el sistema no está implementado en la planta de Proquinal no se puede realizar una capacitación formal y demostrativa del sistema, lo cual, se estima que aumentaría su clasificación.

7.1.1.2 Pico de energía máximo generado

Para poder cuantificar la cantidad de potencia máxima requerida por los motores de los tanques de agitación durante su operación con el sistema de control propuesto es necesario utilizar como base la simulación diseñada y la teoría de la potencia de arranque de los motores de inducción, esto se debe a que al no tener un prototipo físico no pueden realizarse las mediciones reales de este parámetro.

Considerando lo anterior fue necesario acoplarse en la mayor cantidad posible a las condiciones de la simulación y la teoría, en la propuesta de diseño en el segmento de la configuración del PLC en su apartado de configuración de los tanques se presenta la Figura 5.4, este segmento de programación corresponde a un secuenciador para el arranque seguro y económico (en términos energéticos) de los tanques.

El secuenciador se encarga de generar una cola de tanques que requieren ser encendidos debido a que han completado su tiempo de ciclo, esta cola entra en una serie de comparadores que asignan turnos a los tanques que se van añadiendo, encendiendo uno a uno cada tanque,

haciendo que los demás deban esperar durante el tiempo de arranque de los motores para poder ser encendidos.

Al hacer que los tanques deban esperar durante el tiempo de arranque se evita que se generen picos elevados de corriente en la alimentación por encender múltiples motores, si se retoma la Figura 2.12 del capítulo “Marco teórico” de este documento puede notarse cómo al alcanzar el tiempo de arranque del motor la corriente de arranque ha disminuido hasta estabilizarse en su valor de corriente nominal.

Siguiendo la lógica del programa propuesto, cuando el sistema deba encender dos tanques de agitación en el mismo instante este le brindará un turno a cada uno, haciendo esperar al segundo un tiempo de agitación para poder iniciar su operación, tomando como referencia el segmento “Potencia activa y de arranque del motor de inducción” del capítulo “Marco teórico” los valores de potencia activa (nominal) y de arranque son de 9.2052 kW y 53.310 kW respectivamente, donde el primero se da cuando se tiene la corriente nominal y el segundo cuando se da la corriente de arranque, por lo que el requerimiento de la corriente en la red eléctrica para los dos motores tendría un comportamiento similar al mostrado en la Figura 7.1.

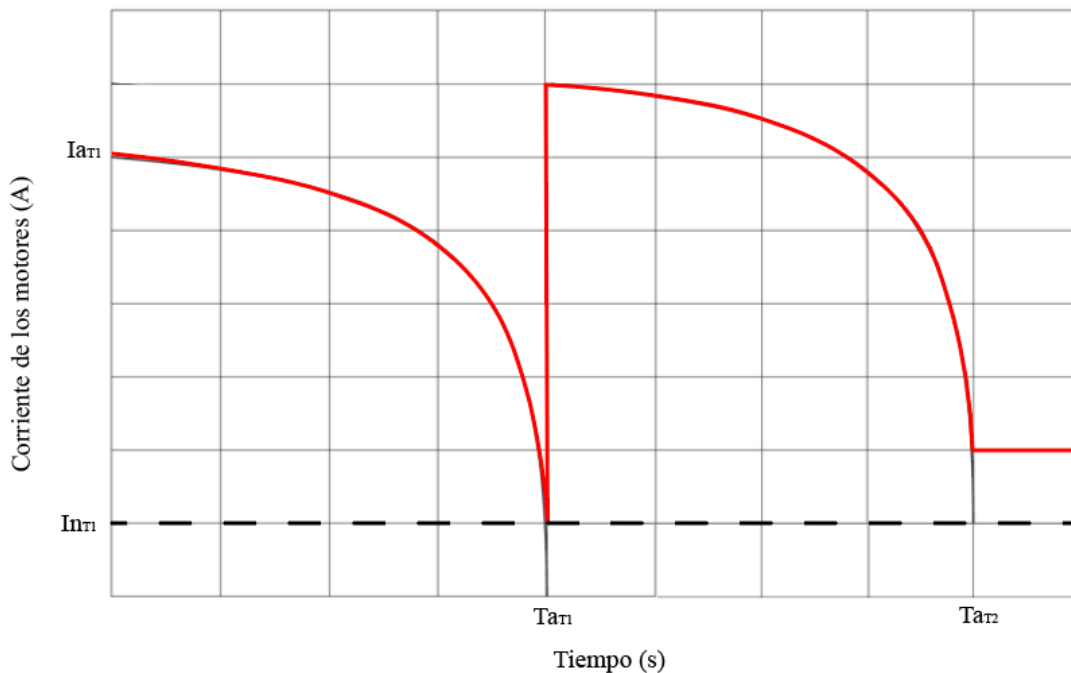


Figura 7.1. Comportamiento la corriente eléctrica en la alimentación de los tanques de agitación al encender dos tanques con el sistema propuesto.

El gráfico de la Figura 7.1 muestra como la corriente de arranque del segundo motor genera su pico solo cuando se ha alcanzado la potencia y corriente nominal del primero, considerando que el secuenciador diseñado opera incluso cuando 10 tanques deban encenderse al mismo instante, el pico máximo de potencia del sistema no superará la potencia de arranque del segundo tanque más la potencia nominal del primero (en el caso de 2 tanques) o la potencia

nominal de los tanques encendidos más el pico de arranque del tanque que se encuentre encendiendo (para cualquier cantidad de tanques).

Siguiendo las consideraciones anteriores, el pico máximo de potencia que requerirá el sistema al encender dos tanques fluctuará en un valor muy cercano a los 62.5152 kW, al considerar las variaciones en la alimentación y las ligeras variaciones que pueda tener motores del mismo modelo que alimentan un tanque y otro, lo cual es un valor cercano al ideal planteado en las métricas.

7.1.1.3 Temperatura máxima del Plastisol

Para el análisis de la temperatura máxima que el Plastisol puede alcanzar al utilizar el sistema debe considerarse múltiples segmentos de este documento, el primero de ellos corresponde a las conclusiones obtenidas del capítulo 4 “Experimento para la obtención del tiempo óptimo de agitación y ciclo de trabajo del Plastisol”, en este experimento se obtuvo como conclusión que el tiempo óptimo de agitación es de siete minutos con ciclos entre 4 y 8 horas.

Al analizar los resultados de las mediciones de temperatura de las muestras de Plastisol para estas pruebas se notó como la temperatura no presenta variaciones significativas al aplicar este proceso en la sustancia, manteniendo su temperatura siempre por debajo de los 31°C sin una tendencia creciente.

Como se verá más adelante en esta sección el sistema propuesto presenta la capacidad de manipular los ciclos y tiempos de agitación de cada uno de los tanques de batido del Plastisol, además como se detalló en la “Referencia de configuración” de la propuesta de diseño el sistema incorpora la recomendación de los tiempos estudiados en la interfaz.

Considerando lo anterior se determina que debido a que el sistema permite el control de estos parámetros descritos y según el estudio realizado al asignar los tiempos adecuados de ciclo y agitación la temperatura no tiende a crecer por encima de los 31°C, la temperatura máxima del Plastisol se mantiene por debajo de los 38°C ideales indicados en las métricas objetivo para el diseño.

7.1.1.4 Diferencia y magnitud de la viscosidad

Para validar que las mediciones de la diferencia de viscosidad entre la sección superior e inferior del tanque además de su magnitud se mantengan dentro de los rangos de aceptación de las métricas se hace uso de los resultados obtenidos en el capítulo 4 “Experimento para la obtención del tiempo óptimo de agitación y ciclo de trabajo del Plastisol”. El haber concluido que la agitación adecuada del Plastisol debe darse durante 7 minutos con ciclos entre 4 y ocho horas implica que los resultados extraídos de los tanques de almacenamiento presentan las características más homogéneas.

En las pruebas con agitaciones de siete minutos de dos y tres etapas se obtuvo un comportamiento de la magnitud de la viscosidad del Plastisol regular y siempre dentro de la banda de aceptación de 3000 cP y 9000 cP, esto quiere decir que al realizar un procesamiento de la sustancia bajo estos tiempos, el Plastisol se mantiene disponible para su extracción durante su

permanencia en el tanque, eliminando los tiempos de espera que podrían necesitarse al tener que agitar la sustancia luego de extensos periodos de reposo.

En las tablas del Apéndice B.4 sobre los resultados del experimento del capítulo 4 se muestran las diferencias entre los promedios de viscosidad de las secciones superior e inferior del tanque para cada una de las pruebas, estas diferencias también se ven graficadas en las figuras de comportamiento de la viscosidad de la misma sección. Al analizar los resultados obtenidos se concluyó que las agitaciones de siete minutos presentan las menores diferencias de viscosidad entre las zonas del tanque, lo cual según los laboratoristas de Proquinal evidencia su homogeneidad.

Las diferencias de viscosidad de las pruebas de siete minutos durante cada cuatro horas estabilizan su magnitud por debajo de los 100 cP con una incertidumbre de 122.47 cP mientras que las pruebas de cada ocho horas estabilizan las diferencias a por debajo de los 350 cP con la misma incertidumbre, esto quiere decir que para el peor de los casos, las diferencias de viscosidad al realizar agitaciones de siete minutos con ciclos dentro de las cuatro y ocho horas se mantendrá entre magnitudes de 222.47 cP y 472.47 cP. Lo anterior está por debajo de los 500 cP definidos en las métricas de validación.

De igual manera que para la sección anterior de la máxima temperatura, cómo se verá más adelante en este proceso de validación, el sistema es capaz de permitir el control de los tiempos de agitación y ciclos de operación, además de brindar una referencia para la operación del sistema, debido a estas características se determina que el sistema es capaz de cumplir con las necesidades del cliente en términos de las diferencias de viscosidad del Plastisol en el tanque y su magnitud.

7.1.1.5 Eventos de tiempo no productivo

Para realizar la validación de los eventos de Tiempo No Productivo referentes al reprocesamiento del Plastisol por la no homogenización del producto se obtuvo información directa del cliente, el cual indicó que mensualmente en promedio se pueden llegar a tener hasta 10 eventos solo por este factor.

Cómo se ha mencionado en este capítulo, el experimento realizado determina que al utilizar tiempos de agitación y de ciclo adecuados en los tanques, el producto se mantiene dentro de los rangos que los laboratoristas indican como un resultado homogéneo.

Si se mantiene un producto homogéneo en los tanques de almacenamiento, la cantidad de reprocesamientos del color debido a la diferencia de viscosidades entre la sección superior e inferior del tanque se verían disminuidos de forma significativa, ya que la única causa para esta clase específica de evento es la no homogeneidad del producto.

Asumiendo una correcta operación del sistema con los tiempos indicados en la referencia de funcionamiento de la propuesta de diseño para mantener la homogeneidad, se asume que los eventos de Tiempo No Productivo se reducirán a cero para esta clase en específico, esto porque en la sección del área de masas existen otros factores que involucran maquinaria adicional que pueden generar eventos, pero que salen de los alcances de este proyecto.

Reduciendo la cantidad de reprocesos de esta manera se determina que el sistema es capaz de cumplir con el requerimiento del cliente dentro de sus criterios ideales para este parámetro.

7.1.2 Capacidades de control

Las capacidades de control toman como referencia principal la operación de la simulación del sistema diseñada, se puede revisar el funcionamiento del sistema en el manual de usuario presentado en el Apéndice B.5.

7.1.2.1 Ciclos de trabajo y tiempos de batido

La validación del control de los ciclos de trabajo y tiempos de batido del Plastisol se evidencia en el segmento “Operación de los tanques” descrito en la configuración del PLC de la propuesta de diseño, en este segmento se presentan las Figuras 5.3a y 5.3c, donde se señala en círculos rojos el “Temporizador de ciclo” y el “Temporizador de agitación”.

Cada uno de los diez tanques de la planta de Proquinal tiene asignados estos dos tipos de temporizadores, que operan de forma independiente (se puede asignar a cada tanque tiempos distintos), al correr el programa los temporizadores inician apagados y esperan un valor de tiempo, que se asigna mediante la interfaz de usuario, cuando un tanque es encendido, su accionamiento depende de los valores ingresados, encendiendo los motores de los tanques de forma continua durante el tiempo de agitación y apagándolos durante los ciclos ingresados.

En el mismo capítulo referenciado anteriormente se presenta la configuración de la HMI para el control de los tanques donde pueden notarse los espacios para ingresar los valores de tiempo descritos. La interfaz requiere una asignación en minutos del programa del ciclo y en segundos para programar la agitación (ver Figura 5.15), además al encender el tanque se presenta el tiempo transcurrido de cada uno de estos parámetros, con el fin de poder conocer cuánto es el tiempo faltante para que el tanque inicie su siguiente operación.

Por lo anterior se considera satisfecha la capacidad de controlar los tiempos de agitación y de ciclo de los tanques de Plastisol, ya que estos pueden ser ingresados por el usuario mediante la interfaz diseñada y la operación del tanque depende de estos parámetros.

7.1.2.2 Control automático y manual

Uno de los deseos del cliente respecto al sistema consistía en mantener la operación manual, que es configurada mediante el sistema de perillas mostrado en la Figura 1.4, para cumplir con esta necesidad se hace uso del interruptor de llavín que se ve en la misma figura en la parte superior derecha, con este puede interrumpirse o accionarse el funcionamiento del modo manual o el automático.

Internamente en el panel de control de los tanques se cuenta con un conjunto de relés mostrados en la Figura 1.5 en la parte superior derecha de la imagen, con estos se realiza una interrupción de cada uno de los modos de activación evitando la interferencia de estos, estas conexiones se encuentran en el panel debido a que previamente existía un sistema de control

automático, pero debido a la antigüedad de este fue desinstalado y desechado de la planta, sin dejar ninguna clase de registro o plano de conexión.

Debido a esto, para el desarrollo de este documento fue necesario el aporte de uno de los técnicos de mantenimiento de la planta para presentar las conexiones de los equipos mostradas en el capítulo 6 “Guía de instalación”, para obtener un resultado que no interfiera con el funcionamiento de la operación manual de los motores.

En la Figura 6.7 del capítulo indicado se muestra el diagrama de conexiones de las entradas del PLC, en la sección “Señal de entrada de activación del modo automático” en la parte inferior derecha de la imagen se muestra cómo se utiliza un relé con entrada de 120 V AC y salida de 24 V DC para el envío de una señal de entrada al PLC.

Esta señal de configuración es utilizada para la activación de los bloques de función descritos en la propuesta de solución en el segmento “Configuración del PLC” como se muestra en la Figura 7.2, esta señal deshabilita la operación del sistema automático, lo que permite que puedan controlarse los tanques con el modo manual.

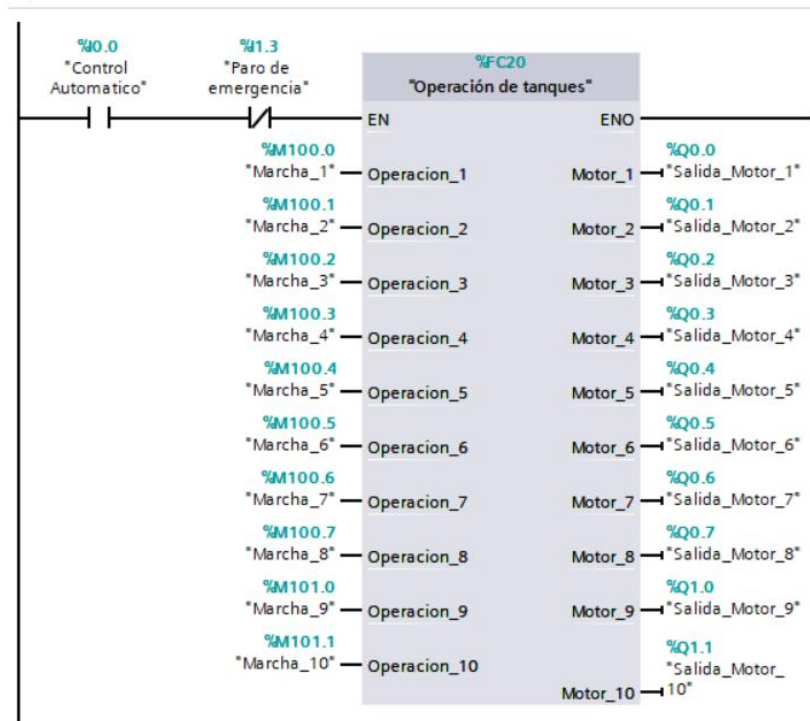


Figura 7.2. Uso de la señal de control automático en el sistema de control.

Debido a la capacidad del sistema presentada se considera satisfecha la capacidad de este de poder utilizar el modo manual y automático, cumpliendo la capacidad de control y por ende la necesidad del cliente.

7.1.2.3 Control individual

Como se ha descrito en este capítulo cada tanque fue diseñado con sus propios contadores y lógica de funcionamiento a modo de replicación, con un único enlace en el secuenciador de los tanques para evitar el encendido de estos en el mismo instante con el fin de evitar saturar la red de alimentación.

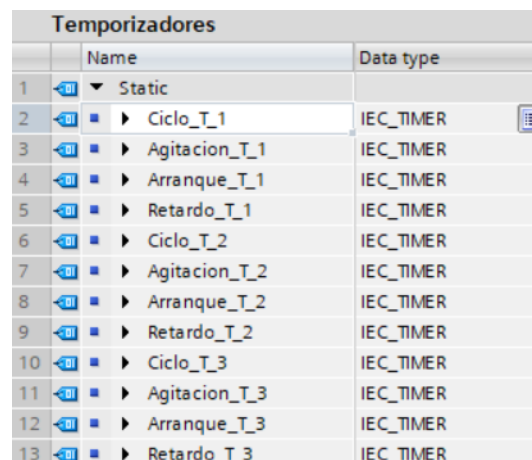
En la propuesta de diseño, en la sección de operación de los tanques se muestran un conjunto de imágenes que describen cada etapa del proceso mediante diagramas de flujo y los bloques funcionales, el programa del PLC cuenta con una replicación de estas lógicas para permitir controlar cada tanque de manera individual con sus propias variables. Las redes lógicas del programa en lenguaje LAD que consisten en la replicación del programa de control de los tanques se muestran en la Figura 7.3.



▶ Block title:	Operación de Tanques
▶ Network 1:	Tanque_1
▶ Network 2:	Tanque_2
▶ Network 3:	Tanque_3
▶ Network 4:	Tanque_4
▶ Network 5:	Tanque_5
▶ Network 6:	Tanque_6
▶ Network 7:	Tanque_7
▶ Network 8:	Tanque_8
▶ Network 9:	Tanque_9
▶ Network 10:	Tanque_10
▶ Network 11:	Secuenciador

Figura 7.3. Redes de control de los tanques de agitación para su operación independiente.

De igual manera a modo de ilustrar este control independiente la Figura 7.4 muestra las variables de temporización de algunos de los tanques.



	Name	Data type
1	Static	
2	▶ Ciclo_T_1	IEC_TIMER
3	▶ Agitacion_T_1	IEC_TIMER
4	▶ Arranque_T_1	IEC_TIMER
5	▶ Retardo_T_1	IEC_TIMER
6	▶ Ciclo_T_2	IEC_TIMER
7	▶ Agitacion_T_2	IEC_TIMER
8	▶ Arranque_T_2	IEC_TIMER
9	▶ Retardo_T_2	IEC_TIMER
10	▶ Ciclo_T_3	IEC_TIMER
11	▶ Agitacion_T_3	IEC_TIMER
12	▶ Arranque_T_3	IEC_TIMER
13	▶ Retardo_T_3	IEC_TIMER

Figura 7.4. Variables de temporización de los tanques 1, 2 y 3 del sistema de control.

Al contar con variables definidas de forma independiente y un conjunto de redes lógicas individuales para cada tanque, el control de cada motor ocurre de manera aislada pudiendo controlar sus tiempos de agitación y ciclos de forma que no afecte la operación de los demás equipos, el resultado de esto se muestra en la Figura 5.13 de la propuesta de diseño en la configuración del HMI, donde cada tanque permite una configuración propia.

Con lo anterior se determina que cada uno de los tanques de agitación presenta un comportamiento independiente, lo cual satisface la necesidad descrita por el cliente y cumple con la capacidad de control del sistema definida en las métricas.

7.1.2.4 Medición de temperatura

La medición de la temperatura en los tanques de agitación corresponde a una capacidad del sistema que se encontró condicionada a los resultados que arrojara el experimento que fue descrito en el capítulo 4, en este experimento se determinó que la temperatura no corresponde a un parámetro crítico de la sustancia, siempre y cuando se mantenga dentro de los rangos de tiempo que fueron evaluados (los cuales, según los resultados son suficientes para obtener un producto homogéneo).

La medición de la temperatura ideal de la sustancia según las métricas definidas debe encontrarse por debajo de los 38 °C, mientras que los resultados del experimento indican que con la agitación de 7 minutos con ciclos entre 4 y 8 horas no aumenta de los 31 °C, esto implica un rango de seguridad muy amplio en términos de temperatura para la sustancia y fue determinante para la evaluación del uso de un sensor de temperatura.

Debido al margen de seguridad descrito y que el uso de un dispositivo de esta clase aumentaría los costos del sistema para un parámetro que no fue evaluado como crítico a partir de los resultados experimentales, se descartó el uso de un sensor de temperatura, por lo cual el sistema no cumple con la capacidad de control de su medición.

Sin embargo, en las métricas definidas para esta capacidad, el cliente considera aceptable un equipo que no realice una medición de la temperatura ya que, si bien el Plastisol puede sufrir daños al calentarse por encima de los 43 °C, para llegar a esta temperatura son requeridos tiempos de agitación que se encuentran muy por encima de los utilizados en el experimento.

Con lo anterior se determina que la capacidad de control de medición de temperatura no se cumple, pero se justifica su no realización a partir de resultados experimentales, costos en el sistema y a la aceptación del cliente de un sistema que no realice esta función.

7.1.2.5 Control remoto

Para el cumplimiento del acceso remoto al sistema de control y monitorización se evaluaron múltiples opciones comerciales disponibles para la conexión del PLC Siemens seleccionado, múltiples de estas opciones consistían en adquirir equipos de terceros con licencias mensuales o anuales, que aumentaban los costos de la solución e incorporaban un cargo fijo a la empresa que a largo plazo podría significar una inversión elevada en la solución.

La opción seleccionada para el acceso remoto consiste en la utilización de las herramientas que el mismo Siemens brinda para los usuarios, ya que al adquirir una HMI de la clase Comfort se obtiene a la vez una licencia para el acceso al servicio de Sm@rtServer, el cual genera una conexión segura por VNC al HMI a partir de cualquier equipo conectado a la misma red.

El proceso de habilitar, crear, configurar y acceder al servidor se muestra en el capítulo 6 “Guía de instalación” en su segmento de configuración del acceso remoto, aquí se muestra paso a paso las acciones que deben realizarse en los equipos para llegar a tener un dispositivo conectado a la misma red de la HMI mediante VNC, admitiendo desde dispositivos móviles hasta equipos fijos.

El acceso mediante Sm@rtServer es el más recomendado por Siemens para sus equipos y no incorpora cargos fijos debido a que estos se ven costeados en la compra de los dispositivos, lo cual genera una inversión inicial ligeramente más elevada pero que no aumenta con el tiempo. Con esta configuración presentada se determina que se cumple la capacidad de control del acceso remoto a los equipos, además de mantener la seguridad de este acceso, lo cual cumple la métrica planteada para el sistema y satisface la necesidad del cliente.

7.1.2.6 Notificaciones

El control de notificaciones fue configurado en el sistema de monitorización y consiste principalmente en las variaciones visibles de los parámetros de los tanques de agitación en la HMI. En el segmento de configuración del HMI de la propuesta de diseño se describe como varían los colores y letras del dispositivo para indicar a los usuarios las operaciones actuales de cada motor.

Además, la configuración del PLC desarrollada en el mismo capítulo describe como se ha configurado para cada tanque la obtención de la confirmación por parte de sus arrancadores y como estos levantan banderas de alerta en el HMI para indicar una operación incorrecta.

Con lo anterior se considera a las notificaciones conformadas por la variación de colores y letras de los equipos en la interfaz para cada tanque y la generación de alarmas para la indicación de una incorrecta operación de los equipos. Debido a que se estima que estos indicadores corresponden a los de mayor importancia para el cliente según sus necesidades, se determina satisfecha la capacidad de control sobre la generación de notificaciones, descrita en las métricas definidas.

7.2 Análisis económico

Para el desarrollo del análisis económico se generó en primera instancia, un desglose de los costos del proyecto a partir de cotizaciones obtenidas con distribuidores nacionales, con el fin de obtener una referencia del costo real, este desglose se presenta en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Desglose de costos del sistema de control y monitorización del Plastisol.

Parte	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
6ES72141AG400XB0	SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, COMPACT CPU, DC/DC/DC,	1	\$500.90	\$500.90
6EP13321SH71	SIMATIC S7-1200POWER MODULE PM1207	1	\$138.35	\$138.35
MV1033	RIEL DIN DE ACERO GALVANIZADO PERFORADO 35X7.5MM X 1M SIBOX	1	\$5.53	\$5.53
6GK72771AA100AA0	COMPACT SWITCH MODULE CSM 1277 PARA CONECTAR SIMATIC S7-1200 Y HASTA 3 DISPOSITIVOS MÁS A INDUSTRIAL ETHERNET	1	\$235.66	\$235.66
6AV21240GC010AX0	SIMATIC HMI TP700 COMFORT, COMFORT PANEL	1	\$1,415.07	\$1,415.07
FAZ-C4/1	DISYUNTOR PARA RIEL DIN, 1 P, CURVA C, 6KAIC, 4 A	1	\$21.70	\$21.70
XRU1D24U	RELÉ DE CONTROL 1PDT, 6 AMPERIOS, VOLTAJE 24VAC/VDC	10	\$14.46	\$144.62
XRU2D120U	RELÉ DE CONTROL 2PDT, 6 AMPERIOS, VOLTAJE 120VAC/110VDC	1	\$18.02	\$18.02
M22-PVT-K01	BOTÓN DE PARO DE EMERGENCIA COMPLETO ROJO, CONTACTOS 1 N.C	1	\$24.79	\$24.79
NSYCRN43200P	GABINETE METÁLICO IP66 400X300X200 MM C/FONDO FALSO	1	\$76.68	\$76.68
AP-16-500R	METRO DE CABLE ROJO ESTANDAR CALIBRE 16 AWG	60	\$0.55	\$33
AP-16-500N	METRO DE CABLE NEGRO ESTANDAR CALIBRE 16 AWG	60	\$0.55	\$33
1 MT CAT5e	CABLE DE CONEXIÓN ETHERNET RJ45 DE 1 METRO	2	\$1.75	\$1.75
3 MT CAT5e	CABLE DE CONEXIÓN ETHERNET RJ45 DE 3 METRO	2	\$2.95	\$2.95
M6 X 20	TORNILLO MILIMÉTRICO DE 6 MM X 20 MM	4	\$1.21	\$4.84
M10 X 50	TORNILLO MILIMÉTRICO DE 10 MM X 50 MM	4	\$4.73	\$18.92
Tuerca M6	TUERCA M6 MILIMÉTRICA BICROMATIZADA	4	\$0.013	\$0.052
Tuerca M10	TUERCA M10 MILIMÉTRICA BICROMATIZADA	4	\$0.082	\$0.328
Arandela M10	ARANDELA M10 GALVANIZADA	4	\$0.026	\$0.104
Subtotal de materiales	-	-	-	\$2,676.26
Imprevistos	-	15%	\$401.44	\$401.44
Subtotal de imprevistos	-	-	-	\$401.44
Tiempo de diseño (h)	-	400	\$6.16	\$2,464.00
Subtotal de diseño	-	-	-	\$2,464.00
Total	-	-	-	\$5,541.70

Posterior a la generación del desglose presentado se procede a tomar parte de la información obtenida en la entrevista realizada al cliente mostrada en el Apéndice B.1, además de obtener información de otras personas a cargo del área de masas y sus operarios, con el fin de poder estimar la cantidad de horas que el sistema de control y monitorización ahorra para determinar la reinversión a otras actividades beneficiosas para la empresa y del ahorro energético generado para el caso donde 4 tanques pueden ser encendidos en el mismo instante como evento mensual. Mediante la información descrita se presenta la Tabla 7.2 con las fuentes de tiempo de reinversión que proyecta el sistema.

Tabla 7.2. Cantidad de horas y kilowatts por mes a reinvertir para cada actividad establecida.

Tipo de actividad	Descripción	Ahorro en horas por mes
Reproceso por sustancia no homogénea	Al no agitar el Plastisol de manera regular se generan diferencias de color entre la sección superior e inferior del tanque, lo que requiere reproceso.	5
Desplazamiento de operarios	Debido a que el sistema es manual los operarios deben desviarse de sus labores para encargarse de encender los tanques y mantener homogéneo el producto	4.8
Total de horas	-	9.8
Tipo de actividad	Descripción	Ahorro energético (en kW, evaluado como evento mensual para facturación de energía eléctrica)
Encendido simultáneo	Encendido de tanques de manera simultánea tomando como referencia el caso de 4 tanques (siendo este uno de los peores casos descrito por el cliente).	184.4192
Total de potencia	-	184.4192

Por último, se procede con la realización de un estudio que incluye los costos de los materiales del proyecto, la inversión generada para su diseño y el valor de ahorro a partir del 2022, considerando la relación de las horas de ahorro y potencia mensual con el valor aproximado de una hora de operario y el costo por potencia por kilowatt del ICE. En primera instancia, se muestran los supuestos considerados para este cálculo en la Tabla 7.3 y en la Tabla 7.4 se presenta el análisis realizado. Finalmente la Tabla 7.5 muestra los indicadores determinados a partir del estudio económico.

Tabla 7.3. Supuestos para el estudio económico de retorno de la inversión.

Supuesto	Valor
Impuestos	0% (Zona Franca)
Tasa de descuento	15%
Periodo para estudio	5 años

Tabla 7.4. Estudio económico de cinco años para el cálculo de retorno de inversión y valor actual neto.

ROI (Basado en valor actual neto, \$)		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total	VA
Beneficios	Tipo de ahorro	\$0.00	\$9,680.48	\$9,703.90	\$9,728.49	\$9,754.31	\$9,781.42	\$0.00	\$48,648.59	\$32,592.13
Horas ahorradas para reinversión	Horas operario	\$0.00	\$468.39	\$491.81	\$516.40	\$542.22	\$569.33			
Horas ahorradas para reinversión	Horas máquina	\$0.00	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3,000.00			
Potencia ahorrada para reinversión	Kilowatts	\$0.00	\$6,212.09	\$6,212.09	\$6,212.09	\$6,212.09	\$6,212.09			
Costo del proyecto	Tipo de inversión	\$11,500.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$0.00	\$12,500.00	\$12,170.43
Inversión inicial y Mantenimiento anual	Capital inicial	\$2,676.26	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00		\$3,676.26	\$3,346.69
Imprevistos	Capital inicial	\$401.44							\$401.44	\$401.44
Costo de tiempo de diseño	Horas trabajadas	\$2,464.00							\$2,464.00	\$2,464.00
Ganancia SMET	Contratista	\$5,958.30							\$5,958.30	\$5,958.30
IMPUESTOS		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Cambio de capital de trabajo									\$0.00	\$0.00
Flujo de caja neto		-\$11,500.00	\$9,480.48	\$9,503.90	\$9,528.49	\$9,554.31	\$9,581.42	\$0.00	\$36,148.59	\$20,421.70
Flujo de caja neto descontado		-\$11,500.00	-\$3,256.11	\$3,930.20	\$10,195.34	\$15,658.05	\$20,421.70	\$0.00		\$20,421.70
Valor Actual Neto (\$)		\$20,421.70								

Tabla 7.5. Indicadores y cálculo de retorno total sobre la inversión.

Beneficio Total	\$48,648.59
Costo Total	\$12,500.00
Retorno Total	\$36,148.59
VAN (Después de impuestos)	\$20,421.70
TIR	78%
ROI	289%
Recuperación de inversión (Años)	1

Como se evidencia en el estudio económico, el proyecto en cuestión brinda proyecciones deseables, donde se presenta un Valor Actual Neto superior a los 20 mil dólares, por otra parte el retorno de la inversión corresponde a un 289%, es decir, casi tres veces la inversión inicial y esta inversión será recuperada luego del transcurso de un año posterior a la implementación del sistema.

8 Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- En este documento se ha desarrollado un proceso de diseño de ingeniería que ha generado una propuesta de solución enfocada en el cumplimiento de los requerimientos de la empresa Proquinal como cliente para controlar y monitorizar los tanques de almacenamiento de Plastisol.
- Se ha realizado una selección de componentes para el diseño de la solución capaces de brindar confiabilidad, seguridad y durabilidad del sistema con el fin de mantener un elevado grado de calidad en términos generales.
- Se desarrolló un sistema de control que permite asignar los tiempos de agitación y de ciclo de los tanques de almacenamiento de forma independiente y secuenciada, con una lógica de horario restringido global para el sistema, capaz de disminuir el consumo energético.
- El control automatizado del sistema permite disminuir el tiempo de desplazamiento de operarios de sus labores para encender los tanques (lo que implica unas 64 horas al año), además del tiempo de reproceso del Plastisol (1.5 horas aproximadamente por evento), debido a las variaciones de color que puedan presentarse en las secciones superior e inferior y el tiempo de paro de la máquina generadora de vinilo.
- El diagrama de conexiones diseñado no presenta interferencia con el control manual de los tanques de almacenamiento, permitiendo al cliente realizar el encendido de los motores de los tanques de la manera que más le convenga.
- Se desarrolló un sistema de monitorización con una interfaz de usuario de fácil uso para los operarios a cargo del área de masas de Proquinal, capaz de ser accesado de forma remota con una conexión segura según garantiza Siemens en su servicio de Sm@rtServer.
- Mediante los resultados experimentales obtenidos se logró definir un tiempo de agitación (7 minutos) y de ciclo (entre 4 y 8 horas) para los tanques de almacenamiento de Plastisol que garantiza un producto de carácter homogéneo (diferencias de viscosidad entre secciones de los tanques siempre menores a 500 cP), disponible durante todo el tiempo de permanencia en el tanque y a una temperatura lejana a la de quemado (siempre bajo los 31°C) del Plastisol, este experimento tiene como base un conjunto de 144 muestras de Plastisol extraídas y medidas por personal calificado de la planta.
- A partir de la configuración del secuenciador de los tanques en el PLC se reduce el pico máximo generado por el área de masas en la planta (menor a los 70 kW para dos tanques), lo que contribuye con el tiempo de vida útil de la red de alimentación y reduce el costo energético en la facturación mensual (hasta \$6000 dólares anuales).
- Se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema diseñado para la verificación de las capacidades de control descritas, obteniendo como resultado que pueden manipularse los temporizadores de operación de forma independiente, el encendido y apagado del sistema ocurre bajo consideraciones de seguridad y que se generan las alarmas necesarias para indicar una operación correcta del sistema.

- Según los resultados experimentales obtenidos la temperatura no es un elemento crítico como se consideró al iniciar el proyecto siempre y cuando los tiempos de agitación y de ciclo se mantengan dentro de los límites del experimento.
- Se han validado las métricas extraídas de las necesidades del cliente tanto para los parámetros medibles como para las capacidades de control mediante los resultados obtenidos de las pruebas de la simulación e información obtenida directamente del cliente.
- En el análisis económico se ha planteado un costo fijo por mantenimiento anual (\$200), este corresponde a una revisión general y limpieza del equipo necesarios para mantener el sistema operando de forma regular o a modo de prevención ante eventualidades en la planta.
- El retorno de la inversión a cinco años es del 289% lo que da a entender que el proyecto desarrollado presenta características económicas deseables para la empresa.
- El tiempo de recuperación de la inversión es de un año, lo cual según el cliente es un valor adecuado para un proyecto de esta magnitud ante la inversión por realizar.

8.2 Recomendaciones

- Al tener el sistema montado en la planta operando se considera fundamental realizar una capacitación detallada para las personas involucradas en la manipulación de los tanques, con el fin de que se aproveche esta herramienta de forma completa, represente una ayuda a los operarios y que se entienda la importancia de una correcta definición de los tiempos de agitación y de ciclo como se ha mencionado de forma constante en este documento.
- Las pruebas que se han llevado a cabo con el Plastisol fueron realizadas por intervalos limitados de tiempo, por esto se recomienda monitorizar la sustancia durante los primeros ciclos de operación del sistema una vez ensamblado.
- Se recomienda que al generar las contraseñas tanto del servidor remoto como de ingreso al sistema se declaren credenciales seguras y estas sean almacenadas en lugares adecuados, para evitar el ingreso de personal no autorizado a los sistemas de control.
- Si bien la instalación del gabinete de montaje dependerá de la disponibilidad de espacio en la planta y este será decidido por personal a cargo del área, se recomienda realizar su instalación a una distancia mínima de dos metros de los tableros de distribución para evitar interferencias entre señales de alimentación, control y red.
- Se recomienda hacer uso de los resultados experimentales obtenidos con ciclos de trabajo entre cuatro y ocho horas, además de agitaciones de siete minutos para mantener la viscosidad del Plastisol dentro de los rangos aceptables, con una disponibilidad constante.
- Una vez instalado el sistema se recomienda utilizar el modo manual para la realización de pruebas, limpiezas o llenado de los tanques que ocurren de forma irregular, pero durante la operación normal se recomienda el uso del modo automático ya que mantendrá las condiciones esperadas del Plastisol durante la operación regular de la planta.

9 Referencias bibliográficas

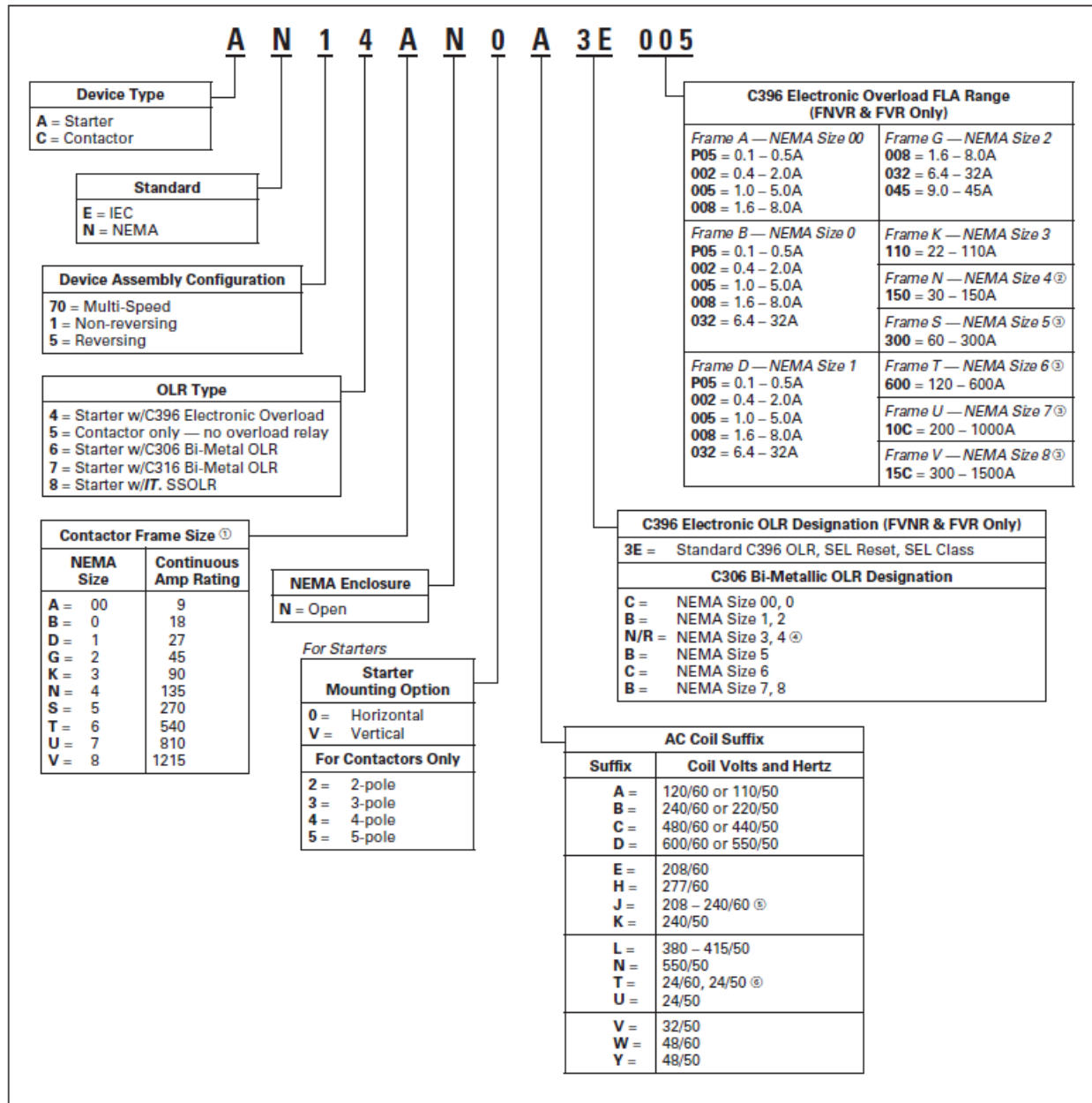
- [1] I. Fischer, W. F. Schmitt, H.-C. Porth, M. W. Allsopp, and G. Vianello, “Poly (Vinyl Chloride),” in *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014, pp. 1–30. doi: 10.1002/14356007.a21_717.pub2.
- [2] H. Sarvetnick, *Plastisols and Organosols*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1972.
- [3] J. Kern and J. Darby, *Technology of Plasticizers (Spe Monographs)*. New York: Wiley-Interscience, 1982.
- [4] N. Nakajima and E. R. Harrell, “Rheological observation of gelation and fusion process of poly (vinyl chloride) plastisol,” *Advances in Polymer Technology*, vol. 6, no. 4, 1986, doi: 10.1002/adv.1986.060060402.
- [5] grupoice, “SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN,” 195, Sep. 2021. <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/Tarifas+actuales.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mhcXWgT> (Accesado oct. 23, 2021).
- [6] S. J. Chapman, *MÁQUINAS ELÉCTRICAS 5ta Edición*, vol. 5. 2012.
- [7] “ARRANQUE DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN,” Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Accesado: Sep. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.die.eis.uva.es/~daniel/docencia/te/TEIQPractica9-2008.pdf>
- [8] “Motores Trifásicos.” Accesado: Sep. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/5204630/1_SIEMENS_MOTORES_TRIFASICOS_PDF
- [9] E. Odunlade, “Microcontroller vs PLC: A Detailed Comparison,” *CircuitDigest*, Oct. 2018. <https://circuitdigest.com/article/microcontroller-vs-plc-detailed-comparison-and-difference-between-plc-and-microcontroller> (Accesado Ago. 27, 2021).
- [10] “Qué es una placa SBC o Single Board Computer,” *DescubreArduino*. <https://descubrearduino.com/sbc/> (Accesado ago. 27, 2021).
- [11] “Python,” *Codecademy*, 2021. <https://www.codecademy.com/catalog/language/python> (Accesado Ago. 27, 2021).
- [12] Albatross, “A Brief Description of Cplusplus,” *Cplusplus*. <https://www.cplusplus.com/info/description/> (Accesado Ago. 27, 2021).
- [13] “5 Lenguajes De Programación Para PLC,” *SEIKA*. <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-plc/> (Accesado Sep. 19, 2021).
- [14] “La plataforma de TeamViewer,” *TeamViewer*, 2021. <https://www.teamviewer.com/es-mx/> (Accesado ago. 27, 2021).

- [15] “Acceso remoto (VPN),” *IXON*, Accedido: ago. 29, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ixon.cloud/es/plataforma-de-iiot/productos-de-conectividad/ixrouter-pasarela-edge>
- [16] “VNC Viewer: Descubrir,” *RealVNC*, 2021. <https://www.realvnc.com/es/connect/download/viewer/> (Accesado ago. 27, 2021).
- [17] “RELES,” *Area Tecnologia*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html> (Accesado Ago. 27, 2021).
- [18] Electrical Technology, “Different Types Of Relays, Their Construction, Operation & Applications,” *Electrical Technology*, 2021. <https://www.electricaltechnology.org/2018/12/what-is-relay-different-types-of-relays-its-operation-applications.html>
- [19] R. Estrada, “Optoacoplador, que es y cómo funciona,” *HETPRO*.
- [20] “El sensor de temperatura,” *Rechner Sensors*. <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura> (Accesado ago. 27, 2021).
- [21] “Honeywell 590-59AR19-103,” *Mouser Electronics*. <https://www.mouser.co.cr/ProductDetail/Honeywell/590-59AR19-103?qs=sGAEpiMZZMv1xWCHBjbGeVy%2FjMQIuiTrGZu7qxuzO50%3D> (Accesado Ago. 27, 2021).
- [22] J. Mariño, “Módulo 1. Sesión 8: Elementos fundamentales de Diseño de Experimentos (I),” *Tecnológico de Costa Rica*. Cartago, 2021.
- [23] J. Amat, “ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias,” *Ciencia de datos*, Ene. 2016.
- [24] “Ejemplo de ANOVA de un solo factor,” *Soporte Minitab*. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/how-to/one-way-anova/before-you-start/example/> (Accesado Sep. 19, 2021).
- [25] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, vol. 5, no. 1. 2017.
- [26] Siemens, “6GK7277-1AA10-0AA0,” 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.siemens.com/snst>
- [27] EATON, “Control Relays & Timers 3 XR Series Terminal Block Relays Standard Product Description,” 2009. [En línea]. Disponible en: www.EatonCanada.ca
- [28] EATON, “FAZ Series Supplementary Protector.”
- [29] EATON, “Comando y Señalización.” [En línea]. Disponible en: www.eaton.com
- [30] Schneider Electric, “Ficha técnica del producto Características NSYCRN43200 Puerta ciega Spacial CRN sin placa de montaje Al 400 x An 300 x L 200 IP66 IK10.”

- [31] Siemens, “Sm@rt Client Lite,” *Google Play*. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.siemens.smartclient_lite&hl=es&gl=US
- [32] EATON, “NEMA Contactors & Starters,” 2007. [En línea]. Disponible en: www.eaton.com
- [33] “Motor Control and Protection,” *EATON*, vol. 5. 2013.
- [34] Siemens, “6ES7214-1AG40-0XB0,” Hoja de datos, Ene. 2021. <https://docs.rs-online.com/4ed5/0900766b81397276.pdf>
- [35] Siemens, “6AG1124-0GC01-4AX0,” Hoja de datos, nov. 2017. <https://icdn.tradew.com/file/201606/1569362/pdf/7092963.pdf>
- [36] Siemens, “6EP1332-1SH71,” *Hoja de datos*, abr. 2020. <https://www.alliedelec.com/m/d/396bf43548a0831bed8287c0ce6a883b.pdf>.
- [37] Siemens, “ES_6ES5710-8MA11,” Hoja de datos, ago. 2020. https://www.electricalautomationnetwork.com/PDF/PIM/SIE/ES_6ES5710-8MA11.pdf

A Anexos

A.1 Características eléctricas de los contactores AN16GN0



① For Contactor Only orders, add **B** to end of Catalog Number if NEMA Size 00 – 2, 6.

② 3E, 4E feature set only.

③ Uses CT with C396 45 mm OLR, 3E, 4E feature set only.

④ Not required.

⑤ NEMA Sizes 00 and 0 only.

⑥ NEMA Sizes 00 and 0 only. Sizes 1 – 8 are 24/60 only.

Figura A.1.1. Sistema de numeración de contactores Freedom. Fuente: [32]

NEMA Size	Continuous Ampere Rating	Service-Limit Current Rating ^③ (Amperes)	Maximum UL Horsepower ^②						3-Pole Non-reversing ^①		3-Pole Reversing ^①	Vertical Reversing ^①	Price U.S. \$
			1-Phase		3-Phase				Catalog Number	Price U.S. \$	Catalog Number	Catalog Number	
			115V	230V	208V	240V	480V	600V					
00	9	11	1/3	1	1-1/2	1-1/2	2	2	AN16AN0_C		AN56AN0_C	—	
0	18	21	1	2	3	3	5	5	AN16BN0_C		AN56BN0_C	AN56BNV0_	
1	27	32	2	3	7-1/2	7-1/2	10	10	AN16DN0_B		AN56DN0_B	AN56DNV0_	
2	45	52	3	7-1/2	10	15	25	25	AN16GN0_B		AN56GN0_B	AN56GNV0_	
3	90	104	—	—	25	30	50	50	AN16KN0_		AN56KN0_	AN56KNV0_	
4	135	156	—	—	40	50	100	100	AN16NN0_		AN56NN0_	AN56NNV0_	
5	270	311	—	—	75	100	200	200	AN16SN0_B		AN56SN0_B	—	
6	540	621	—	—	150	200	400	400	AN16TN0_C		AN56TN0_C	—	
7	810	932	—	—	200	300	600	600	AN16UN0_B		AN56UN0_B	—	
8 ^④	1215	1400	—	—	400	450	900	900	AN16VN0_B		AN56VN0_B	—	

Note: Starter Catalog Numbers do not include heater packs. Select one carton of three heater packs. Heater pack selection, **Pages 33-117 – 33-118.**

① Underscore (_) indicates coil suffix required, see **Table 33-102.**

② Maximum horsepower rating of starters for 380V 50 Hz applications:

NEMA Size	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Horsepower	1-1/2	5	10	25	50	75	150	300	600	900

③ The service-limit current ratings represent the maximum rms current, in amperes, which the controller shall be permitted to carry for protracted periods in normal service. At service-limit current ratings, temperature rises shall be permitted to exceed those obtained by testing the controller at its continuous current rating. The current rating of overload relays or trip current of other motor protective devices used shall not exceed the service-limit current rating of the controller.

④ Common control. For separate 120V control, insert letter **D** in 7th position of listed Catalog Number. EXAMPLE: AN56VND0CB.

Figura A.1.2. Especificación de los contactores AN16GN0. Fuente: [18].

A.2 Especificación técnica del 6ES7214-1AG40-0XB0 (PLC 1214)



Figura similar

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta DC/DC/DC, E/S INTEGRADAS: 14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0-10V DC, alimentación: DC 20,4-28,8V DC, Memoria de programas/datos 100 KB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1214C DC/DC/DC
Versión de firmware	V4.5
Ingeniería con	
<ul style="list-style-type: none"> Paquete de programación 	STEP 7 V17 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V DC 	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Protección contra inversión de polaridad	Sí
Tensión de carga L+	
<ul style="list-style-type: none"> Valor nominal (DC) Rango admisible, límite inferior (DC) Rango admisible, límite superior (DC) 	24 V 20,4 V 28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	500 mA; Solo CPU
Consumo, máx.	1 500 mA; CPU con todos los módulos de ampliación
Intensidad de cierre, máx.	12 A; con 28,8 V
I^2t	0,5 A ² ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V 	L+ menos 4 V DC mín.
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	12 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
<ul style="list-style-type: none"> integrada ampliable 	100 kbyte No
Memoria de carga	
<ul style="list-style-type: none"> integrada enchufable (SIMATIC Memory Card), máx. 	4 Mbyte con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
<ul style="list-style-type: none"> existente libre de mantenimiento sin pila 	Sí Sí Sí

Figura A.2.1. Primera parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,08 µs; /instrucción
para operaciones a palabras, típ.	1,7 µs; /instrucción
para aritmética de coma flotante, típ.	2,3 µs; /instrucción
CPU-bloques	
Nº de bloques (total)	DBs, FCs, FBs, contadore y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables es de 1 a 65535. No hay ninguna restricción, uso de toda la memoria de trabajo
OB	
• Número, máx.	Limitada únicamente por la memoria de trabajo para código
Áreas de datos y su remanencia	
Área de datos remanentes (incl. temporizadores, contadores, marcas), máx.	14 kbyte
Marcas	
• Tamaño, máx.	8 kbyte; Tamaño del área de marcas
Datos locales	
• por cada prioridad, máx.	16 kbyte; Clase de prioridad 1 (ciclo de programa): 16 kbyte, clase de prioridad 2 a 26: 6 kbytes
Área de direcciones	
Imagen del proceso	
• Entradas, configurables	1 kbyte
• Salidas, configurables	1 kbyte
Configuración del hardware	
Nº de módulos por sistema, máx.	3 Communication Module, 1 Signal Board, 8 Signal Module
Hora	
Reloj	
• Reloj de hardware (en tiempo real)	Sí
• Duración del respaldo	480 h; típicamente
• Desviación diaria, máx.	±60 s/mes a 25 °C
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	14; integrado
• De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	6; HSC (High Speed Counting)
Fuente/sumidero (M/P)	Sí
Número de entradas atacables simultáneamente	
Todas las posiciones de montaje	
— hasta 40 °C, máx.	14
Tensión de entrada	
• Valor nominal (DC)	24 V
• para señal "0"	5 V DC, con 1 mA
• para señal "1"	15 V DC at 2,5 mA
Retardo a la entrada (a tensión nominal de entrada)	
para entradas estándar	
— parametrizable	0,2 ms, 0,4 ms, 0,8 ms, 1,6 ms, 3,2 ms, 6,4 ms y 12,8 ms, elegible en grupos de 4
— en transición "0" a "1", máx.	0,2 ms
— en transición "0" a "1", máx.	12,8 ms
para entradas de alarmas	
— parametrizable	Sí
para funciones tecnológicas	
— parametrizable	Monofásica: 3 @ 100 kHz y 3 @ 30 kHz, Diferencial: 3 @ 80 kHz y 3 @ 30 kHz
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	500 m; 50 m para funciones tecnológicas
• no apantallado, máx.	300 m; para funciones tecnológicas: No
Salidas digitales	
Número de salidas	10
• de ellas, salidas rápidas	4; Salida de tren de impulsos 100 kHz
Limitación de la sobretensión inductiva de corte a	L+ (-48 V)
Poder de corte de las salidas	
• con carga resistiva, máx.	0,5 A

Figura A.2.2. Segunda parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

• con carga tipo lámpara, máx.	5 W
Tensión de salida	
• para señal "0", máx.	0,1 V; con carga de 10 kOhm
• para señal "1", mín.	20 V
Intensidad de salida	
• para señal "1" valor nominal	0,5 A
• para señal "0" intensidad residual, máx.	0,1 mA
Retardo a la salida con carga resistiva	
• "0" a "1", máx.	1 μ s
• "1" a "0", máx.	5 μ s
Frecuencia de conmutación	
• de las salidas de impulsos, con carga óhmica, máx.	100 kHz
Salidas de relé	
• N° de salidas relé	0
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	500 m
• no apantallado, máx.	150 m
Entradas analógicas	
N° de entradas analógicas	2
Rangos de entrada	
• Tensión	Si
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
• 0 a +10 V	Si
— Resistencia de entrada (0 a 10 V)	≥ 100 kohmios
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	100 m; trenzado y apantallado
Salidas analógicas	
N° de salidas analógicas	0
Formación de valor analógico para entradas	
Tiempo de integración y conversión/resolución por canal	
• Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	10 bit
• Tiempo de integración parametrizable	Si
• Tiempo de conversión (por canal)	625 μ s
Sensor	
Sensores compatibles	
• Sensor a 2 hilos	Si
1. Interfaz	
Tipo de interfaz	PROFINET
con aislamiento galvánico	Si
Detección automática de la velocidad de transferencia	Si
Autonegociación	Si
Autocrossing	Si
Física de la interfaz	
• RJ 45 (Ethernet)	Si
• Número de puertos	1
• Switch integrado	No
Protocolos	
• PROFINET IO-Controller	Si
• PROFINET IO-Device	Si
• Comunicación SIMATIC	Si
• Comunicación IE abierta	Si; También disponible cifrada
• Servidores web	Si
• Redundancia del medio	No
PROFINET IO-Controller	
• Velocidad de transferencia, máx.	100 Mbit/s
Servicios	
— Comunicación PG/OP	Si; cifrado preajustado mediante TLS V1.3
— Modo isócrono	No
— IRT	No

Figura A.2.3. Tercera parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

— PROFlenergy	No
— Arranque priorizado	Sí
— Número de dispositivos IO con arranque preferente, máx.	16
— Nº de IO Devices que se pueden conectar en total, máx.	16
— Nº de IO-Devices conectables para RT, máx.	16
— de ellos, en línea, máx.	16
— Activar/desactivar IO Devices	Sí
— Nº de IO-Devices activables/desactivables simultáneamente, máx.	8
— Tiempo de actualización	El valor mínimo del tiempo de actualización depende además del componentes para comunicación ajustado para PROFINET IO, del número de dispositivo IO y de la cantidad de datos de usuario configurados.
PROFINET IO-Device	
Servicios	
— Comunicación PG/OP	Sí; cifrado preajustado mediante TLS V1.3
— Modo isócrono	No
— IRT	No
— PROFlenergy	Sí
— Shared Device	Sí
— Nº de IO Controller con Shared Device, máx.	2
Protocolos	
Soporta protocolo para PROFINET IO	Sí
Soporta protocolo para PROFIsafe	No
PROFIBUS	Sí; Requiere CM 1243-5 (maestro) o CM 1242-5 (esclavo)
OPC UA	Sí; OPC UA Server
AS-Interface	Sí; Se requiere un CM 1243-2
Protocolos (Ethernet)	
• TCP/IP	Sí
• DHCP	No
• SNMP	Sí
• DCP	Sí
• LLDP	Sí
Funcionamiento redundante	
Redundancia del medio	
— MRP	No
— MRPD	No
Comunicación SIMATIC	
• S7-Routing	Sí
Comunicación IE abierta	
• TCP/IP	Sí
— Tamaño de datos, máx.	8 kbyte
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Sí
— Tamaño de datos, máx.	8 kbyte
• UDP	Sí
— Tamaño de datos, máx.	1 472 byte
Servidores web	
• Soporta	Sí
• Páginas web definidas por el usuario	Sí
OPC UA	
• Requiere licencia runtime	Sí; licencia "Basic" necesaria
• OPC UA Server	Sí; acceso a datos (Read, Write, Subscribe), llamada de método, requiere licencia runtime
— Autenticación de aplicaciones	Políticas de seguridad disponibles: ninguna, Basic128Rsa15, Basic256Rsa15, Basic256Sha256
— Autenticación de usuarios	"Anónimo o mediante nombre de usuario y contraseña
— Número de sesiones, máx.	10
— Número de suscripciones por sesión, máx.	50
— Intervalo de muestreo, mín.	100 ms
— Intervalo de emisión, mín.	200 ms

Figura A.2.4. Cuarta parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

— Número de métodos de servidor, máx.	20
— Número de elementos vigilados (monitored items), máx.	1 000
— Número de interfaces del servidor, máx.	2
— Número de nodos en interfaces del servidor definidas por el usuario, máx.	2 000
Otros protocolos	
• MODBUS	Sí
Funciones de test y puesta en marcha	
Estado/forzado	
• Estado/forzado de variables	Sí
• Variables	Entradas/salidas, marcas, DB, E/S de periferia, tiempos, contadores
Forzado permanente	
• Forzado permanente	Sí
Búfer de diagnóstico	
• existente	Sí
Traces	
• Número de Traces configurables	2
• Tamaño de memoria por Trace, máx.	512 kbyte
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
LED señalizador de diagnóstico	
• LED RUN/STOP	Sí
• LED ERROR	Sí
• LED MAINT	Sí
Funciones integradas	
Medida de frecuencia	Sí
Posicionamiento en lazo abierto	Sí
Número de ejes de posicionamiento con regulación de posición, máx.	8
Número de ejes de posicionamiento mediante interfaz impulsos/sentido	4; con salidas integradas
Regulador PID	Sí
Nº de entradas de alarma	4
Nº de salidas de impulsos	4
Frecuencia límite (impulsos)	100 kHz
Aislamiento galvánico	
Aislamiento galvánico módulos de E digitales	
• Aislamiento galvánico módulos de E digitales	No
• entre los canales, en grupos de	1
Aislamiento galvánico módulos de S digitales	
• Aislamiento galvánico módulos de S digitales	Sí
• entre los canales	No
• entre los canales, en grupos de	1
CEM	
Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática	
• Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática IEC 61000-4-2	Sí
— Tensión de ensayo con descarga en aire	8 kV
— Tensión de ensayo para descarga por contacto	6 kV
Inmunidad a perturbaciones conducidas	
• Inmunidad a perturbaciones en cables de alimentación según IEC 61000-4-4	Sí
• Inmunidad a perturbaciones por cables de señales IEC 61000-4-4	Sí
Inmunidad a perturbaciones por tensiones de choque (sobretensión transitoria)	
• Inmunidad a perturbaciones en cables de alimentación según IEC 61000-4-5	Sí
Inmunidad a perturbaciones conducidas, inducidas mediante campos de alta frecuencia	
• Inmunidad a campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas según IEC 61000-4-6	Sí
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
• Clase de límite A para aplicación en la industria	Sí. Grupo 1

Figura A.2.5. Quinta parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

<ul style="list-style-type: none"> Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial 	Sí; Si se garantiza mediante medidas oportunas que se cumplen los valores límite de la clase B según EN 55011
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección IP	IP20
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
Homologación UL	Sí
cULus	Sí
Homologación FM	Sí
RCM (anteriormente C-TICK)	Sí
Homologación KC	Sí
Homologaciones navales	Sí
Condiciones ambientales	
Caída libre	
<ul style="list-style-type: none"> Altura de caída, máx. 	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura ambiente en servicio	
<ul style="list-style-type: none"> mín. máx. 	-20 °C 60 °C; N.º de entradas o salidas conectadas al mismo tiempo: 7 o 5 (sin puntos contiguos) con 60 °C en horizontal o 50 °C en vertical, 14 o 10 con 55 °C en horizontal o 45 °C en vertical
<ul style="list-style-type: none"> Posición de montaje horizontal, mín. Posición de montaje horizontal, máx. Posición de montaje vertical, mín. Posición de montaje vertical, máx. 	-20 °C 60 °C -20 °C 50 °C
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
<ul style="list-style-type: none"> mín. máx. 	-40 °C 70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
<ul style="list-style-type: none"> En servicio mín. En servicio máx. Almacenamiento/transporte, mín. Almacenamiento/transporte, máx. 	795 hPa 1 080 hPa 660 hPa 1 080 hPa
Altitud en servicio referida al nivel del mar	
<ul style="list-style-type: none"> Altitud de instalación, mín. Altitud de instalación, máx. 	-1 000 m 5 000 m; Restricciones con alturas de instalación > 2 000 m, ver Manual
Humedad relativa del aire	
<ul style="list-style-type: none"> En servicio máx. 	95 %; sin condensación
Vibraciones	
<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a vibraciones durante el funcionamiento según IEC 60068-2-6 En servicio, según DIN IEC 60068-2-6 	Montaje en pared 2 g (m/s ²); perfil DIN 1 g (m/s ²) Sí
Ensayo de resistencia a choques	
<ul style="list-style-type: none"> ensayado según DIN IEC 60068-2-27 	Sí; IEC 68, parte 2-27; semisinusoide: fuerza de choque 15 g (valor de cresta), duración 11 ms
Concentraciones de sustancias contaminantes	
<ul style="list-style-type: none"> SO2 con HR < 60% sin condensación 	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR < 60% sin condensación
configuración / bóveda	
Protección de know-how	
<ul style="list-style-type: none"> Protección de programas de usuario/Protección por contraseña Protección contra copia Protección de bloques 	Sí Sí Sí
Protección de acceso	
<ul style="list-style-type: none"> protección de los datos de configuración confidenciales Nivel de protección: Protección contra escritura Nivel de protección: Protección contra escritura/lectura Nivel de protección: Protección completa 	Sí Sí Sí Sí
Dimensiones	
Ancho	110 mm

Figura A.2.6. Sexta parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Pesos	
Peso, aprox.	415 g

Figura A.2.7. Séptima parte de la especificación del PLC 1214 DC/DC/DC. Fuente: [34].

A.3 Especificación técnica de la 6AG1124-0GC01-4AX0 (SIPLUS HMI TP700 COMFORT)

Data sheet

6AG1124-0GC01-4AX0

SIPLUS HMI TP700 COMFORT FOR medial stress with conformal coating based on 6AV2124-0GC01-0AX0



Figure similar

General information	
Product type designation	TP700 Comfort
Display	
Design of display	TFT
Screen diagonal	7 in
Display width	152.4 mm
Display height	91.4 mm
Number of colors	16 777 216
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	800 pixel
• Vertical image resolution	480 pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	80 000 h
• Backlight dimmable	Yes; 0-100 %
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	0
— Number of function keys with LEDs	0
• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
• alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes
Expansions for operator control of the process	
• DP direct LEDs (LEDs as S7 output I/O)	
— F1...Fx	0
• Direct keys (keys as S7 input I/O)	
— F1...Fx	0
• Direct keys (touch buttons as S7 input I/O)	32
Installation type/mounting	
Mounting position	vertical
Wall mounting/direct mounting	No
Mounting in portrait format possible	Yes
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°

Figura A.3.1. Primera parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

Supply voltage	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	0.5 A
Starting current inrush I st	0.5 A ² -s
Power	
Active power input, typ.	12 W
Processor	
Processor type	X86
Memory	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	12 Mbyte
Type of output	
Info LED	No
Power LED	No
Error LED	No
Acoustics	
• Buzzer	No
• Speaker	Yes
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Software clock	No
• retentive	Yes; Back-up duration typically 6 weeks
• synchronizable	Yes
Interfaces	
Number of industrial Ethernet interfaces	2
Number of RS 485 interfaces	1; RS 422 / 485 combined
Number of RS 422 interfaces	1
Number of RS 232 interfaces	0
Number of USB interfaces	2; USB 2.0
• USB Mini B	1; 5-pole
Number of 20 mA interfaces (TTY)	0
Number of parallel interfaces	0
Number of other interfaces	0
Number of SD card slots	2
With software interfaces	No
Industrial Ethernet	
• Industrial Ethernet status LED	2
• Number of ports of the integrated switch	2
Protocols	
PROFINET	Yes
Supports protocol for PROFINET IO	Yes
IRT	Yes; As of WinCC V12
PROFIBUS	Yes
EtherNet/IP	Yes
MPI	Yes
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	Yes
• DHCP	Yes
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes
WEB characteristics	
• HTTP	Yes

Figura A.3.2. Segunda parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

• HTTPS	No
• HTML	Yes
• XML	No
• CSS	Yes
• Active X	No
• JavaScript	Yes
• Java VM	No
Redundancy mode	
Media redundancy	
— MRP	Yes; As of WinCC V12
Further protocols	
• CAN	No
• MODBUS	Yes
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnoses	
• Diagnostic information readable	Yes; S7 controller
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class A, for use in industrial areas	Yes
• Limit class B, for use in residential areas	No
Degree and class of protection	
IP (at the front)	IP65
IP (rear)	IP20
NEMA (front)	
• Enclosure Type 4 at the front	Yes
• Enclosure Type 4x at the front	Yes
Ambient conditions	
Suited for indoor use	Yes
Suited for outdoor use	No
Ambient temperature during operation	
Operation (vertical installation)	
— For vertical installation, min.	0 °C; = Tmin
— For vertical installation, max.	50 °C; = Tmax
Operation (max. tilt angle)	
— At maximum tilt angle, min.	0 °C; = Tmin
— At maximum tilt angle, min.	40 °C; = Tmax
Operation (vertical installation, portrait format)	
— For vertical installation, min.	0 °C; = Tmin
— For vertical installation, max.	40 °C; = Tmax
Operation (max. tilt angle, portrait format)	
— At maximum tilt angle, min.	0 °C; = Tmin
— At maximum tilt angle, min.	35 °C; = Tmax
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C
Altitude during operation relating to sea level	
• Installation altitude above sea level, max.	5 000 m
• Ambient air temperature-barometric pressure-altitude	Tmin ... Tmax at 1 140 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m) // Tmin ... (Tmax - 10 K) at 795 hPa ... 658 hPa (+2 000 m ... +3 500 m) // Tmin ... (Tmax -20 K) at 658 hPa ... 540 hPa (+3 500 m ... +5 000 m)
Relative humidity	
• With condensation, tested in accordance with IEC 60068-2-38, max.	100 %; RH incl. condensation/frost (no commissioning under condensation conditions)
Resistance	
Coolants and lubricants	
— Resistant to commercially available coolants and lubricants	Yes; Incl. diesel and oil droplets in the air
Use in stationary industrial systems	
— to biologically active substances according to EN 60721-3-3	Yes; Class 3B2 mold, fungus and dry rot spores (with the exception of fauna); Class 3B3 on request
— to chemically active substances according to	Yes; Class 3C4 (RH < 75 %) incl. salt spray acc. to EN 60068-2-52

Figura A.3.3. Tercera parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

EN 60721-3-3 — to mechanically active substances according to EN 60721-3-3	(severity degree 3); * Yes; Class 3S4 incl. sand, dust, *
Use on ships/at sea	
— to biologically active substances according to EN 60721-3-6	Yes; Class 6B2 mold and fungal spores (excluding fauna); Class 6B3 on request
— to chemically active substances according to EN 60721-3-6	Yes; Class 6C3 (RH < 75 %) incl. salt spray acc. to EN 60068-2-52 (severity degree 3); *
— to mechanically active substances according to EN 60721-3-6	Yes; Class 6S3 incl. sand, dust; *
Usage in industrial process technology	
— Against chemically active substances acc. to EN 60654-4	Yes; Class 3 (excluding trichlorethylene)
— Environmental conditions for process, measuring and control systems acc. to ANSI/ISA-71.04	Yes; Level GX group A/B (excluding trichlorethylene; harmful gas concentrations up to the limits of EN 60721-3-3 class 3C4 permissible); level LC3 (salt spray) and level LB3 (oil)
Remark	
— Note regarding classification of environmental conditions acc. to EN 60721, EN 60654-4 and ANSI/ISA-71.04	* The supplied plug covers must remain in place over the unused interfaces during operation!
Conformal coating	
• Coatings for printed circuit board assemblies acc. to EN 61086	Yes; Class 2 for high reliability
• Protection against fouling acc. to EN 60664-3	Yes; Type 1 protection
• Military testing according to MIL-I-46058C, Amendment 7	Yes; Discoloration of coating possible during service life
• Qualification and Performance of Electrical Insulating Compound for Printed Board Assemblies according to IPC-CC-830A	Yes; Conformal coating, Class A
Operating systems	
proprietary	No
pre-installed operating system	
• Windows CE	Yes
configuration / header	
Message indicator	Yes
Alarm system (incl. buffer and acknowledgment)	Yes
Process value display (output)	Yes
Process value default (input) possible	Yes
Recipe management	Yes
Configuration software	
• STEP 7 Basic (TIA Portal)	No
• STEP 7 Professional (TIA Portal)	No
• WinCC flexible Compact	No
• WinCC flexible Standard	No
• WinCC flexible Advanced	No
• WinCC Basic (TIA Portal)	No
• WinCC Comfort (TIA Portal)	Yes; from V11
• WinCC Advanced (TIA Portal)	Yes; from V11
• WinCC Professional (TIA Portal)	Yes; from V11
Languages	
Online languages	
• Number of online/runtime languages	32
Project languages	
• Languages per project	32
Functionality under WinCC (TIA Portal)	
Libraries	Yes
Applications/options	
• Web browser	Yes
• Pocket Word	Yes
• Pocket Excel	Yes
• PDF Viewer	Yes
• Media Player	Yes
• SIMATIC WinCC Sm@rtServer	Yes

Figura A.3.4. Cuarta parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

• SIMATIC WinCC Audit	Yes
Number of Visual Basic Scripts	Yes
Task planner	
• time-controlled	Yes
• task-controlled	Yes
Message system	
• Number of alarm classes	32
• Bit messages	
— Number of bit messages	4 000
• Analog messages	
— Number of analog messages	200
• S7 alarm number procedure	Yes
• System messages HMI	Yes
• System event, more (SIMATIC S7, SINUMERIK, SIMOTION, ...)	Yes
• Number of characters per message	80
• Number of process values per message	8
• Acknowledgment groups	Yes
• Message indicator	Yes
Recipe management	
• Number of recipes	300
• Data records per recipe	500
• Entries per data record	1 000
• Size of internal recipe memory	2 Mbyte
• Recipe memory expandable	Yes
Variables	
• Number of variables per device	2 048
• Number of variables per screen	400
• Limit values	Yes
• Multiplexing	Yes
• Structures	Yes
• Arrays	Yes
Images	
• Number of configurable images	500
• Permanent window/default	Yes
• Global image	Yes
• Image selection by PLC	Yes
• Image number in the PLC	Yes
Image objects	
• Number of objects per image	400
• Text fields	Yes
• I/O fields	Yes
• Graphic I/O fields (graphics list)	Yes
• Symbolic I/O fields (text list)	Yes
• Date/time fields	Yes
• Switches	Yes
• Buttons	Yes
• Graphic display	Yes
• Icons	Yes
• Geometric objects	Yes
Complex image objects	
• Number of complex objects per screen	20
• Alarm view	Yes
• Trend view	Yes
• User view	Yes
• Status/control	Yes
• Sm@rtClient view	Yes
• Recipe view	Yes
• f(x) trend view	Yes
• System diagnostics view	Yes

Figura A.3.5. Quinta parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

• Media Player	Yes
• Bar graphs	Yes
• Sliders	Yes
• Pointer instruments	Yes
• Analog/digital clock	Yes
Lists	
• Number of text lists per project	500
• Number of entries per text list	500
• Number of graphics lists per project	500
• Number of entries per graphics list	500
Archiving	
• Number of archives per device	50
• Number of entries per archive	20 000
• Message archive	Yes
• Process value archive	Yes
• Archiving methods	
— Sequential archive	Yes
— Short-term archive	Yes
• Memory location	
— Memory card	Yes
— USB memory	Yes
— Ethernet	Yes
• Data storage format	
— CSV	Yes
— TXT	Yes
— RDB	Yes
Security	
• Number of user groups	50
• Number of user rights	32
• Number of users	50
• Password export/import	Yes
• SIMATIC Logon	Yes
Logging through printer	
• Alarms	Yes
• Report (shift log)	Yes
• Hardcopy	Yes
• Electronic print to file	Yes; PDF, HTML
Character sets	
• Keyboard fonts	
— US English	Yes
Transfer (upload/download)	
• MPI/PROFIBUS DP	Yes
• USB	Yes
• Ethernet	Yes
• using external storage medium	No
Process coupling	
• S7-1200	Yes
• S7-1500	Yes
• S7-200	Yes
• S7-300/400	Yes
• LOGO!	Yes
• WinAC	Yes
• SINUMERIK	Yes; with SINUMERIK option package
• SIMOTION	No; With WinCC, subsequent version
• Allen Bradley (EtherNet/IP)	Yes
• Allen Bradley (DF1)	Yes
• Mitsubishi (MC TCP/IP)	Yes
• Mitsubishi (FX)	Yes
• OMRON (FINS TCP)	No
• OMRON (LINK/Multilink)	Yes

Figura A.3.6. Sexta parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

• Modicon (Modbus TCP/IP)	Yes
• Modicon (Modbus)	Yes
Service tools/configuration aids	
• Backup/Restore manually	Yes
• Backup/Restore automatically	Yes
• Simulation	Yes
• Device switchover	Yes
Peripherals/Options	
Printer	Yes
SIMATIC HMI MM memory card: Multi Media Card	Yes
SIMATIC HMI SD memory card: Secure Digital memory card	Yes
USB memory	Yes
Mechanics/material	
Enclosure material (front)	
• Plastic	No
• Aluminum	Yes
• Stainless steel	No
Dimensions	
Width of the housing front	214 mm
Height of housing front	158 mm
Mounting cutout, width	197 mm
Mounting cutout, height	141 mm
Overall depth	63 mm
Weights	
Weight (without packaging)	1.4 kg
Weight (with packaging)	1.6 kg

Figura A.3.7. Séptima parte de la especificación del HMI SIPLUS TP700. Fuente: [35].

A.4 Catálogo de Relés de Bloque Terminal de la marca EATON

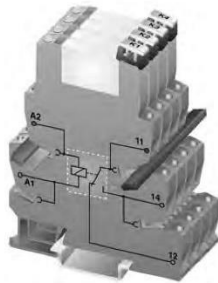


April 2009

Control Relays & Timers XR Series Terminal Block Relays

3-3

Standard Terminal Block Relays



Standard Terminal Block Relay

Product Description

The new XR Series Terminal Block Relays are ideal for applications that require a high switching capacity and long electrical service life. The relays are plug-in interfaces that connect to basic terminal blocks. The XR Series utilizes screw or spring-cage technology, as well as offers quick system wiring, superior safety features, clear labeling and a high level of modularity.

Application Description

Used in automation systems, electro-mechanical relays guarantee a safe connection between process I/O and electronic controls. The following functions are covered by relay coupling elements:

- Electrical isolation between the input and output circuits
- Independence of the type of switching current (AC and DC)
- High short-term overload resistance in the event of short circuits or voltage peaks
- Low switching losses
- Ease of operation

Features

- Pluggable relay allows for field replacement
- Functional plug-in bridges
- Choice of screw connections or spring-cage connection
- LED status indication
- DIN Rail Mount
- Only 6.2 mm wide for single pole versions, 14 mm wide for double pole
- All common input voltages between 12V DC to 120V AC

- Gold plated contacts available
- Equipped with a robust, miniature relay:
 - IP67 protection
 - Environmentally friendly, cadmium-free contact material
 - Easy, cost-effective installation and replacement using the engagement lever

Standards and Specifications

- cUL_{US} Listed
- CE

Product Selection

Table 3-3. Standard Terminal Block Relays Product Selection

Gold Plated Contacts	Rated Current	Supply Voltage	Standard Pack	Catalogue Number
1PDT Screw Connection				
No	6A	12V DC	10	XRU1D12
No	6A	120V AC/110V DC	10	XRU1D120U
Yes	6A	120V AC/110V DC	10	XRU1D120UG
No	6A	24V DC	10	XRU1D24
No	6A	24V AC/DC	10	XRU1D24U
Yes	6A	24V AC/DC	10	XRU1D24UG
1PDT Spring Cage Connection				
No	6A	12V DC	10	XRP1D12
No	6A	120V AC/110V DC	10	XRP1D120U
No	6A	24V DC	10	XRP1D24
No	6A	24V AC/DC	10	XRP1D24U
DPDT Screw Connection				
No	6A	12V DC	10	XRU2D12
No	6A	120V AC/110V DC	10	XRU2D120U
No	6A	24V DC	10	XRU2D24
No	6A	24V AC/DC	10	XRU2D24U

Table 3-4. Standard Replacement Relays

Gold Plated Contacts	Rated Current	Supply Voltage	Standard Pack	Catalogue Number
1PDT				
No	6A	12V DC	10	XRR1D12
No	6A	120V AC/110V DC	10	XRR1D120U
Yes	6A	120V AC/110V DC	10	XRR1D120UG
No	6A	24V DC	10	XRR1D24
Yes	6A	24V DC	10	XRR1D24G
DPDT				
No	6A	12V DC	10	XRR2D12
No	6A	120V AC/110V DC	10	XRR2D120U
No	6A	24V DC	10	XRR2D24

3

CA08102002K07A

For more information visit: www.EatonCanada.ca

Figura A.4.1. Primera parte del Catálogo de Relés de Bloque Terminal. Fuente: [27].

Standard Terminal Block Relays

Technical Data and Specifications

Table 3-5. Standard 1PDT Screw Connection Terminal Block Relays Technical Data

Catalogue Number	XRU1D12	XRU1D24	XRU1D24U	XRU1D120U
Replacement Relay	XRR1D12	XRR1D24	XRR1D24	XRR1D120U
Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/110V DC
Connection Data				
Rigid Solid AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)			
Flexible Stranded AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)			
Input Data for 1PDT Screw Connection Versions				
Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/110V DC
Permissible Range See Page 3-7	See Figure 3-5	See Figure 3-7	See Figure 3-8	See Figure 3-6
Typical Input Current	15.3 mA	9 mA	11 mA (24V AC)/ 8.5 mA (24V DC)	3.5 mA (120V AC)/ 3 mA (110V DC)
Typical Response Time	5 mS	5 mS	6 mS	6 mS
Typical Release Time	8 mS	8 mS	15 mS	15 mS
Input Protection	Polarity Protection Diode, Free-Wheeling Diode		Bridge Rectifier	

Output Data

Contact Type	1PDT
Contact Material	AgSnO
Max. Switching Voltage	250V AC/DC ①
Min. Switching Voltage	12V AC/DC
Limiting Continuous Current	6A
Min. Switching Current	10 mA
Min. Switching Power	120 mW

Miscellaneous Data

Test Voltage I/O	4 kV, 50 Hz, 1 min	4 kV	50 Hz
Ambient Temp Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)		
Rated Operating Mode	100% Operating Factor		
Inflammability Class	V0, in Accordance with UL 94		
Mechanical Service Life	2 x 10 ⁷ Cycles		

3

① The separating plate, XRAPLCEK, should be installed for voltages greater than 250V (L1, L2, L3) between identical terminal points of adjacent modules. Potential bridging is then possible with the XRFBST bridge system.

Table 3-6. Standard 1PDT Screw Connection Terminal Block Relays with Gold Contacts Technical Data

Catalogue Number	XRU1D24UG	XRU1D120UG
Replacement Relay	XRR1D24G	XRR1D120UG
Input Voltage	24V AC/DC	120V AC/110V DC
Connection Data		
Rigid Solid AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)	
Flexible Stranded AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)	
Input Data for 1PDT Screw Connection Versions with Gold Contacts		
Input Voltage	24V AC/DC	120V AC/110V DC
Permissible Range See Page 3-7	See Figure 3-8	See Figure 3-6
Typical Input Current	11 mA (24V AC)/ 8.5 mA (24V DC)	3.5 mA (120V AC)/ 3 mA (110V DC)
Typical Response Time	6 mS	6 mS
Typical Release Time	15 mS	15 mS
Input Protection	Bridge Rectifier	
Output Data		
Contact Type	1PDT	
Contact Material	AgSnO, Gold Plated ②	
Max. Switching Voltage	30V AC/36V DC (250V AC/DC) ③	
Min. Switching Voltage	100 mV (12V AC/DC) ③	
Limiting Continuous Current	50 mA (6A) ③	
Min. Switching Current	1 mA (10 mA) ③	
Min. Switching Power	100 (120 mW) ③	

Miscellaneous Data

Test Voltage I/O	4 kV, 50 Hz, 1 min	50 Hz
Ambient Temp Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)	-40° to 131°F (-20° to 55°C)
Rated Operating Mode	100% Operating Factor	
Inflammability Class	V0, in Accordance with UL 94	
Mechanical Service Life	2 x 10 ⁷ Cycles	

② The separating plate, XRAPLCEK, should be installed for voltages greater than 250V (L1, L2, L3) between identical terminal points of adjacent modules. Potential bridging is then possible with the XRFBST bridge system.

③ If the maximum values are exceeded, the gold layer is destroyed and the values in parentheses apply.

Standard Terminal Block Relays

Table 3-7. Standard 1PDT Spring Cage Terminal Block Relays Technical Data

Catalogue Number	XRP1D12	XRP1D24	XRP1D24U	XRP1D120U
Replacement Relay	XRR1D12	XRR1D24	XRR1D24	XRR1D120U
Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/110V DC

Connection Data

Rigid Solid AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)			
Flexible Stranded AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)			

Input Data for 1PDT Spring Cage Versions

Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/110V DC
Permissible Range See Page 3-7	See Figure 3-5	See Figure 3-7	See Figure 3-8	See Figure 3-6
Typical Input Current	15.3 mA	9 mA	11 mA (24V AC)/ 8.5 mA (24V DC)	3.5 mA (120V AC)/ 3 mA (110V DC)
Typical Response Time	5 mS	5 mS	6 mS	6 mS
Typical Release Time	8 mS	8 mS	15 mS	15 mS
Input Protection	Polarity Protection Diode, Free-Wheeling Diode		Bridge Rectifier	

Output Data

Contact Type	1PDT			
Contact Material	AgSnO			
Max. Switching Voltage	250V AC/DC ①			
Min. Switching Voltage	12V AC/DC			
Limiting Continuous Current	6A			
Min. Switching Current	10 mA			
Min. Switching Power	120 mW			

Miscellaneous Data

Test Voltage I/O	4 kV, 50 Hz, 1 min	4 kV	50 Hz
Ambient Temp Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)		-4° to 131°F (-20° to 55°C)
Rated Operating Mode	100% Operating Factor		
Inflammability Class	V0, in Accordance with UL 94		
Mechanical Service Life	2 x 10 ⁷ Cycles		

① The separating plate, XRAPLCEK, should be installed for voltages greater than 250V (L1, L2, L3) between identical terminal points of adjacent modules. Potential bridging is then possible with the XRFBST bridge system.

Table 3-8. Standard DPDT Screw Connection Terminal Block Relays Technical Data

Catalogue Number	XRU2D12	XRU2D24	XRU2D24U	XRU2D120U
Replacement Relay	XRR2D12	XRR2D24	XRR2D24	XRR2D120U
Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/110V DC

Connection Data

Rigid Solid AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)			
Flexible Stranded AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)			

Input Data

Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/110V DC
Permissible Range See Page 3-7	See Figure 3-9	See Figure 3-11	See Figure 3-12	See Figure 3-10
Typical Input Current	33 mA	18 mA	17.5 mA	4.5 mA (120V AC) 4.2 mA (110V DC)
Typical Response Time	8 mS	8 mS	8 mS	7 mS
Typical Release Time	10 mS			
Input Protection	Polarity Protection Diode, Free-Wheeling Diode		Bridge Rectifier	

Output Data:

Contact Type	2PDT	Single Contact, 2PDT
Contact Material	AgNi	
Max. Switching Voltage	250V AC/DC	
Min. Switching Voltage	5V	
Limiting Continuous Current	6A	
Max. Inrush Current	15A (300 mS)	
Min. Switching Current	10 mA	
Min. Switching Power	50 mW	

General Data

Test Voltage I/O	4 kV, 50 Hz, 1 min / 2.5 kV, 50 Hz, 1 Min. (Between the PDTs)
Ambient Temp Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)
Rated Operating Mode	100% Operating Factor
Inflammability Class	V0, in Accordance with UL 94
Mechanical Service Life	3 x 10 ⁷ cycles

Standard Terminal Block Relays

Dimensions

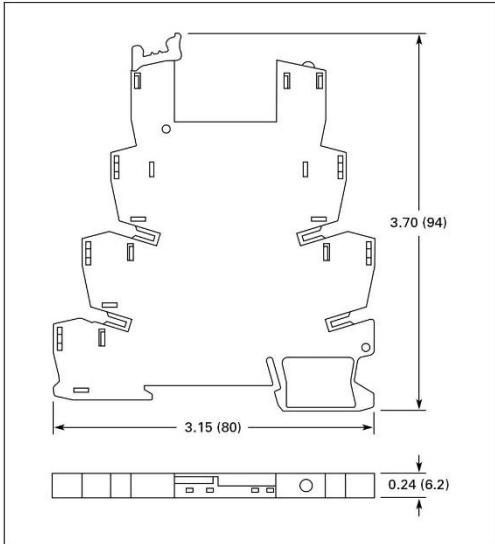


Figure 3-1. Standard 1PDT Terminal Block Relays — Approximate Dimensions in Inches (mm)

Schematics

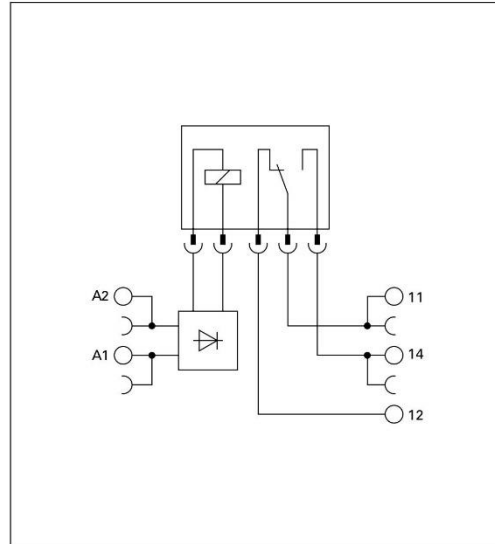


Figure 3-3. Schematics for 1PDT Terminal Block Relays

3

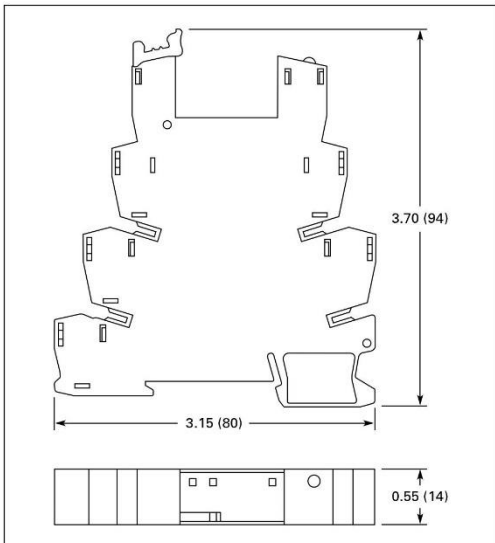


Figure 3-2. Standard DPDT Terminal Block Relays — Approximate Dimensions in Inches (mm)

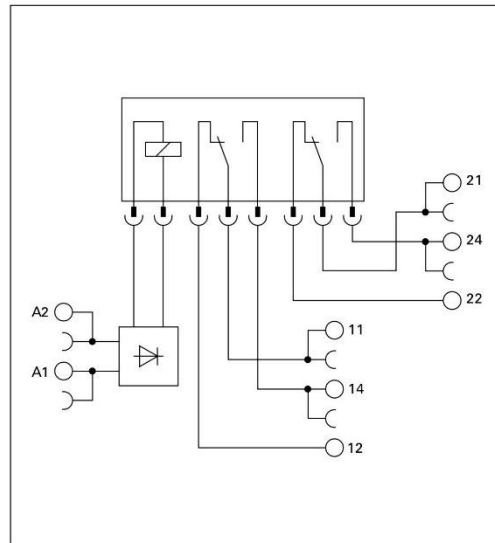


Figure 3-4. Schematic for DPDT Terminal Block Relays

Permissible Range Diagrams

1PDT

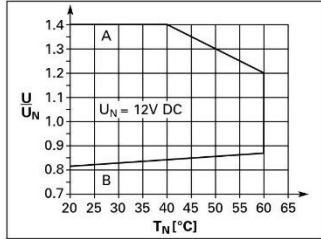


Figure 3-5. Operating Range Voltage for 12V DC 1PDT Relay Module

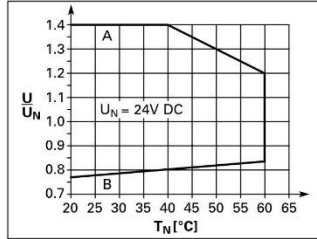


Figure 3-7. Operating Range Voltage for 24V DC 1PDT Relay Module

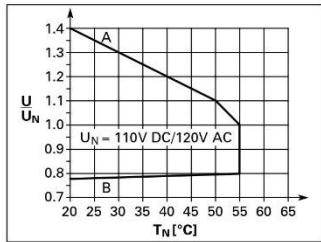


Figure 3-6. Operating Range Voltage for 120V AC/110V DC 1PDT Relay Module

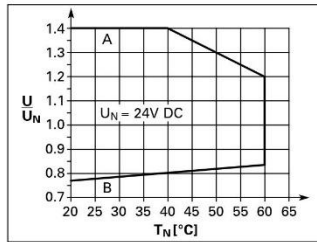


Figure 3-8. Operating Range Voltage for 24V AC/DC 1PDT Relay Module

DPDT

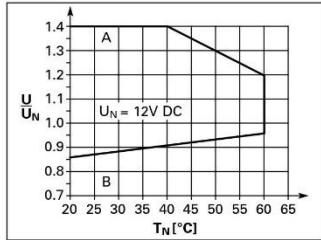


Figure 3-9. Operating Range Voltage for 12V DC DPDT Relay Module

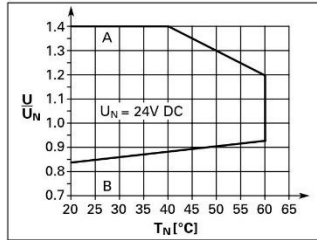


Figure 3-11. Operating Range Voltage for 24V DC DPDT Relay Module

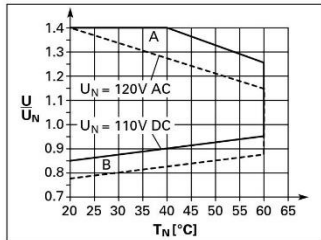


Figure 3-10. Operating Range Voltage for 120V AC/110V DC DPDT Relay Module

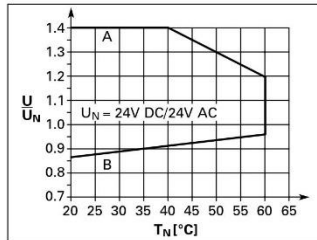


Figure 3-12. Operating Range Voltage for 24V AC/DC DPDT Relay Module

Notes:

General Conditions — Direct alignment in the block, all devices 100% operating factor, horizontal or vertical mounting.

Curve A — Maximum permissible continuous operating voltage U_{max} with limiting continuous current on the contact side (see respective technical data).

Curve B — Minimum permissible relay operate voltage U_{op} after pre-excitation ① (see respective technical data).

① Pre-excitation: Relay has been operated in a thermally steady state at the ambient temperature T_U with nominal voltage U_N and limiting continuous current on the contact side (see respective technical data) (warm coil). After being switched off for a short time, the relay must reliably pick up again at U_{op} .

OptoCoupler Terminal Block Relays

OptoCoupler Terminal
Block Relay

Product Description

The new **XR** Series OptoCoupler Terminal Block Relays can be used in all applications and consist of a pluggable miniature OptoCoupler and a basic terminal block. The **XR** Series utilizes screw or spring-cage technology, as well as offers quick system wiring, superior safety features, clear labeling and a high level of modularity.

Application Description

The **XR** Series OptoCoupler relays can be used as an input or output interface. They provide the typical reliability of OptoCouplers and are especially suited for high operating frequencies.

Features

- Pluggable relay allows for field replacement
- Functional plug-in bridges
- LED status indication
- DIN Rail Mount
- Only 6.2 mm wide
- Switching capacity up to 24V DC/3A
- IP67-protected optical electronics

- Wear-resistant and bounce-free switching
- Insensitive to shock and vibration
- Integrated protection circuit
- Zero voltage switch at AC output

Standards and Certifications

- cUL_{US} Listed
- CE

Product Selection

Table 3-9. OptoCoupler Terminal Block Relays Product Selection

Rated Current	Supply Voltage	Standard Pack	Catalogue Number
2A	120V AC/110V DC	10	XRU1S120U
2A	24V DC	10	XRU1S24

Table 3-10. OptoCoupler Replacement Relays

Rated Current	Supply Voltage	Standard Pack	Catalogue Number
2A	24V DC	18	XRR1S24
2A	120V AC/110V DC	10	XRR1S120U

Technical Data and Specifications

Table 3-11. Pluggable Power OptoCoupler (Solid-State) Terminal Block Relays Technical Data

Catalogue Number	XRU1S24	XRU1S120U
Replacement Relay	XRR1S24	XRR1S120U
Input Voltage	24V DC	120V AC/110V DC
Connection Data		
Rigid Solid AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)	
Flexible Stranded AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)	
Input Data		
Input Voltage	24V DC	120V AC/110V DC
Permissible Range	0.8 – 1.2	0.8 – 1.1
Typical input current	9 mA	4 mA
Switching Level 1 signal ("H")	≥ 0.8	≥ 0.8
Switching Level 0 signal ("L")	≤ 0.4	≤ 0.25
Typical Switch-On Time	20 μS	6 mS
Typical Turn-Off Time	500 μS	10 mS
Input Protection	Polarity Protection Diode, Free-Wheeling Diode	Bridge Rectifier
Output Data		
Max. Switching Voltage	33V DC	33V DC
Min. Switching Voltage	3V DC	3V DC
Limiting Continuous Current	3A (See Figure 3-13)	
Max. Inrush Current	15A (10 mS)	
Output Circuit	2-Conductor Floating	
Output Protection	Polarity Protection, Surge Protection	
Voltage Drop at Max. Limiting Continuous Current	≤ 200 mV	
General Data		
Test Voltage I/O	2.5 kV, 50 Hz, 1 min	
Ambient Temp Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)	
Rated Operating Mode	100% Operating Factor	
Inflammability Class	V0, in Accordance with UL 94	
Mechanical Service Life	2 x 10 ⁷ cycles	

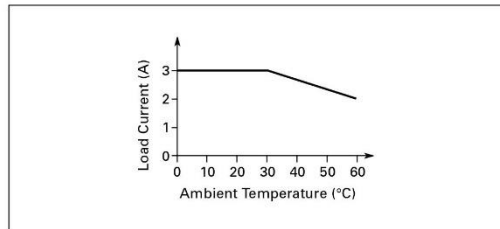


Figure 3-13. Derating Curve

Dimensions

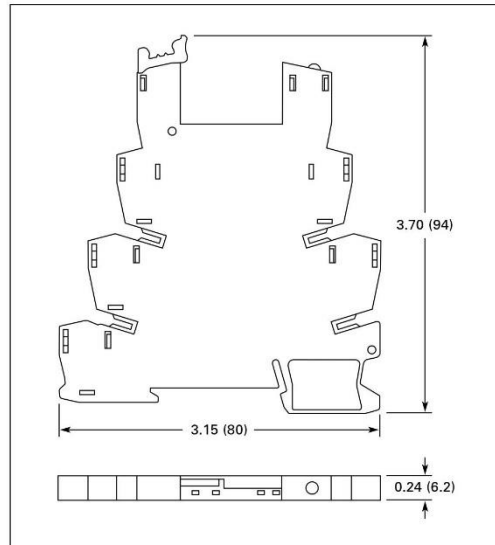


Figure 3-14. Pluggable Power OptoCoupler (Solid-State) Terminal Block Relays — Approximate Dimensions in Inches (mm)

Schematic

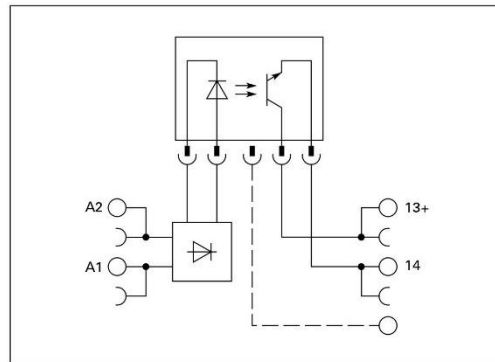


Figure 3-15. Schematic for Pluggable Power OptoCoupler (Solid-State) Terminal Block Relays

High Current Terminal Block Relays

High Current Terminal
Block Relay

Product Description

The new **XR** Series Relays include products designed to meet high continuous current and/or long electrical service life applications. The **XR** Series Relays are plug-in interfaces that connect to basic terminal blocks that use screw connection technology. Overall width is 14 mm.

Application Description

These relays are best suited for applications that require higher continuous load currents than miniature relays can carry and switch. They can withstand inrush currents or brief overloads without damage, and allow for continuous load currents of up to 10A. The **XR** Series Relay boasts an average service life of the contacts that is two or three times the normal life of a less powerful relay, resulting in service cost savings.

Features

- 14 mm wide
- Pluggable relay allows for field replacement
- Convenient plug-in bridge system
- LED status indication
- DIN Rail Mount
- IP67-protected optical electronics
- Wear-resistant and bounce-free switching

- Insensitive to shock and vibration
- Integrated protection circuit
- Zero voltage switch at AC output
- Environmentally friendly, cadmium-free contact material
- Electrical isolation between input and output

Standards and Certifications

- cUL_{US} Listed
- CE

Product Selection

Table 3-12. High Current Terminal Block Relays Product Selection

Rated Current	Supply Voltage	Standard Pack	Catalogue Number
10A	12V DC	10	XRU1H12
10A	120V AC/110V DC	10	XRU1H120U
10A	24V DC	10	XRU1H24
10A	24V AC/DC	10	XRU1H24U

Table 3-13. High Current Replacement Relays

Rated Current	Supply Voltage	Standard Pack	Catalogue Number
10A	24V DC	10	XRR1H24
10A	24V AC/DC	10	XRR1H24U
10A	12V DC	10	XRR1H12
10A	120V AC/110V DC	10	XRR1H120U

Technical Data and Specifications

Table 3-14. Information for High Current Terminal Block Relays (1PDT)

Catalogue Number Assembled Unit	XRU1H12	XRU1H24	XRU1H24U	XRU1H120U
Replacement Relay	XRR1H12	XRR1H24	XRR1H24U	XRR1H120U
Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/ 110V DC

Connection Data

Rigid Solid AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)
Flexible Stranded AWG (mm ²)	26 – 14 (0.14 – 2.5)

Input Data (Permissible Range — See Page 3-7)

Input Voltage	12V DC	24V DC	24V AC/DC	120V AC/ 110V DC
Permissible Range See Page 3-7	See Figure 3-9	See Figure 3-11	See Figure 3-12	See Figure 3-10
Typical Input Current	33 mA	18 mA	175 mA	4.5 mA (120V AC)/ 4.2 mA (110V DC)
Typical Response Time	8 mS	8 mS	8 mS	7 mS
Typical Release Time	10 mS			
Input Protection	Polarity Protection Diode, Free-Wheeling Diode		Bridge Rectifier	

Output Data

Contact Type	Single Contact, 1PDT
Contact Material	AgNi
Max. Switching Voltage	250V AC/DC ①
Min. Switching Voltage	12V AC/DC
Limiting Continuous Current	10A (6)A ②
Max. Inrush Current	30A (300 mS)
Min. Switching Current	100 mA
Min. Switching Power	1.2W

Miscellaneous Data

Test Voltage I/O	4 kV, 50 Hz, 1 min
Ambient Temp Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)
Rated Operating Mode	100% Operating Factor
Inflammability Class	V0, in Accordance with UL 94
Mechanical Service Life	3 x 10 ⁷ cycles

- ① The separating plate, XRAPLCEsk, should be installed for voltages greater than 250V (L1, L2, L3) between identical terminal points of adjacent modules. Potential bridging is then possible with the XRFBST bridge system.
- ② The current rating for the normally open contact (#14) is 10A. The current rating for the normally closed contact (#12) is 6A and can be increased to 10A by bridging the two #12 contact connections.

Dimensions

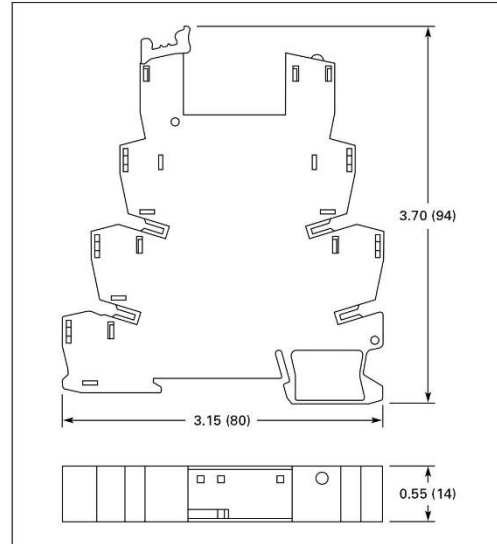


Figure 3-16. High Current Terminal Block Relays — Approximate Dimensions in Inches (mm)

Schematic

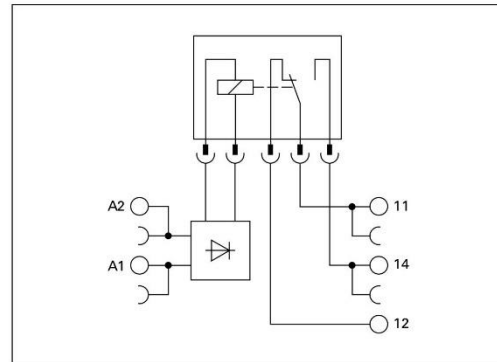
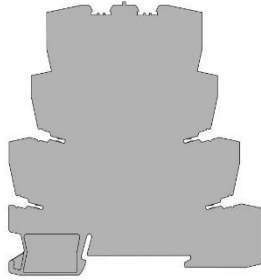


Figure 3-17. Schematic for High Current Terminal Block Relays

Product Description

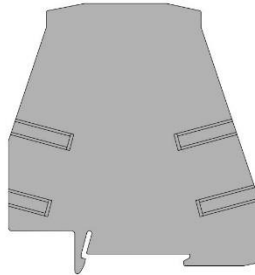
Power Terminal Block

The XRAPLCEK power terminal block has the same shape as the relay modules and is used to feed in the bridging potentials. The nominal current is 32A. When the total current is less than or equal to 6A, supply can take place directly at the connecting terminal blocks of one of the connected relays.



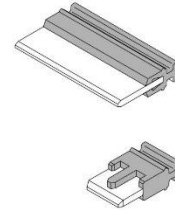
End Cover

The XRAATPBK end cover is required at the start and stop of a relay strip. It can also be used for visual separation of groups of relays as well as separating relays with voltages greater than 250V and separating neighboring bridges with different potentials. It is equipped with pre-scored break out points at the bridging positions so that individual bridges can be passed through as needed. It may also be necessary to use the end cover between adjacent relays when three phases (L1, L2, L3) are used on the contact side of the relay.



Bridges

The XRAFBST coloured, insulated plug-in bridge system reduces wiring time by up to 70% compared to conventionally wired relays. The XRAFBST2, 2-position bridges, are suited for bridging a smaller number of relays and total currents $\leq 6A$. When a circuit is supplied from both sides, the circuit can be opened at any point, allowing all other modules to continue being supplied at the same time. The XRAFBST500 allow up to 80 modules to be bridged at one time. If bridges with different potentials meet in neighboring modules, the end cover XRAATPBK should be used. All bridges are equipped with a groove for removal with a standard screwdriver.



Product Selection

Table 3-15. Product Selection Table for XR Series Accessories

Description	Colour	Standard Pack	Catalogue Number
2-Position Snap-In Jumper	Red	10	XRAFBST2RD
2-Position Snap-In Jumper	Blue	10	XRAFBST2BU
2-Position Snap-In Jumper	Grey	10	XRAFBST2GY
80-Position Snap-In Jumper	Red	5	XRAFBST500RD
80-Position Snap-In Jumper	Blue	5	XRAFBST500BU
80-Position Snap-In Jumper	Grey	5	XRAFBST500GY
Power Terminal Block	Grey	5	XRAPLCEK
End Cover	Black	5	XRAATPBK

3

Table 3-16. Power Terminal Block Technical Specifications

Description	Specification
Connection Data	
Rigid Solid AWG (mm ²)	24 – 10 (0.2 – 4)
Flexible Stranded AWG (mm ²)	24 – 10 (0.2 – 4)
Miscellaneous Data	
Max. Current	32A
Max. Voltage	250V AC ①
Approvals	c US

① The separating plate, XRAPLCEK, should be installed for voltages greater than 250V (L1, L2, L3) between identical terminal points of adjacent modules. Potential bridging is then possible with the XRAFBST bridge system.

A.5 PM1207 Siemens 6EP1332-1SH71

SIEMENS

Hoja de datos

6EP1332-1SH71

ALIMENTACION S7-1200 PM1207
SIMATIC S7-1200 Power Module PM1207 Fuente de alimentación
estabilizada entrada: AC 120/230 V salida: DC 24 V/2,5 A



Entrada	
Entrada	AC monofásica
• Observación	Cambio de rango automático
Tensión de alimentación	
• 1 con AC valor nominal	120 V
• 2 con AC valor nominal	230 V
Tensión de entrada	
• 1 con AC	85 ... 132 V
• 2 con AC	176 ... 264 V
Entrada de rango amplio	No
Resistencia a sobretensiones	2,3 x U _e nom, 1,3 ms
Respaldo de red	Con U _e = 93/187 V
Respaldo de red con la nom, mín.	20 ms; Con U _e = 93/187 V
Frecuencia nominal de red 1	50 Hz
Frecuencia nominal de red 2	60 Hz
Rango de frecuencia de red	47 ... 63 Hz
Corriente de entrada	
• con valor nominal de la tensión de entrada 120 V	1,2 A

Figura A.5.1. Primera parte de la especificación técnica del PM1207. Fuente: [36].

Regulación	
Compens. dinám. variación de red ($U_e \text{ nom} \pm 15\%$), máx.	0,3 %
Compens. dinám. variación de carga (Ia: 50/100/50%), $U_a \pm \text{tip.}$	3 %
Tiempo de recuperación escalón de carga 50 a 100%, típ.	5 ms
Tiempo de recuperación escalón de carga 100 a 50%, típ.	5 ms
Tiempo de establecimiento máx.	5 ms
Protección y vigilancia	
Protección sobretensión en salida	< 33 V
Limitación de intensidad, típ.	2,65 A
Propiedad de la salida resistente a cortocircuitos	Sí
Prot. contra cortocircuito	Característica de intensidad constante
Intensidad de cortocircuito sostenido Valor eficaz	
• típico	2,7 A
Señalización de sobrecarga/cortocircuito	-
Seguridad	
Aislamiento galvánico primario secundario	Sí
Aislamiento galvánico	Tensión de salida MBTS/SELV U_s según EN 60950-1 y EN 50178
Clase de protección	Clase I
Corriente de fuga	
• máx.	3,5 mA
Grado de protección (EN 60529)	IP20
Homologaciones	
Marcado CE	Sí
Aprobación UL/cUL (CSA)	cULus-Listed (UL 508, CSA C22.2 No. 107.1), File E197259; cURus-Recognized (UL 60950-1, CSA C22.2 No. 60950-1) File E151273
Protección contra explosiones	ATEX (EX) II 3G Ex nA II T4; cULus (ISA 12.12.01, CSA C22.2 No.213) Class I, Div. 2, Group ABCD, T4, File E330455
Homologación FM	Class I, Div. 2, Group ABCD, T4
Homologación CB	Sí
Homologación para la construcción naval	ABS, BV, DNV GL, LRS, NK
CEM	
Emisión de interferencias	EN 55022 clase B
Limitación de armónicos en red	No aplicable
Inmunidad a interferencias	EN 61000-6-2
condiciones ambientales	
Temperatura ambiente	
• durante el funcionamiento	0 ... 60 °C

Figura A.5.2. Segunda parte de la especificación técnica del PM1207. Fuente: [36].

<ul style="list-style-type: none"> • con valor nominal de la tensión de entrada 230 V 	0,67 A
Limitación de la intensidad de conexión (+ 25 °C), máx.	13 A
Duración de la limitación de intensidad de conexión con 25 °C <ul style="list-style-type: none"> • máx. 	3 ms
I ² t, máx.	0,5 A ² ·s
Fusible de entrada incorporado	T 3,15 A/250 V (no accesible)
Protección del cable de red (IEC 898)	Interruptor magnetotérmico recomendado: 16 A característica B o 10 A característica C

Salida	
Salida	Tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente
Tensión nominal U _s nom DC	24 V
Tolerancia total, estática ±	3 %
Compens. estática variación de red, aprox.	0,1 %
Compens. estática variación de carga, aprox.	0,2 %
Ondulación residual entre picos, máx.	150 mV
Spikes entre picos, máx. (ancho de banda aprox. 20 MHz)	240 mV
Función del producto Tensión de salida es ajustable	No
Ajuste de la tensión de salida	-
Pantalla normal	LED verde para 24 V O.K.
Comportamiento al conectar/desconectar	Sin rebase transitorio de U _a (arranque suave)
Retardo de arranque, máx.	6 s; 2 s a 230 V, 6 s a 120 V
Subida de tensión, típ.	10 ms
Intensidad nominal I _a nom	2,5 A
Rango de intensidad potencia activa entregada típico	0 ... 2,5 A
Intensidad de sobrecarga breve <ul style="list-style-type: none"> • con cortocircuito durante el arranque típico • con cortocircuito en servicio típico 	6 A 6 A
Duración de la capacidad de sobrecarga con sobreintensidad <ul style="list-style-type: none"> • con cortocircuito durante el arranque • con cortocircuito en servicio 	100 ms 100 ms
Posibilidad de conex. en paralelo para aumento de potencia	Sí
Número de equipos conectables en paralelo para aumentar la potencia, unidades	2

Rendimiento	
Rendimiento con U _a nominal, I _a nominal, aprox.	83 %
Pérdidas con U _a nom, I _a nom, aprox.	12 W

Figura A.5.3. Tercera parte de la especificación técnica del PM1207. Fuente: [36].

— Observación	Con convección natural
• durante el transporte	-40 ... +85 °C
• durante el almacenamiento	-40 ... +85 °C
Clase de humedad según EN 60721	Clase climática 3K3, 5 ... 95% sin condensación
Mecánica	
Sistema de conexión	conexión por tornillo
Conexiones	
• entrada de red	L, N, PE: 1 borne de tornillo resp. para 0,5 ... 2,5 mm ²
• salida	L+, M: 2 bornes de tornillo resp. para 0,5 ... 2,5 mm ²
• contactos auxiliares	-
Anchura de la caja	70 mm
Altura de la caja	100 mm
Profundidad de la caja	75 mm
Distancia que debe respetarse	
• arriba	20 mm
• abajo	20 mm
• izquierda	0 mm
• derecha	0 mm
Peso aprox.	0,3 kg
Propiedad del producto de la caja carcasa disponible en hilera	Sí
Montaje	Sobre perfil normalizado EN 60715 35x7,5/15 por abroche, montaje mural
MTBF con 40 °C	1 492 537 h
notas adicionales	Siempre que no se diga lo contrario, son aplicables todos los datos para la tensión nominal de entrada y una temperatura ambiente de +25 °C

Figura A.5.4. Cuarta parte de la especificación técnica del PM1207. Fuente: [36].

A.6 Catálogo de protectores suplementarios EATON

1-800-633-0405

For the latest prices, please check AutomationDirect.com.

Eaton Quality at AutomationDirect Prices

1, 2 and 3-pole models

EATON



FAZ Series Supplementary Protectors

FAZ Supplementary Protectors are UL 1077 recognized for applications where branch circuit protection is not required or is already provided. They are thermal magnetic and protect against short circuit (see ratings chart) and overload conditions.

These DIN-rail mounted supplementary protectors come in one, two and three pole configurations and are available in three trip curves.

The B curve magnetic trip point is 3 to 5 times the rated current and is typically used for computers and electronic loads with very low current loads.

The C curve magnetic trip point is 5 to 10 times the rated current and is typically used for small transformers, pilot devices, etc.

The D curve magnetic trip point is 10 to 20 times the rated current and is typically used for transformers or with very high inductive loads.

Shunt trips are available for remotely tripping the protector with an external voltage from a control system or alarm device.

A padlocking feature is also available for preventing unauthorized operation. Maintenance personnel can safely work on protected equipment without electrical safety concerns.

Third party Certification and marking

- UL recognized under UL 1077 Category QVNU2, File E177451
- CSA 22.2, No. 235 File 204453
- CE File LVD 2006/95/EC
- IEC 60898
- IEC 60947-2

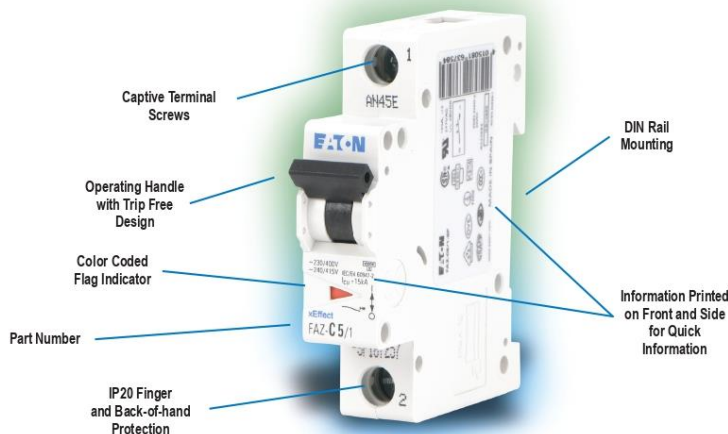


Full line of field installable accessories

- Auxiliary switch
- Alarm/Auxiliary Switch
- Shunt trip
- Padlock provision
- Busbar systems

Trip curves

- B [3-5 I_n]
- C [5-10 I_n]
- D [10-20 I_n]



www.automationdirect.com

Circuit Protection tCPR-54

Figura A.6.1. Primera parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

Overview

The Eaton FAZ supplementary protectors are used to provide overcurrent protection where branch protection (for example, UL 489 MCCB) is already provided or not required. The units can be installed as a component within, or as a part of an appliance or a piece of electrical equipment. Supplementary protectors are ideal replacements for fuses that are applied as a supplementary protector, i.e. in addition to branch protection (if required). They are 35mm DIN-rail mountable, utilizing spring clips. These are standard protectors, recognized by UL and CSA under UL 1077 and CSA 22.2. They are CE marked in accordance with Low Voltage Directive (LVD) (73/23/EEC).



Product Specification

The FAZ supplementary protector is a dual-rated product for both AC and DC supplies, in accordance with UL 1077 and CSA 22.2 standards and is marked with CE in accordance with the Low Voltage Directive. With this dual standard product, you can include it in your design, knowing that in most cases wherever your equipment is used, the product will conform to the local UL, CSA or IEC (International) requirements.

The supplementary protector is designed to be applied in conjunction with a branch circuit protector (if branch protection is required) and can be a replacement for similarly applied fuses. Its advantage over fuses is that it is resettable and the device's status is easily and clearly identified by the position of the handle and the flag indicator.

In addition, you can select a device that provides maximum reliability and accuracy to fit various applications due to the availability of a wide range of current ratings from 0.5 to 63 amperes in three overcurrent characteristic curves, B, C and D.

Features and Benefits

- Dual rated for AC or DC Applications
- Box terminals accept #18 to #4 wire (1 to 25mm²) for one wire connection or #18 to #8 for two wire connection.
- Thermal magnetic overcurrent protection: three levels, categorized by B, C and D curves in direct relation to continuous rating of the device
- **B curve magnetic trip point:** 3 to 5 times the rated current, typically used for computers and electronic loads with very low inrush currents (PLC wiring).
- **C curve magnetic trip point:** 5 to 10 times the rated current, typically used for small transformers, pilot devices, etc.
- **D curve magnetic trip point:** 10 to 20 times the rated current, typically used for transformers or devices with very high inductive loads.
- Trip Free Design: Protector cannot be defeated by holding the handle in the "ON" position.
- Module width of only 17.7 mm per pole
- Color coded status indicator window – Red = ON or Green = OFF
- P20 finger protection
- 35mm DIN-rail mountable, utilizing spring clip
- Captive screws cannot be lost
- Suitable for reverse feed applications

Listings

- UL recognized under UL 1077 Category QVNU2 File E177451

- CSA 22.2, No. 235 File 204453
- CE File LVD 2006/95/EC

- IEC/EN 60898
- IEC/EN 60947-2

Applications

FAZ Supplementary protectors are recognized per UL 1077 and certified per CSA C22.2 No. 235 as a Supplementary Protector and can be fully utilized per the NEC and CEC Codes in that capacity. For international purposes, the entire FAZ family is CE marked and in full conformity with the applicable IEC standards for miniature circuit breakers, EN/IEC 60898 and IEC/EN 60947-2.

Outside North America, they can be used in both residential and industrial applications as feeder and branch circuit

protective devices. In North America, most European Miniature Circuit Breakers are only UL recognized and CSA certified as "Supplementary Protectors", meaning they cannot be utilized as feeder or branch circuit protective devices per the local electrical codes (2008 NEC 240.10 and CEC Part 1 C22.1). This commonly restricts their use to applications where "closer" protection is desired than that offered by a branch circuit protection device.

Eaton FAZ Supplementary Protectors are

ideal for providing protection in many applications, including:

- Control power transformers (D curve)
- Relays
- Contactor coils
- PLC I/O points
- Lighting circuits
- Power supplies
- Computers
- Electronic equipment
- Control circuits

www.automationdirect.com

Circuit Protection tCPR-55

Figura A.6.2. Segunda parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

EATON FAZ Supplementary Protectors Selection Guide



Single-Pole

Note: Eaton product part numbers will contain a [] instead of [P] and a [/] instead of a [-].
Example: FAZ-C0P5-1-SP = FAZ-C0.5/1-SP

FAZ - Single-Pole Selection Guide						
Ampere Rating	B Curve Part Number	Price	C Curve Part Number	Price	D Curve Part Number	Price
0.5	-	-	FAZ-C0P5-1-SP		FAZ-D0P5-1-SP	
1	FAZ-B1-1-SP	\$12.50	FAZ-C1-1-SP	\$12.50	FAZ-D1-1-SP	\$12.50
2	FAZ-B2-1-SP		FAZ-C2-1-SP		FAZ-D2-1-SP	
3	FAZ-B3-1-SP		FAZ-C3-1-SP		FAZ-D3-1-SP	
4	FAZ-B4-1-SP		FAZ-C4-1-SP		FAZ-D4-1-SP	
5	FAZ-B5-1-SP		FAZ-C5-1-SP		FAZ-D5-1-SP	
6	FAZ-B6-1-SP		FAZ-C6-1-SP		FAZ-D6-1-SP	
7	FAZ-B7-1-SP		FAZ-C7-1-SP		FAZ-D7-1-SP	
8	FAZ-B8-1-SP		FAZ-C8-1-SP		FAZ-D8-1-SP	
10	FAZ-B10-1-SP		FAZ-C10-1-SP		FAZ-D10-1-SP	
13	FAZ-B13-1-SP		FAZ-C13-1-SP		FAZ-D13-1-SP	
15	FAZ-B15-1-SP		FAZ-C15-1-SP		FAZ-D15-1-SP	
16	FAZ-B16-1-SP		FAZ-C16-1-SP		FAZ-D16-1-SP	
20	FAZ-B20-1-SP		FAZ-C20-1-SP		FAZ-D20-1-SP	
25	FAZ-B25-1-SP		FAZ-C25-1-SP		FAZ-D25-1-SP	
30	FAZ-B30-1-SP		FAZ-C30-1-SP		FAZ-D30-1-SP	
32	FAZ-B32-1-SP		FAZ-C32-1-SP		FAZ-D32-1-SP	
40	FAZ-B40-1-SP	FAZ-C40-1-SP	FAZ-D40-1-SP			
50	FAZ-B50-1-SP	FAZ-C50-1-SP	-	-		
63	FAZ-B63-1-SP	FAZ-C63-1-SP	-	-		



Two-Pole

Note: Eaton parts available for sale to North America locations only.

FAZ - Two-Pole Selection Guide						
Ampere Rating	B Curve Part Number	Price	C Curve Part Number	Price	D Curve Part Number	Price
0.5	-	-	FAZ-C0P5-2		FAZ-D0P5-2	
1	FAZ-B1-2	\$24.00	FAZ-C1-2	\$24.00	FAZ-D1-2	\$24.00
2	FAZ-B2-2		FAZ-C2-2		FAZ-D2-2	
3	FAZ-B3-2		FAZ-C3-2		FAZ-D3-2	
4	FAZ-B4-2		FAZ-C4-2		FAZ-D4-2	
5	FAZ-B5-2		FAZ-C5-2		FAZ-D5-2	
6	FAZ-B6-2		FAZ-C6-2		FAZ-D6-2	
7	FAZ-B7-2		FAZ-C7-2		FAZ-D7-2	
8	FAZ-B8-2		FAZ-C8-2		FAZ-D8-2	
10	FAZ-B10-2		FAZ-C10-2		FAZ-D10-2	
13	FAZ-B13-2		FAZ-C13-2		FAZ-D13-2	
15	FAZ-B15-2		FAZ-C15-2		FAZ-D15-2	
16	FAZ-B16-2		FAZ-C16-2		FAZ-D16-2	
20	FAZ-B20-2		FAZ-C20-2		FAZ-D20-2	
25	FAZ-B25-2		FAZ-C25-2		FAZ-D25-2	
30	FAZ-B30-2		FAZ-C30-2		FAZ-D30-2	
32	FAZ-B32-2		FAZ-C32-2		FAZ-D32-2	
40	FAZ-B40-2	FAZ-C40-2	FAZ-D40-2			
50	FAZ-B50-2	FAZ-C50-2	-	-		
63	FAZ-B63-2	FAZ-C63-2	-	-		

Figura A.6.3. Tercera parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

EATON FAZ Series Technical Specifications

UL 1077 Supplementary Protectors – UL/CSA				
		B Curve	C Curve	D Curve
Short Circuit Trip Response		3 - 5 I_n	5 - 10 I_n	10 - 20 I_n
Current Range		1 - 63 A	0.5 - 63 A	0.5 - 40 A
Maximum Voltage Ratings UL / CSA	1 pole	277VAC, 48VDC		
	2 pole / 3 pole	480Y / 277VAC*		
	2 poles in series	96VDC Max		
Thermal Tripping Characteristics	1 pole	1.35 I_n @ 40°C		
	Multi-pole	1.45 I_n @ 40°C		
Short Circuit Ratings (@ maximum voltage)	1 pole	10kA (5kA for 40 - 63 A)	5kA	
	2 pole	10kA @ 48VDC		
	3 pole	10kA (5kA for 40 - 63 A)	5kA	
	2 poles in series	10kA @ 96VDC		
Agency Approvals		File E177451, UL 1077, File 204453 CSA 22.2 No. 235, CE		

Note: To obtain the most current agency approval information, see the Agency Approval Checklist section on the specific part number's web page.

IEC/EN 60947-2 Miniature Circuit Breaker				
		B Curve	C Curve	D Curve
Short Circuit Trip Response		3 - 5 I_n	5 - 10 I_n	10 - 20 I_n
Current Range		1 - 63 A	0.5 - 63 A	0.5 - 63 A
Maximum Voltage Ratings - IEC/EN 60947-2	1 pole	240VAC, 48VDC		
	2 pole / 3 pole	240/415 VAC		
	2 poles in series	96VDC		
Thermal Tripping Characteristics	1 pole	> 1 hour @ 1.05 I_n		
	Multi-pole	< 1 hour @ 1.3 I_n		
Interrupt Ratings (At Max Voltage)		15kA		
Operational Switching Capacity		7.5 kA		
Max. Back-up Fuse		125A gL/gG		
Rated impulse withstand - U_{imp}		4000VAC		
Rated insulation voltage - U_i		440VAC		

General Specifications

Selectivity Class	3		
Lifespan	>10,000 (1 operation = ON/OFF)		
Operating Temperature	-40 to +167°F (-40 to +75°C)		
Storage Temperature	-40 to +185°F (-40 to +85°C)		
Shock (IEC68-2-22)	10g - 120ms		
Housing Material	Nylon		
Weight	1 pole	0.28 lb (127g)	
	2 pole	0.54 lb (245g)	
	3 pole	0.84 lb (381g)	

Mechanical Specifications

Terminal Protection	Finger and back-of-hand proof to IEC 536		
Mounting Width Per Pole	17.5 mm		
Mounting	IEC/EN 60715 top-hat rail, DIN rail		
Degree of Protection	IP20		
Terminals Top and Bottom	Twin-purpose terminals		
Supply Connection	Line or load side		
Mounting Position	Without limitation		

Wire Size and Torque Setting

Ampere Rating	Conductor Size		Tightening Torque
0.5 - 63	1 wire	0.75 to 25mm ²	21.2 lb-in (2.4 N-m)
	2 wires	0.75 to 10mm ²	

*A circuit breaker with a 480Y/277 VAC rating can be applied in a solidly grounded circuit where the nominal voltage of any conductor to ground does not exceed the lower value of the circuit breaker's rating (e.g., 277VAC) and the nominal voltage between any two conductors does not exceed its higher value (480VAC). These ratings typically can be found on protective devices such as molded-case circuit breakers and self-protected "Type E" combination motor controllers.

www.automationdirect.com

Circuit Protection tCPR-59

Figura A.6.4. Cuarta parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

EATON FAZ Series Technical Data

Corrected values of the rated current dependent on the ambient temperature

Influence of the Ambient Temperature on the Thermal Tripping Behavior																	
Rated Current (Amps)	Ambient Temperature °C																
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
0.50	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41
1.00	1.30	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	1.00	1.00	0.99	0.97	0.95	0.93	0.90	0.89	0.87	0.85	0.83
2.00	2.60	2.50	2.40	2.30	2.20	2.20	2.10	2.00	2.00	1.90	1.90	1.90	1.80	1.80	1.70	1.70	1.70
3.00	3.80	3.70	3.60	3.50	3.40	3.30	3.10	3.00	3.00	2.90	2.80	2.80	2.70	2.70	2.60	2.50	2.50
4.00	5.10	5.00	4.80	4.70	4.50	4.30	4.20	4.00	3.90	3.90	3.80	3.70	3.60	3.50	3.50	3.40	3.30
5.00	6.40	6.20	6.00	5.80	5.60	5.40	5.20	5.00	4.90	4.80	4.70	4.60	4.50	4.40	4.30	4.20	4.10
6.00	7.70	7.50	7.20	7.00	6.70	6.50	6.30	6.00	5.90	5.80	5.70	5.60	5.40	5.30	5.20	5.10	5.00
7.00	9.00	8.70	8.40	8.20	7.80	7.60	7.40	7.00	6.90	6.80	6.70	6.50	6.30	6.20	6.10	6.00	5.80
8.00	10.20	9.90	9.60	9.30	9.00	8.70	8.40	8.00	7.90	7.70	7.60	7.40	7.20	7.10	6.90	6.80	6.60
10.00	13.00	12.00	12.00	12.00	11.00	11.00	10.00	10.00	9.90	9.70	9.50	9.30	9.00	8.90	8.70	8.50	8.30
13.00	17.00	16.00	16.00	15.00	15.00	14.00	14.00	13.00	13.00	13.00	12.00	12.00	12.00	12.00	11.00	11.00	11.00
15.00	19.00	19.00	18.00	17.00	17.00	16.00	16.00	15.00	15.00	15.00	14.00	14.00	14.00	13.00	13.00	13.00	12.00
16.00	20.00	20.00	19.00	19.00	18.00	17.00	17.00	16.00	16.00	15.00	15.00	15.00	14.00	14.00	14.00	14.00	13.00
20.00	26.00	25.00	24.00	23.00	22.00	22.00	21.00	20.00	20.00	19.00	19.00	19.00	18.00	18.00	17.00	17.00	17.00
25.00	32.00	31.00	30.00	29.00	28.00	27.00	26.00	25.00	25.00	24.00	24.00	23.00	23.00	22.00	22.00	21.00	21.00
32.00	41.00	40.00	38.00	37.00	36.00	35.00	33.00	32.00	32.00	31.00	30.00	30.00	29.00	28.00	28.00	27.00	26.00
40.00	51.00	50.00	48.00	47.00	45.00	43.00	42.00	40.00	39.00	39.00	38.00	37.00	36.00	35.00	35.00	34.00	33.00
50.00	64.00	62.00	60.00	58.00	56.00	54.00	52.00	50.00	49.00	48.00	47.00	46.00	45.00	44.00	43.00	42.00	41.00
63.00	81.00	78.00	76.00	73.00	71.00	68.00	66.00	63.00	62.00	61.00	60.00	58.00	57.00	56.00	55.00	53.00	52.00

Influence of the mains system frequency on the tripping behavior IMA of the instantaneous release

Influence of the Mains Frequency							
Mains Frequency f (Hz)	16 2/3	50	60	100	200	300	400
$I_{MA}(f) I_{MA}(50\text{Hz}) [\%]$	91	100	101	106	115	134	141

Load Carrying Capacity of Adjoining Supplementary Protectors

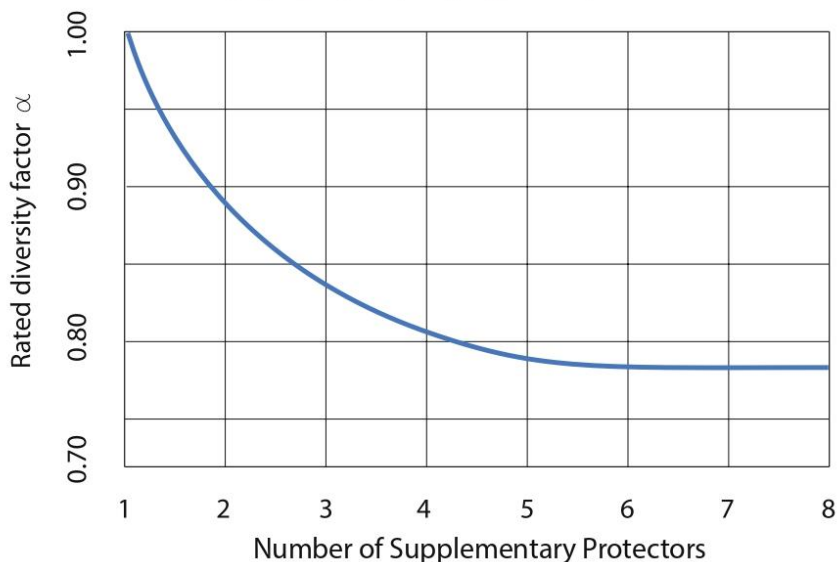


Figura A.6.5. Quinta parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

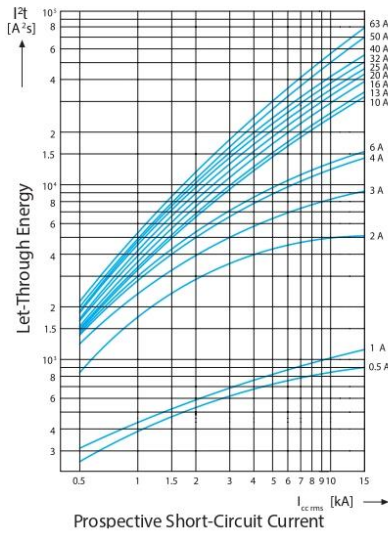
EAT•N FAZ Series Technical Data

Characteristic Curves

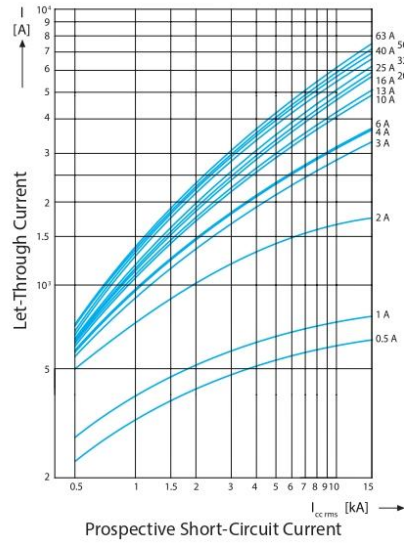
- The X axis shows the prospective short-circuit current levels.
- The Y axis indicates the actual let-through values at those prospective fault ratings for each FAZ device plotted.

As can be interpreted from the bend in the plotted curves, each device acts to limit the damaging let-through energy (and current) at those values of short-circuit current.

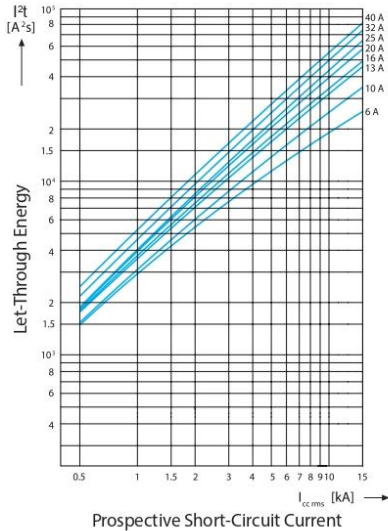
Let-through energy I^2t
Characteristic B and C



Let-through current I
Characteristic B and C



Let-through energy I^2t
Characteristic D



Let-through current I
Characteristic D

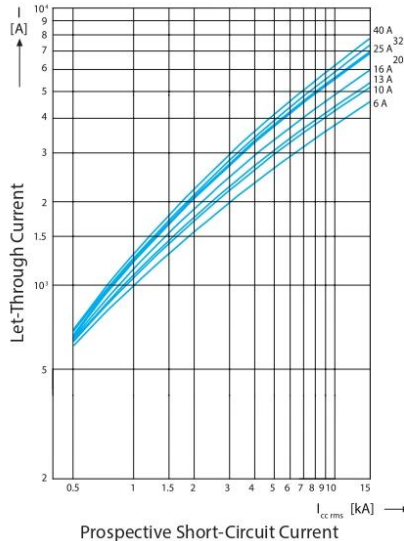
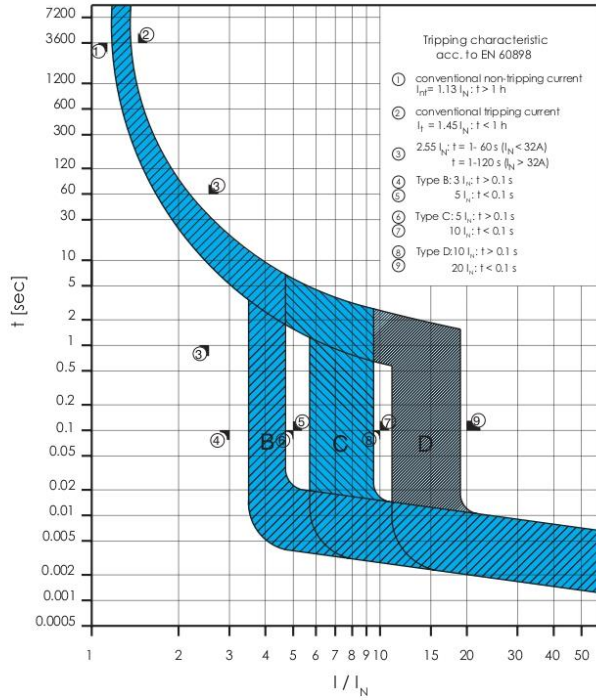


Figura A.6.6. Sexta parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

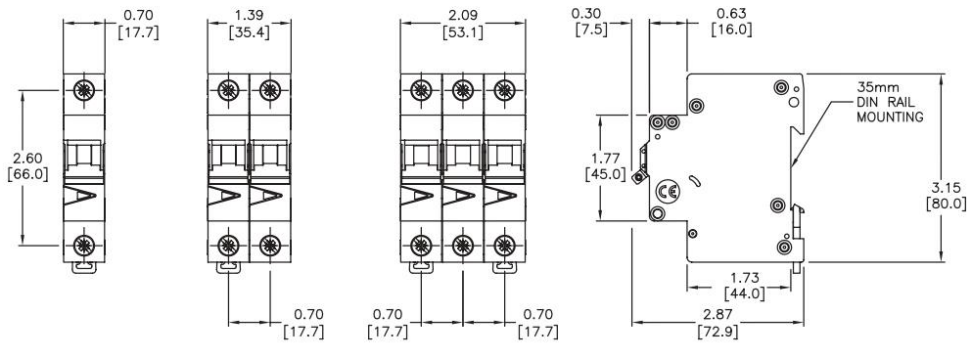
EATON FAZ Series Technical Data

Time-current characteristic Type B, C and D



FAZ Supplementary Protector Dimensions

in [mm]



Please see our website www.AutomationDirect.com for complete engineering drawings. Dimensions are approximate. Not for construction purposes.

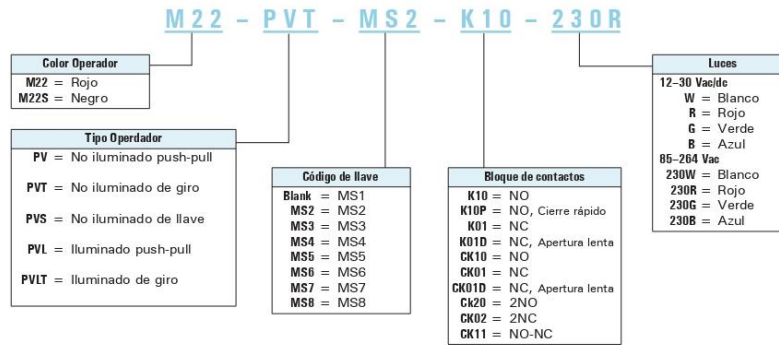
Figura A.6.7. Séptima parte de la especificación técnica del UL1077. Fuente: [28].

A.7 Catálogo de botonería para paro de emergencia EATON

47.4 Comando y señalización M22 Botonería

Selección de número de catálogo

Interruptores de paro de emergencia



Nota: La selección del número de catálogo es de propósito ilustrativo, no debe generarse nuevo número de parte.

Selección de Producto

Interruptores de emergencia no iluminados

47



Boton Completo

Tipo	Color	Configuración	Número de Catálogo	Precio ^①
Push-Pull	Rojo	NC	M22-PV-K01	30.75
		2NC	M22-PV-K02	40.75
		1NO-2NC	M22-PV-K12	50.50
Giro	Rojo	NC	M22-PVT-K01	46.75
		2NC	M22-PVT-K02	57.00
		1NO-2NC	M22-PVT-K12	66.50
Llave	Rojo	NC	M22-PVS-K01	77.00
		2NC	M22-PVS-K02	87.00
		1NO-2NC	M22-PVS-K12	96.50

Nota

^① Descuento 1CD1.

Figura A.7.1. Primera parte de la especificación técnica de los botones de paro de emergencia.

Fuente: [29].

Interruptores de parada de emergencia no iluminados



Componentes

Operador^①

	Tipo	Color	Número de Catálogo	Precio ^④
M22-PV	Push-Pull	Rojo	M22-PV	20.60
		Negro	M22S-PV	20.60
	Giro	Rojo	M22-PVT	36.75
		Negro	M22S-PVT	36.75
	Llave ^③	Rojo	M22-PVS ^⑤	67.00
			M22-PVS-MS2	67.00
			M22-PVS-MS3	67.00
			M22-PVS-MS4	67.00
			M22-PVS-MS5	67.00
			M22-PVS-MS6	67.00
M22-PVS-MS7			67.00	
M22-PVS-MS8			67.00	



Llaves Extra^⑤

	For Key Code	Número de Catálogo	Precio ^④
M22-ES-MS1	MS1	M22-ES-MS1	4.40
	MS2	M22-ES-MS2	4.40
	MS3	M22-ES-MS3	4.40
	MS4	M22-ES-MS4	4.40
	MS5	M22-ES-MS5	4.40
	MS6	M22-ES-MS6	4.40
	MS7	M22-ES-MS7	4.40
	MS8	M22-ES-MS8	4.40



Bloques de Contacto^②

	Tipo de Terminal	Configuración	Número de Catálogo	Precio ^④
M22-K10	Tomillo	NO	M22-K10	10.00
		NO, Cierre rápido	M22-K10P	11.00
		NC	M22-K01	10.00
		NC, Apertura lenta	M22-K01D	11.00
	Resorte	NO	M22-CK10	13.00
		NC	M22-CK01	13.00
		NC, Apertura lenta	M22-CK01D	11.00
		2NO	M22-CK20	23.00
		2NC	M22-CK02	23.00
		NO-NC	M22-CK11	23.00



Accesorios

	Descripción	Número de Catálogo	Precio ^④
M22-XGWK	Anillo cubierto	M22-XGWK	11.25
M22-XGPV	Anillo cubierto Amarillo	M22-XGPV	16.25
M22G-XGPV	Anillo cubierto gris	M22G-XGPV	16.25
	Protector	M22-PL-PV	22.00



Notas

- ① Incluye adaptador de montaje de contactos
- ② Para lista completa de accesorios vea pág. 59-64
- ③ Llave incluida. Para llaves extra utilice el mismo código de llave.
- ④ Incluye código de llave MS1.
- ⑤ Para uso con operador de llave.
- ⑥ Descuento1CD1.


Figura A.7.2. Segunda parte de la especificación técnica de los botones de parada de emergencia.

Fuente:[29].

47.4 Comando y señalización

M22 Botonería

Interruptores de parada de emergencia iluminados

		Interruptor completo						
M22-PVL-K01-R	Tipo	Color	Color led	Configuración	Voltaje	Número de Catálogo	Precio ^①	
	Push-Pull	Rojo	Rojo	NC	12-30 Vac/dc	M22-PVL-K01-R	57.00	
				2NC	12-30 Vac/dc	M22-PVL-K02-R	67.00	
				1NO-2NC	12-30 Vac/dc	M22-PVL-K12-R	76.50	
	Giro				NC	85-264 Vac	M22-PVL-K01-230R	57.00
					2NC	85-264 Vac	M22-PVL-K02-230R	67.00
					1NO-2NC	85-264 Vac	M22-PVL-K12-230R	76.50
					NC	12-30 Vac/dc	M22-PVLT-K01-R	73.00
					2NC	12-30 Vac/dc	M22-PVLT-K02-R	83.00
					1NO-2NC	12-30 Vac/dc	M22-PVLT-K12-R	92.50
					NC	85-264 Vac	M22-PVLT-K01-230R	73.00
	2NC	85-264 Vac	M22-PVLT-K02-230R	83.00				
				1NO-2NC	85-264 Vac	M22-PVLT-K12-230R	92.50	

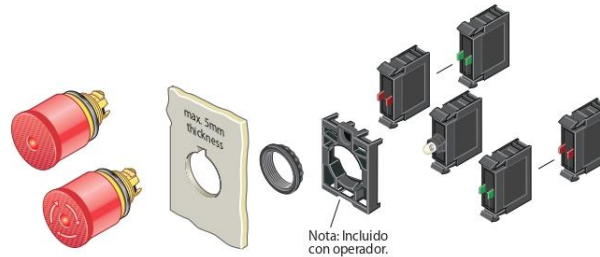
Nota

① Descuento.1CD1 .

Figura A.7.3. Primera parte de la especificación técnica de los botones de paro de emergencia.

Fuente: [29].

Interruptor de parada de emergencia iluminado



Componentes

Operadores ①

Tipo	Color	Número de Catálogo	Precio ③
M22-PVL	Push-Pull	Rojo M22-PVL	46.75
		Negro M22S-PVL	46.75
	Giro	Rojo M22-PVLT	63.00
		Negro M22S-PVLT	63.00



Luces ②

Tipo de Terminal	Color Led	Voltaje	Número de Catálogo	Precio ③
M22-LED-W	Blanco	12-30 Vac/dc	M22-LED-W	26.00
	Rojo	12-30 Vac/dc	M22-LED-R	26.00
	Blanco	85-264 Vac	M22-LED230-W	26.00
	Rojo	85-264 Vac	M22-LED230-R	26.00
	Blanco	207-264 Vac	M22-LED230H-W	26.00
	Rojo	207-264 Vac	M22-LED230H-R	26.00



Contact Blocks ②

Tipo de Terminal	Configuración	Número de Catálogo	Precio ③	
M22-K10	Tornillo	NO	M22-K10	10.00
		NO, Cierre rápido	M22-K10P	11.00
		NC	M22-K01	10.00
		NC, Apertura lenta	M22-K01D	11.00
Resorte	NO	M22-CK10	13.00	
	NC	M22-CK01	13.00	
	NC, Apertura lenta	M22-CK01D	11.00	
	2NO	M22-CK20	23.00	
	2NC	M22-CK02	23.00	
	NO-NC	M22-CK11	23.00	



Accesorios

Descripción	Número de Catálogo	Precio ③	
M22-XGWK	Anillo Cubierto	M22-XGWK	11.25
M22-XGPV	Anillo Cubierto Amarillo	M22-XGPV	16.25
M22G-XGPV	Anillo Cubierto Gris	M22G-XGPV	16.25
	Protector	M22-PL-PV	22.00



Notes

- ① Incluye adaptador de montaje de contactos.
- ② Para una lista completa de accesorios ver pág. 59-64.
- ③ Descuento.1CD1.

Figura A.7.4. Primera parte de la especificación técnica de los botones de parada de emergencia.

Fuente: [29].

A.8 Riel de montaje 6ES5710-8MA11

SIEMENS

Hoja de datos

6ES5710-8MA11

SIMATIC, perfil DIN 35mm, Longitud 483 mm para armarios de 19"



Dimensiones	
Ancho	482,6 mm
Altura	35 mm
Profundidad	15 mm
Última modificación:	19/08/2020 ↻

Figura A.8.1. Especificación técnica del riel de montaje 6ES5710-8MA11. Fuente: [37].

A.9 Gabinete de montaje NSYCRN43200 de Schneider Electric

Ficha técnica del producto Características

NSYCRN43200

Puerta ciega Spacial CRN sin placa de montaje AI
400 x An 300 x L 200 IP66 IK10



Principal

Gama	Spacial
Nombre del producto	Spacial CRNG
Application	Multiuso
Category	Armario compacto
Altura nominal del armario	400 mm
Anchura nominal del armario	300 mm
Profundidad nominal del armario	200 mm
Tipo de accesorio de instalación	Montaje mural
Composición de equipos	1 cuerpo 1 placa pasacables 1 puerta 1 cierre
Tipo de puerta	Ciego
Descripción de la placa de montaje	Sin placa de montaje

Complementario

Body type	Lados conformados a partir de una única sección doblada Soldadura posterior con perfil doble formando un área sellada y protegida
Número de puertas	Cara frontal, estado 1 1 puertas
Apertura de puerta	Reversible - tipo de cable: 120 °)
Tipo de cierre	Cierre de doble barra de 3 mm
Tipo de placa pasacables	Estándar
Accesibilidad para funcionamiento	Parte frontal
Piezas extraíbles	Puerta mediante bisagras Placa pasacables por tornillos
Material	Cuerpo, estado 1 acero
Acabado de superficie	Polvo de epoxy-poliéster
Color	Gris - tipo de cable: RAL 7035)

11/10/2021

Life Is On | Schneider
Electric

1

Descargo de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como reemplazo, ni se debe utilizar para determinar la idoneidad o la confiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuarios

Figura A.9.1. Especificación técnica del gabinete NSYCRN43200. Fuente: [30].

Normas	IEC 62208
Certificaciones de producto	UL cUL DNV-GL
Peso del producto	5,81 kg

Entorno

Grado de protección IP	IP66 acorde a Activar / desactivar Ig
Grado de protección IK	IK10 acorde a accesorio de aislamiento

Packing Units

Tipo de Unidad de Paquete 1	PCE
Número de Unidades en el Paquete 1	1
Paquete 1 Peso	5,569 kg
Paquete 1 Altura	21 cm
Paquete 1 ancho	31 cm
Paquete 1 Largo	41,5 cm

Offer Sustainability

Estado de oferta sostenible	Producto Green Premium
Reglamento REACH	Declaración de REACH
Conforme con REACH sin SVHC	Sí
Directiva RoHS UE	Cumplimiento proactivo (producto fuera del alcance de la normativa RoHS UE) Declaración RoHS UE
Sin mercurio	Sí
Información sobre exenciones de RoHS	Sí
Normativa de RoHS China	Declaración RoHS China Producto fuera del ámbito de RoHS China. Declaración informativa de sustancias
Comunicación ambiental	Perfil ambiental del producto

Contractual warranty

Periodo de garantía	18 months
---------------------	-----------

A.10 Módulo de comunicación CSM 1277

SIEMENS

hoja de datos del producto

6GK7277-1AA10-0AA0


Designación del tipo de producto	
CSM 1277	
	<p>COMPACT SWITCH MODULE CSM 1277 CONEXION SIMATIC S7-1200 Y HASTA 3 ESTACIONES MAS A IND. ETHERNET CON 10/100 MBIT/S UNMANAGED SWITCH, 4 PUERT RJ45, ALIMENTACION 24V DC EXT. LED DIAGNOST, MODULO S7-1200 INCL. MANUAL ELECTRONICO EN CD</p>
Velocidad de transf.	
Tasa de transmisión / 1	10 Mbit/s
Tasa de transmisión / 2	100 Mbit/s
Interfaces	
Número de conexiones eléctricas/ópticas / para componentes de red o equipos terminales / máximo	4
Número de conexiones eléctricas	
• para componentes de red o equipos terminales	4
• para alimentación de tensión	1
Versión de la conexión eléctrica	
• para componentes de red y equipos terminales	Puerto RJ45
Tensión de alimentación, consumo, pérdidas	
Tipo de corriente / de la tensión de alimentación	DC
Tensión de alimentación / externa	24 V
• mínima	19,2 V
• máxima	28,8 V
Componente del producto / protección con fusibles en la entrada de alimentación	Sí
Versión de la protección con fusibles / en la entrada para la tensión de alimentación	0,5 A / 60 V
Corriente consumida / máxima	0,07 A

Figura A.10.1. Primera parte de la especificación técnica del módulo CSM 1277. Fuente: [26].

Potencia activa disipada / a 24 V / DC	1,6 W
Condiciones ambientales admisibles	
Temperatura ambiente	
• durante el funcionamiento	0 ... 60 °C
• durante el almacenamiento	-40 ... +70 °C
• durante el transporte	-40 ... +70 °C
Humedad relativa	
• a 25 °C / sin condensación / durante la operación / máx.	95 %
Grado de protección IP	IP20
Diseño, dimensiones y pesos	
Forma constructiva	Diseño del SIMATIC S7-1200
Anchura	45 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso neto	0,15 kg
Tipo de fijación	
• montaje en perfil DIN de 35 mm	Sí
• montaje en pared	Sí
• montaje en perfil soporte S7-300	No
• montaje en perfil soporte S7-1500	No
Funciones del producto / Gestión, programación, configuración	
Función de producto	
• Mirroring multipuerto	No
• gestionada por switch	No
Normas, especificaciones y homologaciones	
standard	
• for FM	FM3611: Class 1, Divison 2, Group A, B, C, D / T..., CL.1, Zone 2, GP, IIC, T... Ta
• sobre zonas EX	EN 600079-15:2005, EN 600079-0:2006, II 3 G Ex nA II T4, KEMA 08 ATEX 0003 X
• para seguridad / de CSA y UL	UL 508, CSA C22.2 Nr. 142
• para emisión de interferencias	EN 61000-6-4 (Class A)
• para inmunidad a interferencias	EN 61000-6-2
Certificado de aptitud	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4
• Marcado CE	Sí
• C-Tick	Sí
• homologación KC	No
Sociedad de clasificación naval	
• American Bureau of Shipping Europe Ltd. (ABS)	No

Figura A.10.2. Segunda parte de la especificación técnica del módulo CSM 1277. Fuente: [26].

• Bureau Veritas (BV)	No
• Det Norske Veritas (DNV)	No
• Germanischer Lloyd (GL)	No
• Lloyds Register of Shipping (LRS)	No
• Nippon Kaiji Kyokai (NK)	No
• Polski Rejestr Statkow (PRS)	No
Duración media de servicio entre dos fallos (MTBF) / a 40 °C	273 a
Tiempo medio entre fallos (MTBF)	273 a
Más información / Enlaces a Internet	
Enlace de Internet	
• a la página web: Guía de selección SIMATIC NET SELECTION TOOL	http://www.siemens.com/snst
• a la página web: Comunicación industrial	http://www.siemens.com/simatic-net
• a la página web: Centro de información y descarga	http://www.siemens.com/automation/net/catalog
• a la página web: Archivo gráfico	http://automation.siemens.com/bilddb
• a la página web: CAx-Download-Manager	http://www.siemens.com/cax
• a la página web: Industry Online Support	http://support.automation.siemens.com
Información de seguridad	
Información de seguridad	Siemens suministra productos y soluciones con funciones de seguridad industrial que contribuyen al funcionamiento seguro de instalaciones, soluciones, máquinas, equipos y redes. Dichas funciones son un componente importante de un sistema global de seguridad industrial. En consideración de lo anterior, los productos y soluciones de Siemens son objeto de mejoras continuas. Por ello, le recomendamos que se informe periódicamente sobre las actualizaciones de nuestros productos. Para el funcionamiento seguro de los productos y soluciones de Siemens, es preciso tomar medidas de protección adecuadas (como el concepto de protección de células) e integrar cada componente en un sistema de seguridad industrial integral que incorpore los últimos avances tecnológicos. También deben tenerse en cuenta los productos de otros fabricantes que se estén utilizando. Encontrará más información sobre seguridad industrial en http://www.siemens.com/industrialsecurity . Si desea mantenerse al día de las actualizaciones de nuestros productos, regístrese para recibir un boletín de noticias específico del producto que desee. Encontrará más información en http://support.automation.siemens.com . (V3.4)
letzte Änderung:	09-sep-2014

Figura A.10.3. Tercera parte de la especificación técnica del módulo CSM 1277. Fuente: [26].

B Apéndices

B.1 Entrevista

A continuación, se presenta una transcripción de la entrevista realizada al Laboratorista Químico e Ingeniero de Procesos y Calidad Willy Madrigal Acosta encargado del área de Proceso y Preparación de Plásticos y Compuestos.

P1: ¿Cuántas personas se ven involucradas en el procesamiento de las masas?

R1: El departamento cuenta con treinta y seis colaboradores, tres de ellos son coordinadores, uno por turno y el personal se divide en varios subprocesos.

P2: ¿Las personas que se encargan de llenar los tanques y encenderlos son esos tres coordinadores?

R2: Son esos tres colaboradores, cuyo proceso se llama filtro, aunque en realidad son seis ya que otros muchachos de un proceso llamado diluidor también encienden los motores para homogenizar la masa.

P3: ¿Existe la posibilidad de llegar a tener contacto con estas personas involucradas para realizarles alguna consulta?, principalmente para tener conciencia del conocimiento computacional de estas personas ante una eventual solución.

R3: Hay que tratar de hacer la solución lo más amigable posible, y si se puede tener contacto cuando se estén desarrollando trabajos por acá.

P4: ¿Con cuáles recursos se cuenta en el área? ¿Existe la posibilidad de realizar una conexión por cable a internet o de ser requerida, una conexión a 110V, 220V y demás? ¿Este tipo de cosas se pueden solicitar para ser instaladas?

R4: Sí, acometidas hay de varios tipos, respecto al internet se gestiona por subcontratación, lo que son acometidas de voltaje si lo puede realizar el departamento de mantenimiento.

P5: Podría describir en su totalidad el proceso desde que se introduce el fluido en el tanque hasta que se extrae de este.

R5: Antes de que el fluido llegue al tanque se debe preparar el Plástisol, los Plásticos son diferentes unos de otros ya que hay muchas fórmulas dependiendo de las propiedades del producto, estos una vez preparados por el laboratorio se almacenan en estos tanques, después de estos tanques se filtra, luego se le pone el color, se procede a batir, el color lleva una revisión por parte del laboratorio para asegurar el estándar y luego lleva una evacuación de aire y de aquí se tiene listo para llevar a la generadora, la cual fabrica el vinilo.

P6: ¿Este proceso de filtrado en qué consiste?

R6: El fin es eliminar impurezas, el Plástisol durante la preparación son sacos los cuales suelen traer impurezas, la máquina que lo prepara realiza el corte de estos sacos de forma automática, por lo que puede llevar papel, astillas de madera, carbonato de calcio, tipos de mugre, existen dos tipos de calidades de carbonato entonces pueden existir residuos,

básicamente es eliminar impurezas a través de un trasiego mediante una bomba de un recipiente a otro con filtros de poliamida con mesh 250 y 150 micras.

P7: ¿Estos filtros están en las salidas de los tanques?

R7: Algunos, en los tanques hay dos tipos, para aclarar hay tres tipos de Plastisol, capa, espuma y laminación, la capa y la espuma se almacenan en tanques. La capa que es la cara del vinil es la que conlleva un proceso de filtrado más riguroso por lo que usa filtros de 150 micras, la espuma tiene un proceso de filtrado con 250 micras puesto en el tanque, a la capa no se le pone filtro en el tanque porque genera una pérdida de tiempo, ya que no queda bien el filtrado.

P8: ¿Se realiza alguna clase de medición intermedia cuando el fluido está en el tanque, como de temperatura?

R8: No mientras todo esté bajo control, si se comienza a ver algún tipo de problema se hacen chequeos de laboratorio por ese problema específico, pero si no lo hay no se realizan.

P9: ¿Cuánto tiempo máximo puede durar el fluido en el tanque?

R9: El ideal anda entre tres y cuatro días, siempre se trabaja con un back up de por lo menos 2 días, entonces el producto debería estar en el tanque los dos días que se tienen de back up y uno o dos días más.

P10: ¿Entonces el tanque no debería pasar una semana con el mismo fluido?

R10: No debería, pero si puede pasar. Puede pasar que se tenga producto preparado y el programa se mueva por alguna clase de reparación entonces no se puede fabricar el producto, entonces puede pasar, pero no es lo normal.

P11: ¿Qué expectativas posee de un eventual sistema de control, que es lo que desea que una interfaz le permita controlar?

R11: Respecto a lo que permita controlar se piensa en el tiempo del batido además de los ciclos de batido, se piensa en la homogenización del producto, aquí se busca que el batido mantenga el producto homogéneo ya que dependiendo del producto que se fabrica existen algunos con muchas cargas, siendo algunas de estas borato de zinc, hidróxido de aluminio, carbonato de calcio, son productos bastante densos que se precipitan, entonces a pesar de que el producto no llegue a precipitarse hasta tener dos fases, la parte inferior de la masa llega a tener un tono ligeramente diferente a la parte superior, entonces al ir sacando pedidos del tanque una olla tiene un color y otra el mismo con ligeras diferencias, por lo que se entra en un reproceso donde se deben mezclar para dejarlas igual.

P12: ¿Hay alguna diferencia en términos de tiempo de agitación entre un Plastisol y otro?

R12: No todos se programarían igual.

P13: ¿Hay alguna particularidad física que usted clasifique como importante a considerar respecto del fluido, alguna característica extraña?

R13: Característica extraña no, es crítica la temperatura ya que después de los cuarenta y tres o cuarenta y cuatro grados empieza una reacción en donde sube la temperatura y se

empieza a aumentar la viscosidad y al seguir agitando se llega a solidificar, a lo cual se le conoce como que se “quema” al llegar a los cuarenta y seis grados. En el proceso se evita que se superen los cuarenta y tres, pero en cuarenta y cuatro ya se empiezan a tener problemas.

Los Plastisoles son muy densos, la unidad de medida de viscosidad utilizada son los centipoise y los valores entre sustancias varían mucho teniendo desde 5000 a 20000 centipoises lo que es un rango muy grande. Esto ocurre porque los productos tienen dos PVC's uno de alta viscosidad y otro de baja viscosidad entonces el área de formulación regula las cantidades de PVC buscando una viscosidad de trabajo en planta para que pueda añadirse el color en un tiempo determinado y después su viscosidad aumente para producción, en el Plastisol la viscosidad siempre tiende a subir por naturaleza así que en reposo aumenta su viscosidad hasta un momento de maduración donde se estabiliza, pero esto puede durar entre tres y cuatro días.

P14: ¿Cuál es una temperatura habitual del Plastisol?

R14: Entre treinta y nueve y cuarenta grados.

P15: ¿Al agitarlo no se atrasa el proceso de maduración?

R15: Sí lo retrasa, pero no se necesita que se alcance el máximo de viscosidad, al añadir el color la viscosidad del Plastisol se mantiene estable alrededor de unas dieciséis horas por lo que se puede trabajar tranquilamente, la viscosidad tiene que hacer que los pigmentos de color no se separen pronto, por eso se trabaja con las viscosidades actuales.

P16: ¿Cuál es el motivo de que la sustancia se caliente?

R16: Es por fricción, ocurre si se olvida apagar el tanque, pero es un comportamiento mecánico.

P17: ¿De qué está compuesto el fluido?

R17: En su forma más básica, el Plastisol es PVC de emulsión, plastificantes, relleno como carbonato, y aditivos para generar las propiedades del producto.

P18: ¿Cómo se maneja la agitación del fluido actualmente?

R18: Se maneja de forma manual dos veces por turno, se tiene un horario, pero este depende de los operarios, lo cual es riesgoso, ya que es preocupante que se le olvide a alguien apagarlo a que no lo agite, pero si se olvida apagar el tanque la empresa se mete en un problema.

P19: ¿Ha pasado que a alguien se le olvide apagar algún tanque?

R19: Yo no trabajaba acá, pero sí ha pasado.

P20: ¿A qué problemática se ve expuesta la empresa al no existir un sistema automático para este proceso?

R20: Tanto a nivel empresarial no se llega los problemas que podrían existir por los filtros que el laboratorio brinda, el mayor problema que pasa estos filtros es la problemática de color, el producto que salga no homogéneo no se puede desechar, por lo que se tiene que estar mezclando ollas ya con color lo que es un reproceso que abarca mucho tiempo, se debe tomar la olla con el color y mezclar por lo menos una hora para

que se homogenice el color, ósea que cada vez que el producto salga no homogéneo del tanque se pierde una hora y se ensucia el equipo de filtrado que es para producto transparente, por lo que se tiene que lavar en lo que se duran alrededor de treinta minutos, así que cada reproceso puede durar hora y media. El mayor problema es el tiempo no productivo, ya que de este proceso depende que la máquina generadora que es el siguiente proceso esté activa, y el laboratorio no va a permitir que el Plastisol con color siga si el color no es homogéneo.

P21: ¿Se ha hecho un análisis de costos debido a las pérdidas de horas por este factor?

R21: Sí, al tiempo no productivo se le llama TNP y va enfocado al área de generación, filtrado tiene un indicador de proceso, que es cuánto tiempo se detiene la máquina por responsabilidad mía, entonces se busca que no se detenga, un minuto de la máquina detenida tiene un costo considerable, por lo que un reproceso de hora y media es bastante dinero.

P22: ¿Si se llegara a endurecer el Plastisol por quemado que costo podría representar esto?

R22: Dependiendo del producto existe un rango por los aditivos el precio por kilo ronda los 1100 y 1500 colones, la cantidad de los tanques varía entre los 1000 y los 7000 kilos, por lo que un tanque de 7000 kilos con el Plastisol más económico de 1100 colones puede llegar a costar 7.700.000 colones solo en material, mientras el tiempo de paro en teoría no debería percibirse porque siempre existe el back up, ha pasado que no se puede utilizar un material pero este solo se deja en el tanque hasta que se defina que hacer, esto sería algo similar solo que con un tanque obstruido.

P23: ¿Existe algún otro problema respecto del movimiento de operarios de una labor a donde están los tanques para encenderlos?

R23: Claro, porque ellos tienen que estar pendientes del tiempo de agitación y a pura memoria deben estar pendientes de encenderlo y apagarlo, el tiempo puede no ser tan significativo, pero si existe, con 4 minutos por turno solo en desplazamiento, por tres turnos, por seis días por 52 semanas, son 62 horas, lo cual sería alrededor de semana y media solo en desplazamientos al año.

P24: Tengo entendido que se encienden tanques simultáneamente, lo cual genera picos de corriente ¿Qué problemáticas genera esto?

R24: Esa es una problemática importante, sé que a la empresa le cobran por pico de energía, el problema que se tiene es que se enciende el tanque y alguien encienda por ejemplo un diluidor y otra persona una estampadora, y en esta área se enciendan tres tanques a la vez, se aumenta el pico, lo cual es algo que se trata de evitar cuadrando los encendidos fuera de la hora pico del ICE.

B.2 Encuesta de jerarquización

La siguiente tabla corresponde a la encuesta de jerarquización de necesidades aplicada al Ingeniero de Calidad de Producción Willy Madrigal Acosta. En esta se muestra una guía sencilla de cómo rellenarla, de manera que se pueda identificar una jerarquía de las necesidades para planificar una solución acorde durante el proceso de diseño, en miras de dar énfasis en solventar de forma adecuada cada uno de los problemas del cliente.

Tabla B.2.1 Encuesta para la jerarquización de necesidades.

Automatización y optimización del procesado de plastisol para la empresa Proquinal		
Encuesta de Jerarquización de Necesidades por Roberto Matamoros Gamboa		
Para cada una de las siguientes necesidades identificadas para el proyecto de automatización, por favor indique en una escala de 1 a 5 qué tan importante es esa necesidad para la planta según su criterio. Por favor use la siguiente escala:		
<ol style="list-style-type: none"> 1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función. 2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla. 3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria. 4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella. 5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función. 		
También indique, con una marca en la caja de la derecha, si piensa usted que la función es única, interesante y/o inesperada.		
Importancia de la función en escala 1 a 5	Función	Marque esta casilla si la función es única, interesante y/o inesperada
5	El sistema es de uso intuitivo.	
5	El sistema permite controlar los ciclos de batido que realizan los tanques.	
5	El sistema permite controlar los tiempos de batido continuo que realiza cada tanque.	
5	El sistema puede ser accionado de forma manual o automática.	
4	El sistema evita el encendido simultáneo de los tanques reduciendo el pico de energía.	
5	El sistema no produce variaciones entre una sustancia y otra.	
5	El sistema permite controlar los tanques de forma individual.	
3	El sistema mide la temperatura de los tanques.	X
3	El sistema evita el sobrecalentamiento del Plastisol.	X
3	Al utilizar el sistema se obtiene un resultado homogéneo del Plastisol.	
5	El sistema reduce el riesgo de que se olvide apagar el tanque.	
4	El sistema reduce el Tiempo No Productivo.	
3	El sistema reduce el riesgo de quemado del Plastisol.	X
4	El sistema elimina las pérdidas de tiempo por desplazamiento de operarios.	
4	El sistema reduce el reproceso realizado al Plastisol.	

B.3 Cálculo de propagación de la incertidumbre

Debido a la utilización de elementos de medición para la obtención de resultados del experimento realizado en el Capítulo 4 “Experimento para la obtención del tiempo óptimo de agitación y ciclo de trabajo del Plastisol”, es necesario realizar el cálculo de la propagación de la incertidumbre para determinar la exactitud de los resultados presentados en términos de la medición.

En el experimento realizado se hace uso de un termómetro digital Cooper Atkins con una tolerancia de $\pm 0.1^\circ\text{C}$ y un viscosímetro Brook Fiel con una tolerancia de ± 50 cP, y se hace uso del cálculo de promedios y diferencias, esto quiere decir que se hace uso de sumas, divisiones y restas para presentar resultados.

Para ilustrar el procedimiento llevado a cabo para el cálculo de incertidumbre se hará uso de los primeros datos de la prueba de agitación de cinco minutos para ciclos de cuatro horas donde:

- Las viscosidades de la zona superior 1, 2 y 3 presentaron resultados de 25050 cP, 25500 cP y 23250 cP respectivamente.
- Las viscosidades de la zona inferior 4, 5 y 6 presentaron resultados de 20250 cP, 17200 cP y 18150 cP respectivamente.

Para el cálculo de promedios se hace uso de la suma de los tres valores por zona y la división de estos, para calcular la propagación de la incertidumbre de una suma se emplea la Ec. B.1.

$$z = x + y \quad dz = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (B. 3.)$$

Donde:

- z = magnitud resultante de la suma de mediciones.
- x = magnitud de la primera medición.
- y = magnitud de la segunda medición.
- dz = tolerancia resultante de la suma de mediciones.
- dx = tolerancia de la primera medición.
- dy = tolerancia de la segunda medición.

Las definiciones anteriores serán de utilidad para lo restante de esta sección. A partir de la Ec B.1 puede calcularse la suma de las tres temperaturas y las tres viscosidades para posteriormente ser divididas y obtener el promedio de cada zona a partir de la Ecuación B.2.

$$z = x \div y \quad dz = z * \sqrt{(dx \div x)^2 + (dy \div y)^2} \quad (B. 3.2)$$

El procedimiento seguido para el cálculo de la incertidumbre del promedio de las viscosidades se presenta a continuación.

Primera suma ($25050 \pm 50 \text{ cP} + 25500 \pm 50 \text{ cP}$):

$$z = 25050 \text{ cP} + 25500 \text{ cP} \quad dz = \sqrt{50^2 + 50^2} \quad (B. 3.3)$$

$$z = 50550 \text{ cP} \quad dz = 70.7107 \quad (B. 3.4)$$

Segunda suma ($50550 \pm 70.7107 \text{ cP} + 23250 \pm 50 \text{ cP}$):

$$z = 50550 \text{ cP} + 23250 \text{ cP} \quad dz = \sqrt{70.7107^2 + 50^2} \quad (B. 3.5)$$

$$z = 73800 \text{ cP} \quad dz = 86.6 \quad (B. 3.6)$$

División ($73800 \pm 86.6 \text{ cP} \div 3$):

$$z = 73800 \div 3 \quad dz = 73800 \sqrt{(86.6 \div 73800)^2 + (0 \div 3)^2} \quad (B. 3.7)$$

$$z = 24600 \text{ cP} \quad dz = 86.6 \quad (B. 3.8)$$

Siendo así ± 86.16 la incertidumbre para los cálculos de promedios de viscosidad, la cual es invariante debido a que todas las mediciones de este parámetro poseen las mismas tolerancias, este procedimiento se sigue de la misma forma para los cálculos de promedio de temperatura. Por otra parte, el cálculo de la incertidumbre de las diferencias entre los promedios de viscosidades se calcula de la siguiente forma (utilizando valor absoluto debido a que se requiere solo la magnitud):

$$z = |x - y| \quad dz = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (B. 3.9)$$

Teniendo el resultado obtenido ($24600.00 \pm 86.6 \text{ cP}$) y siguiendo el mismo procedimiento para las zonas 4, 5 y 6 obteniendo $28533.33 \pm 86.6 \text{ cP}$ la tolerancia para la diferencia entre viscosidades se obtiene de la siguiente forma:

$$z = |24600.00 \text{ cP} - 28533.33 \text{ cP}| \quad dz = \sqrt{86.6^2 + 86.6^2} \quad (B. 3.10)$$

$$z = 3933.33 \text{ cP} \quad dz = 122.47 \quad (B. 3.11)$$

Lo que quiere decir que todas las diferencias involucradas en el experimento poseen una tolerancia de $\pm 122.47 \text{ cP}$. Las tolerancias calculadas se muestran en el siguiente apéndice adjunto de resultados del experimento además de las obtenidas para la temperatura, las cuales siguen el mismo procedimiento.

B.4 Resultados del experimento

En las siguientes secciones se muestran el conjunto de tablas con los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en los tanques de almacenamiento del Plastisol, en estas tablas se muestran los siguientes datos:

- Tiempo: representa en horas la cantidad de tiempo transcurrido entre las pruebas, la primera prueba inicia en tiempo 0 h. (prueba realizada a las 8:00 a.m.), la segunda prueba en tiempo 4 h. (realizada a las 12:00 m.d.) y la tercera en tiempo 8 h. (realizada a las 4:00 p.m.).
- Estado: el estado es la condición en las que fueron tomadas las pruebas, el estado de reposo se refiere a las pruebas que se tomaron previo a encender el tanque y el estado de agitación se refiere a las muestras tomadas posteriormente a que la sustancia fuera agitada.
- Temperatura: esta medición es la respectiva a la de la temperatura de la muestra para cada caso medida en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- Promedio-Temperatura: se refiere al promedio de la temperatura de las tres muestras tomadas en la sección respectiva (parte superior o inferior del tanque).
- Viscosidad: es la medición obtenida de laboratorio de la viscosidad para cada muestra medida en centipoises (cP).
- Promedio-Viscosidad: corresponde al promedio de viscosidad en el área respectiva del tanque.
- Diferencia: consiste en la diferencia de los promedios de viscosidad tanto para la sección superior como la inferior del tanque.

Por otra parte, se adjuntan los gráficos vistos en el Capítulo 4 “Experimento para la obtención del tiempo óptimo de agitación y ciclo de trabajo del Plastisol”, con el fin de facilitar su revisión.

B.4.1 Resultados de la prueba de agitación de 5 minutos con ciclos de 4 horas

Tabla B.4.1. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante cinco minutos cada cuatro horas.

Sección superior del tanque						
Tiempo (h)	Estado	Temperatura (± 0.1 °C)	Promedio (± 0.17 °C)	Viscosidad (± 50 cP)	Promedio (± 86.6 cP)	Diferencia (± 122.47 cP)
0.0	Reposo	27.4	27.67	25050	24600.0	
		27.5		25500		
		28.1		23250		
	Agitación	29.3	29.23	11150	11550.0	
		29.9		11050		
		28.5		12450		
4.0	Reposo	28.5	28.17	15600	15550.0	
		28.2		15400		
		27.8		15650		
	Agitación	30.0	29.67	8500	8366.7	
		30.0		8250		
		29.0		8350		
8.0	Reposo	28.3	28.37	12200	12200.0	
		28.4		12500		
		28.4		11900		
	Agitación	29.0	29.40	8650	7783.3	
		29.6		5800		
		29.6		8900		
Sección inferior del tanque						
0.0	Reposo	28.4	28.80	20250	18533.3	6066.67
		29.0		17200		
		29.0		18150		
	Agitación	30.4	29.30	11350	11566.7	16.67
		29.1		11350		
		28.4		12000		
4.0	Reposo	28.0	28.67	16250	15616.7	66.67
		29.2		15000		
		28.8		15600		
	Agitación	28.1	28.63	7650	8250.0	116.67
		29.0		8300		
		28.8		8800		
8.0	Reposo	29.2	29.23	12100	12450.0	250.00
		29.4		12750		
		29.1		12500		
	Agitación	29.5	29.00	7700	7983.3	200.00
		29.0		8150		
		28.5		8100		

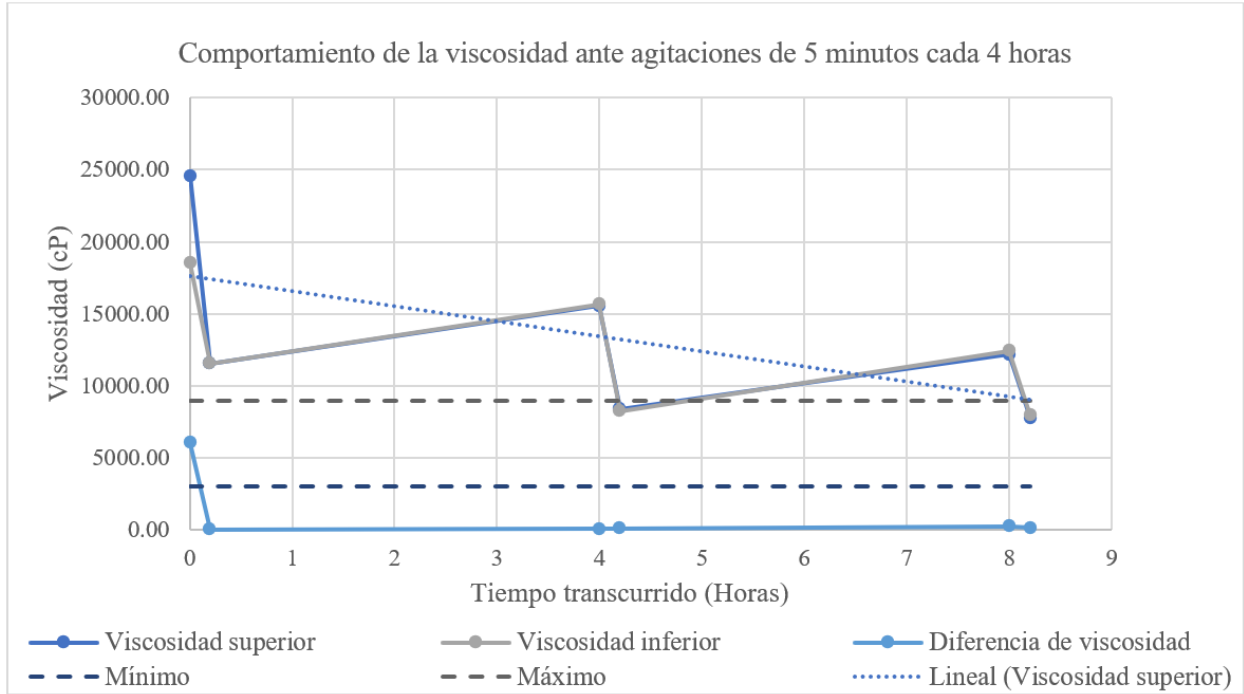


Figura B.4.1. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.

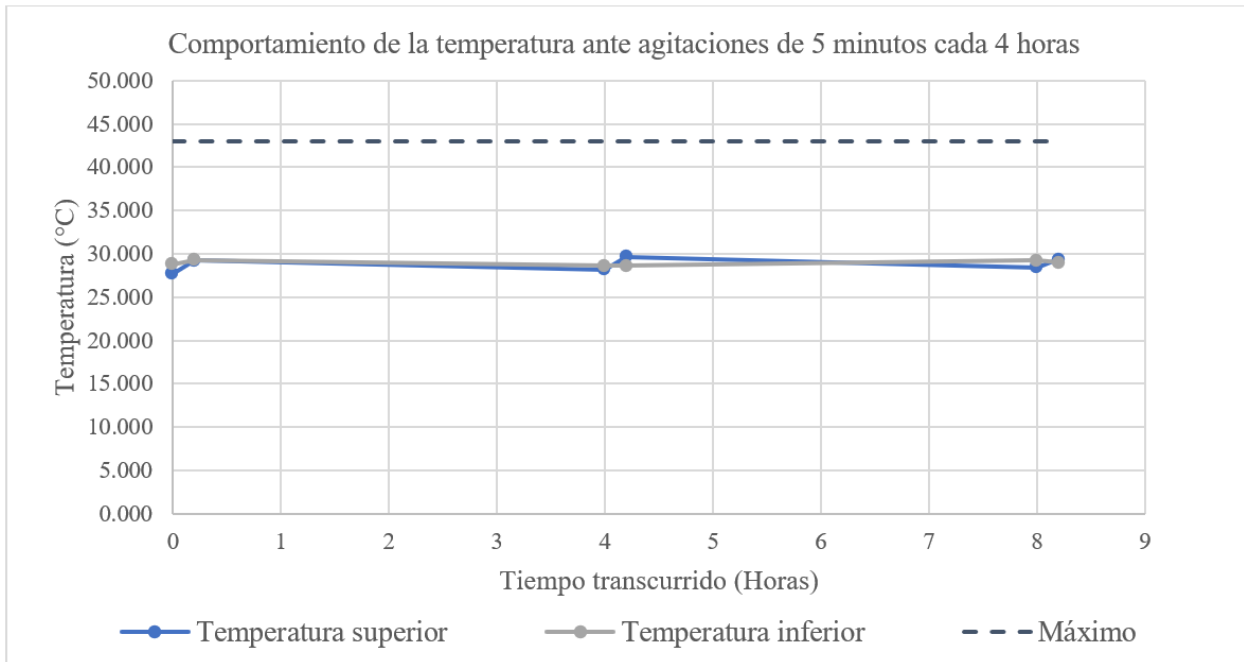


Figura B.4.2. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 4 horas.

B.4.2 Resultados de la prueba de agitación de 5 minutos con ciclos de 8 horas

Tabla B.4.2. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante cinco minutos cada ocho horas.

Sección superior del tanque						
Tiempo (h)	Estado	Temperatura (± 0.1 °C)	Promedio (± 0.17 °C)	Viscosidad (± 50 cP)	Promedio (± 86.6 cP)	Diferencia (± 122.47 cP)
0	Reposo	27.2	27.23	24700	26266.7	
		27.3		26950		
		27.2		27150		
	Agitación	28.0	27.73	8950	9250.0	
		27.7		9100		
		27.5		9700		
8	Reposo	27.8	28.00	18300	17516.7	
		28.2		17300		
		28.0		16950		
	Agitación	28.4	28.63	11600	11416.7	
		28.8		11500		
		28.7		11150		
Sección inferior del tanque						
0	Reposo	27.3	27.33	23050	24466.7	1800.00
		27.2		25850		
		27.5		24500		
	Agitación	27.6	27.97	8550	8883.3	366.67
		28.9		8500		
		27.4		9600		
8	Reposo	28.8	28.60	17900	17700.0	183.33
		28.4		17600		
		28.6		17600		
	Agitación	28.7	28.70	10950	10566.7	850.00
		28.7		10250		
		28.7		10500		

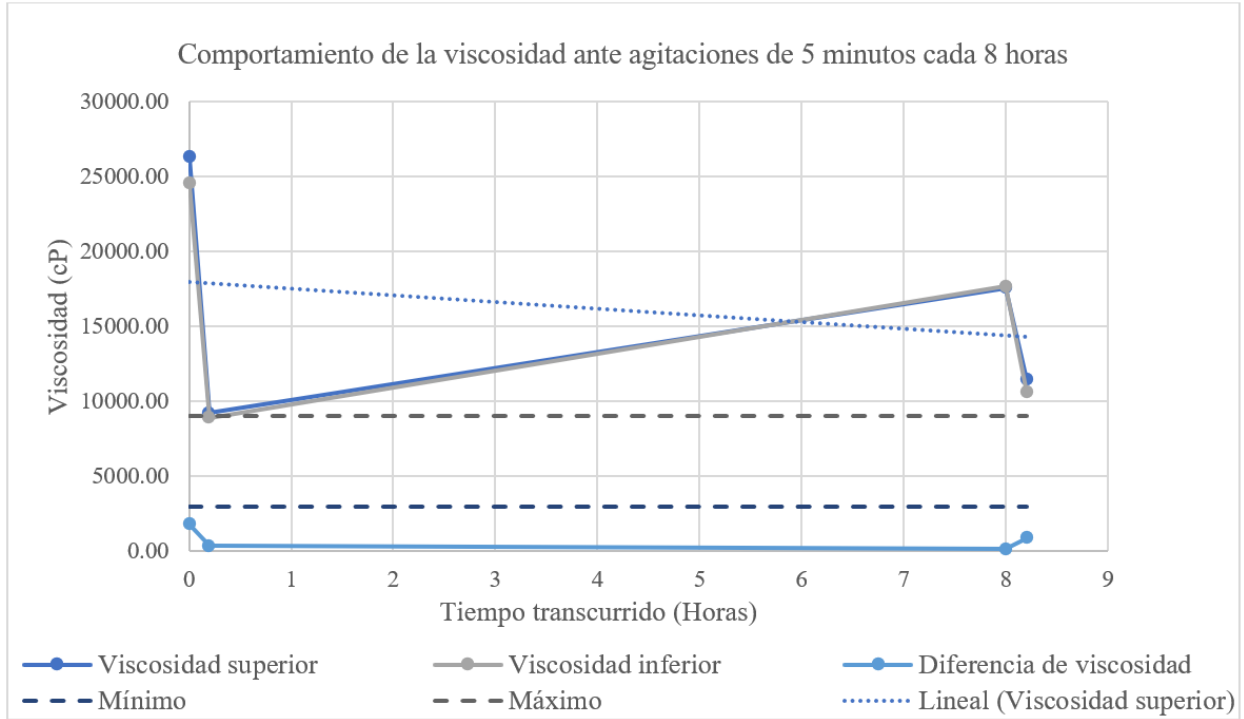


Figura B.4.3. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.

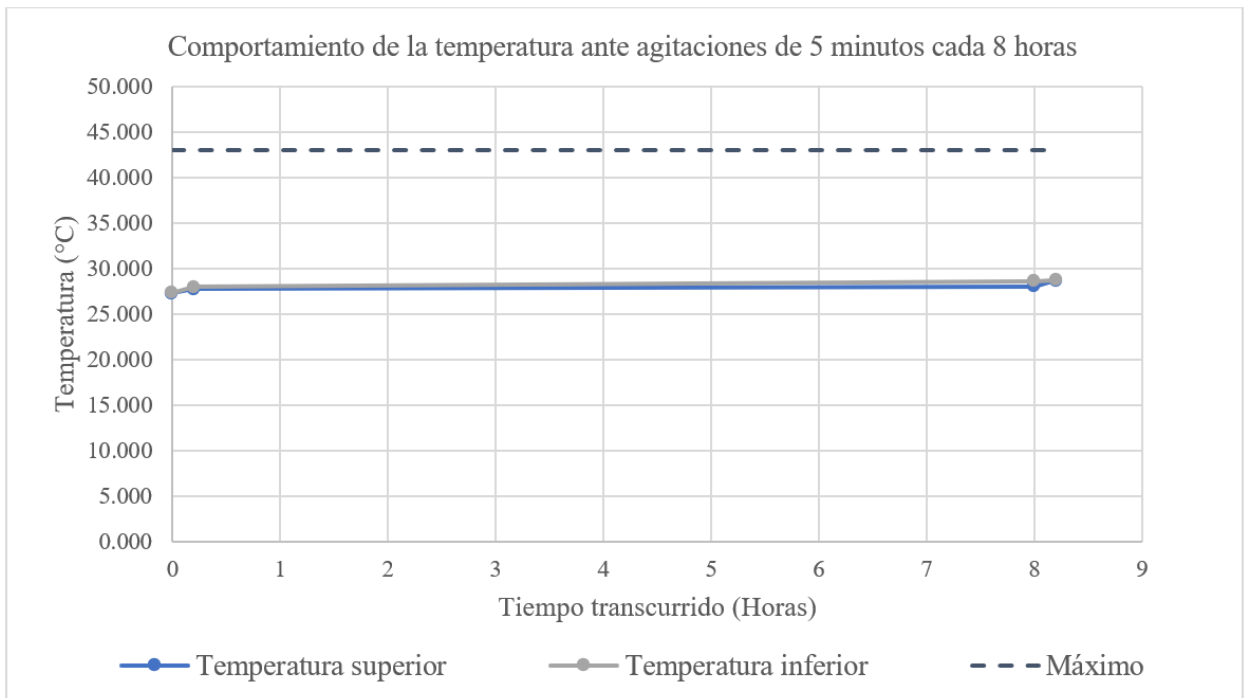


Figura B.4.4. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 5 min cada 8 horas.

B.4.3 Resultados de la prueba de agitación de 7 minutos con ciclos de 4 horas

Tabla B.4.3. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante siete minutos cada cuatro horas.

Sección superior del tanque						
Tiempo (h)	Estado	Temperatura (± 0.1 °C)	Promedio (± 0.17 °C)	Viscosidad (± 50 cP)	Promedio (± 86.6 cP)	Diferencia (± 122.47 cP)
0	Reposo	27.8	27.47	9450	9483.3	
		27.6		9600		
		27.0		9400		
	Agitación	30.2	29.30	5750	5816.7	
		28.9		6000		
		28.8		5700		
4	Reposo	30.2	29.93	7300	7250.0	
		29.9		7400		
		29.7		7050		
	Agitación	29.8	30.23	5900	6050.0	
		30.4		6000		
		30.5		6250		
8	Reposo	29.3	29.53	6350	6200.0	
		29.7		6200		
		29.6		6050		
	Agitación	30.0	30.00	5700	5766.7	
		29.6		5750		
		30.4		5850		
Sección inferior del tanque						
0	Reposo	27.6	27.80	8800	8616.7	866.67
		27.1		9200		
		28.7		7850		
	Agitación	28.7	29.57	6200	6250.0	433.33
		30.0		6150		
		30.0		6400		
4	Reposo	30.2	29.80	6400	6550.0	700.00
		29.4		6300		
		29.8		6950		
	Agitación	30.3	30.30	5950	6033.3	16.67
		30.0		6350		
		30.6		5800		
8	Reposo	29.6	29.63	5900	6183.3	16.67
		29.5		6300		
		29.8		6350		
	Agitación	29.6	29.63	5700	5716.7	50.00
		29.9		5650		
		29.4		5800		

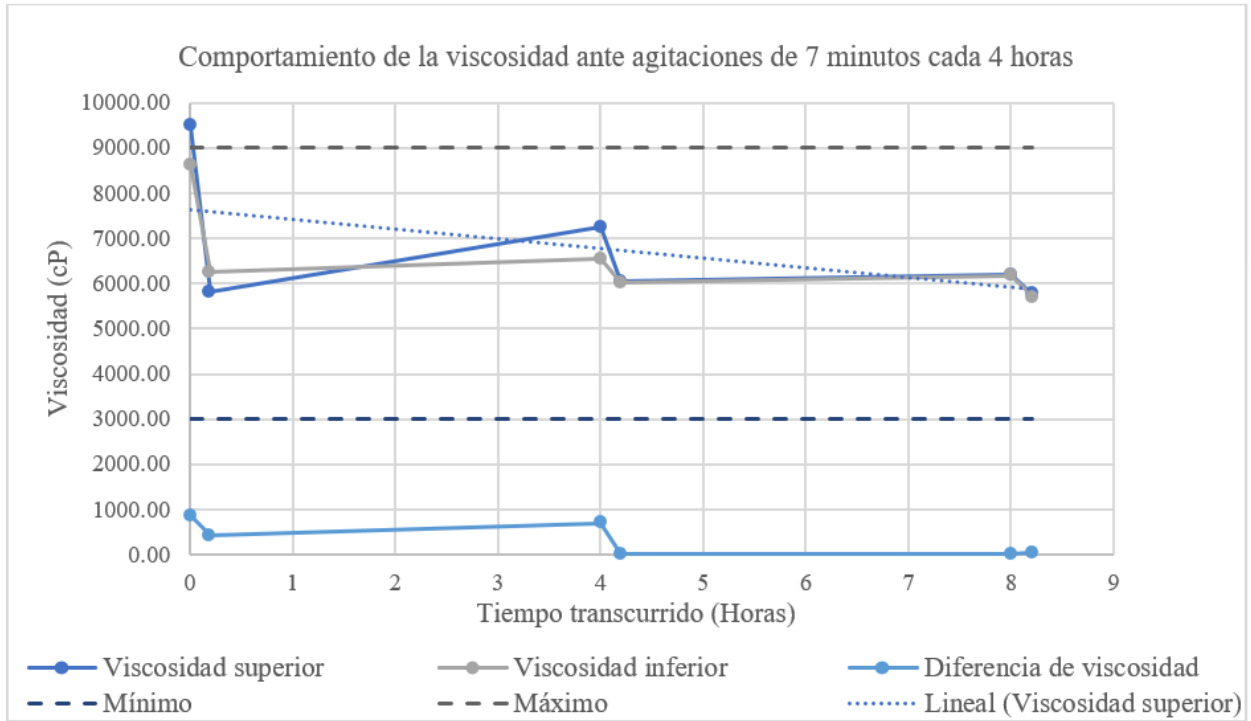


Figura B.4.5. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.

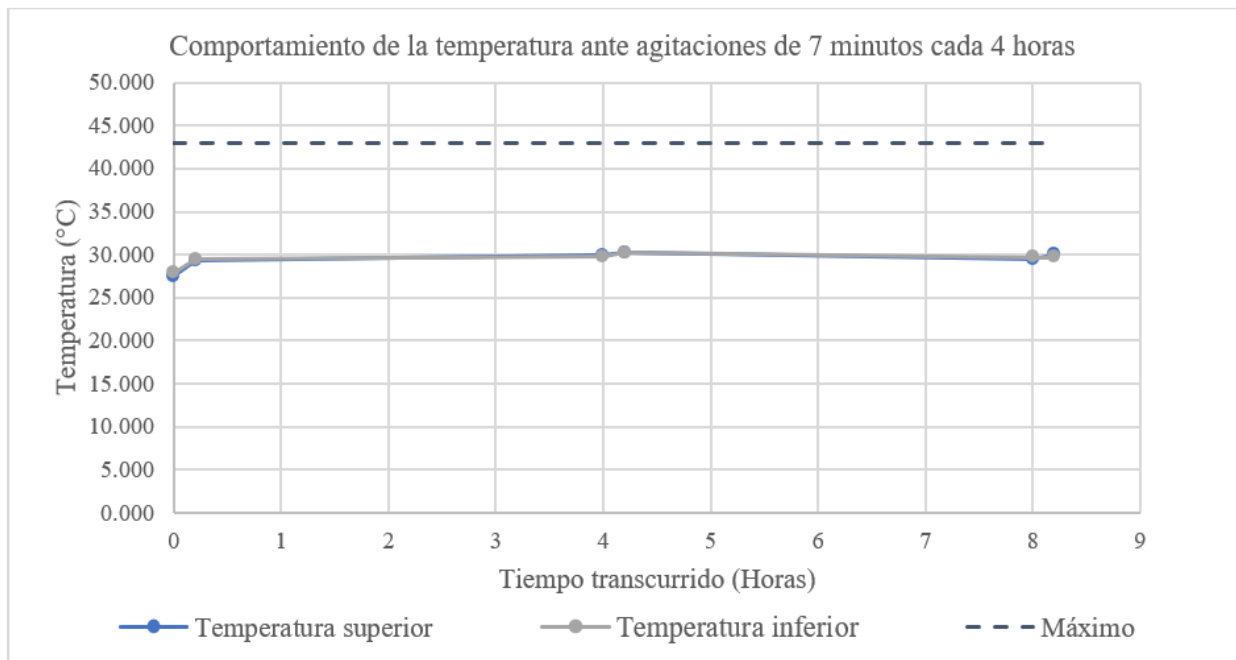


Figura B.4.6. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 4 horas.

B.4.4 Resultados de la prueba de agitación de 7 minutos con ciclos de 8 horas

Tabla B.4.4. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante siete minutos cada ocho horas.

Sección superior del tanque						
Tiempo (h)	Estado	Temperatura (± 0.1 °C)	Promedio (± 0.17 °C)	Viscosidad (± 50 cP)	Promedio (± 86.6 cP)	Diferencia (± 122.47 cP)
0	Reposo	27.6	27.80	8100	7966.7	
		27.6		7850		
		28.2		7950		
	Agitación	28.0	27.87	7000	6933.3	
		27.8		7000		
		27.8		6800		
8	Reposo	29.3	28.83	6800	6700.0	
		28.7		6950		
		28.5		6350		
	Agitación	28.7	28.70	5900	6066.7	
		28.5		6100		
		28.9		6200		
Sección inferior del tanque						
0	Reposo	28.0	27.93	7800	7766.7	200.00
		28.0		8000		
		27.8		7500		
	Agitación	27.8	27.93	7050	7133.3	200.00
		28.0		7000		
		28.0		7350		
8	Reposo	28.4	28.67	6900	7016.7	316.67
		28.7		6900		
		28.9		7250		
	Agitación	28.9	28.90	6200	6166.7	100.00
		28.9		6000		
		28.9		6300		

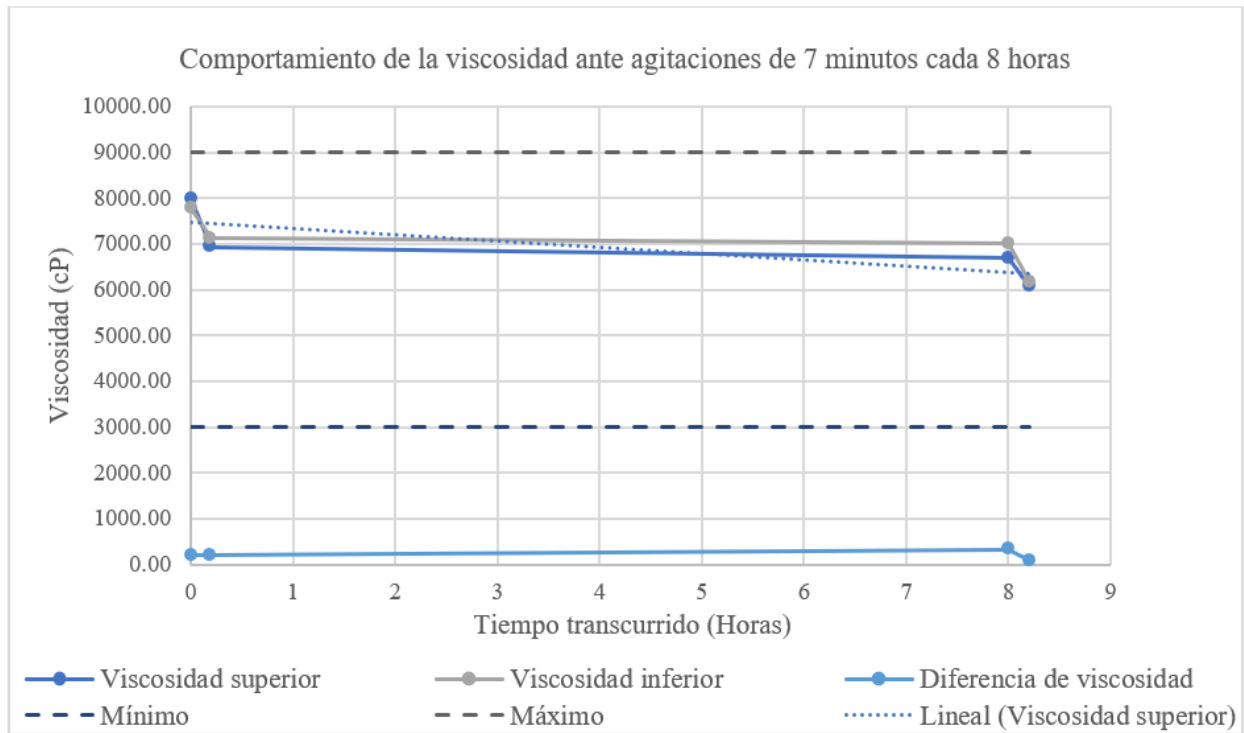


Figura B.4.7. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.

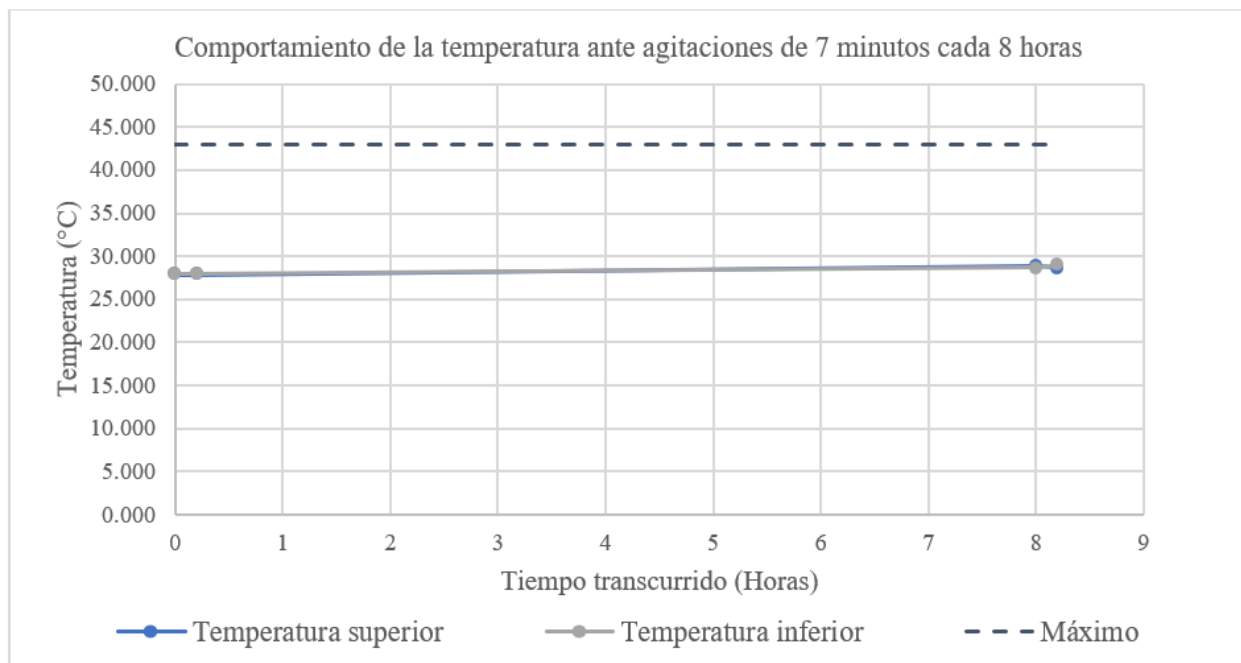


Figura B.4.8. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 7 min cada 8 horas.

B.4.5 Resultados de la prueba de agitación de 9 minutos con ciclos de 4 horas

Tabla B.4.5. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante nueve minutos cada cuatro horas.

Sección superior del tanque						
Tiempo (h)	Estado	Temperatura (± 0.1 °C)	Promedio (± 0.17 °C)	Viscosidad (± 50 cP)	Promedio (± 86.6 cP)	Diferencia (± 122.47 cP)
0	Reposo	26.8	26.80	21700	20933.3	
		26.8		21300		
		26.8		19800		
	Agitación	27.8	28.07	13200	12766.7	
		28.2		11650		
		28.2		13450		
4	Reposo	28.5	28.73	13100	13050.0	
		28.7		13000		
		29.0		13050		
	Agitación	29.7	28.93	11250	11350.0	
		28.5		11500		
		28.6		11300		
8	Reposo	28.4	28.20	13300	12900.0	
		28.1		12400		
		28.1		13000		
	Agitación	28.2	28.33	9700	9766.7	
		28.2		9900		
		28.6		9700		
Sección inferior del tanque						
0	Reposo	28.8	28.00	18650	19650.0	1283.33
		27.6		19600		
		27.6		20700		
	Agitación	28.7	28.83	13250	13583.3	
		29.0		13850		
		28.8		13650		
4	Reposo	29.0	28.53	12950	13266.7	
		28.2		13200		
		28.4		13650		
	Agitación	28.3	28.43	11400	11266.7	
		28.5		11200		
		28.5		11200		
8	Reposo	28.0	28.03	12000	11950.0	
		28.0		12050		
		28.1		11800		
	Agitación	28.2	28.27	11000	10266.7	
		28.3		10300		
		28.3		9500		

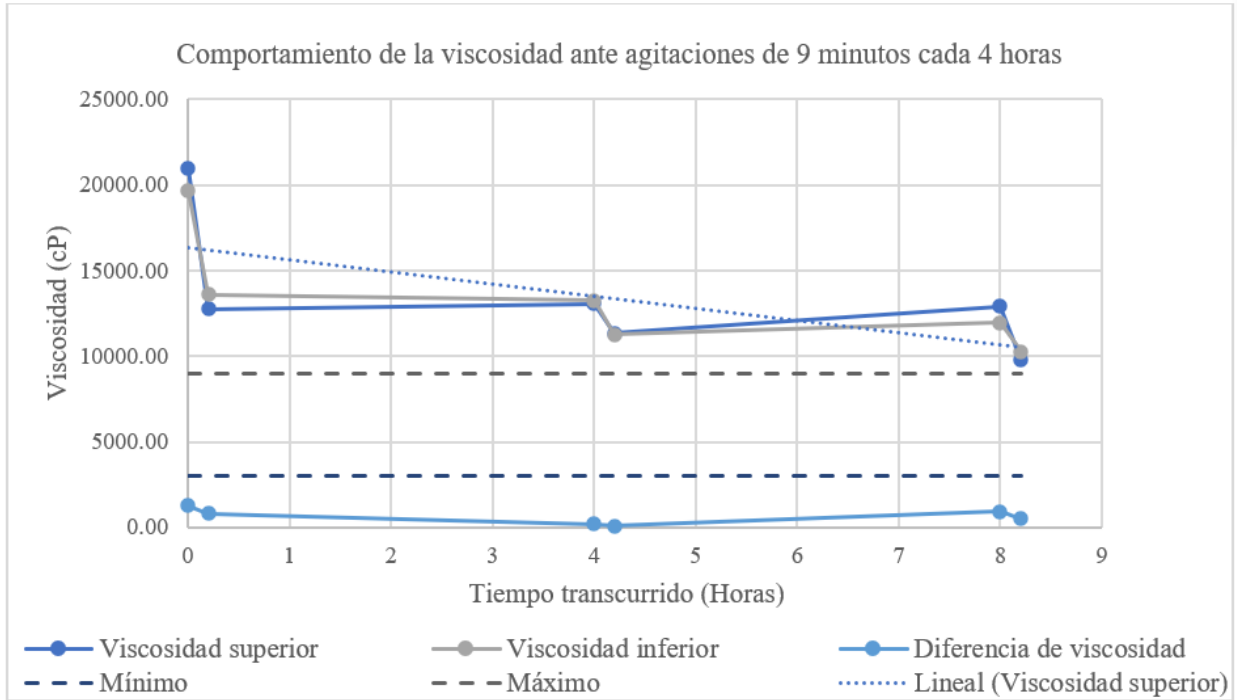


Figura B.4.9. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.

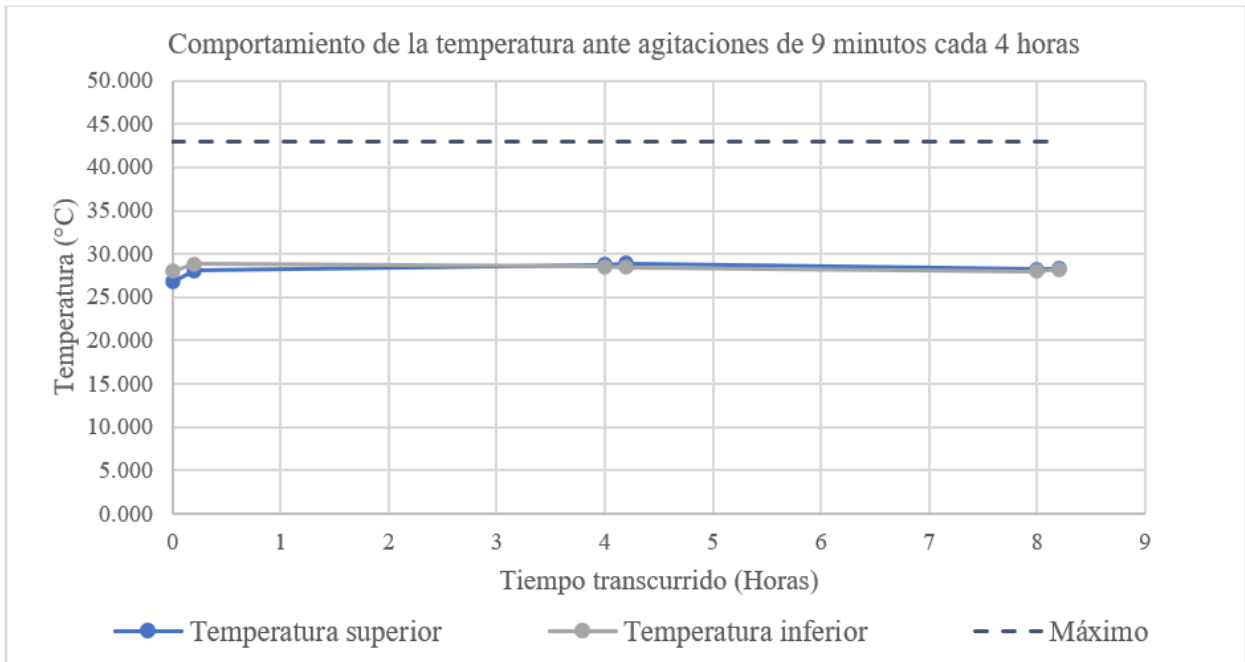


Figura B.4.10. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 4 horas.

B.4.6 Resultados de la prueba de agitación de 9 minutos con ciclos de 8 horas

Tabla B.4.6. Resultados de viscosidad y temperatura del Plastisol al ser agitado durante nueve minutos cada ocho horas.

Sección superior del tanque						
Tiempo (h)	Estado	Temperatura (± 0.1 °C)	Promedio (± 0.17 °C)	Viscosidad (± 50 cP)	Promedio (± 86.6 cP)	Diferencia (± 122.47 cP)
0	Reposo	26.8	27.00	22250	22083.3	
		27.2		24000		
		27.0		20000		
	Agitación	28.7	28.23	7850	8366.7	
		28.2		8850		
		27.8		8400		
8	Reposo	28.9	28.53	15450	14433.3	
		28.7		14050		
		28.0		13800		
	Agitación	29.2	29.07	8250	7926.7	
		29.1		7850		
		28.9		7680		
Sección inferior del tanque						
0	Reposo	27.4	27.37	19750	23200.0	1116.67
		27.2		24700		
		27.5		25150		
	Agitación	27.4	27.47	13750	13833.3	5466.67
		27.0		15450		
		28.0		12300		
8	Reposo	28.9	29.17	14500	15416.7	983.33
		29.6		15100		
		29.0		16650		
	Agitación	28.9	28.70	8000	7766.7	160.00
		28.9		7550		
		28.3		7750		

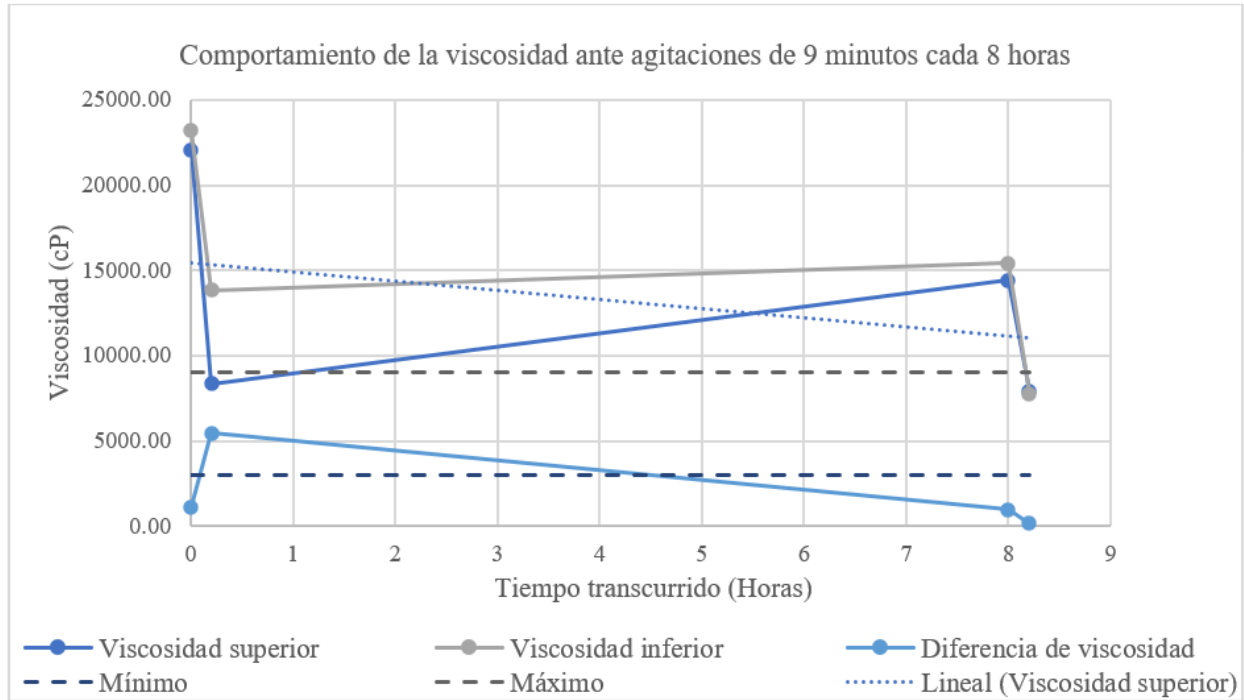


Figura B.4.11. Comportamiento de la viscosidad ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.

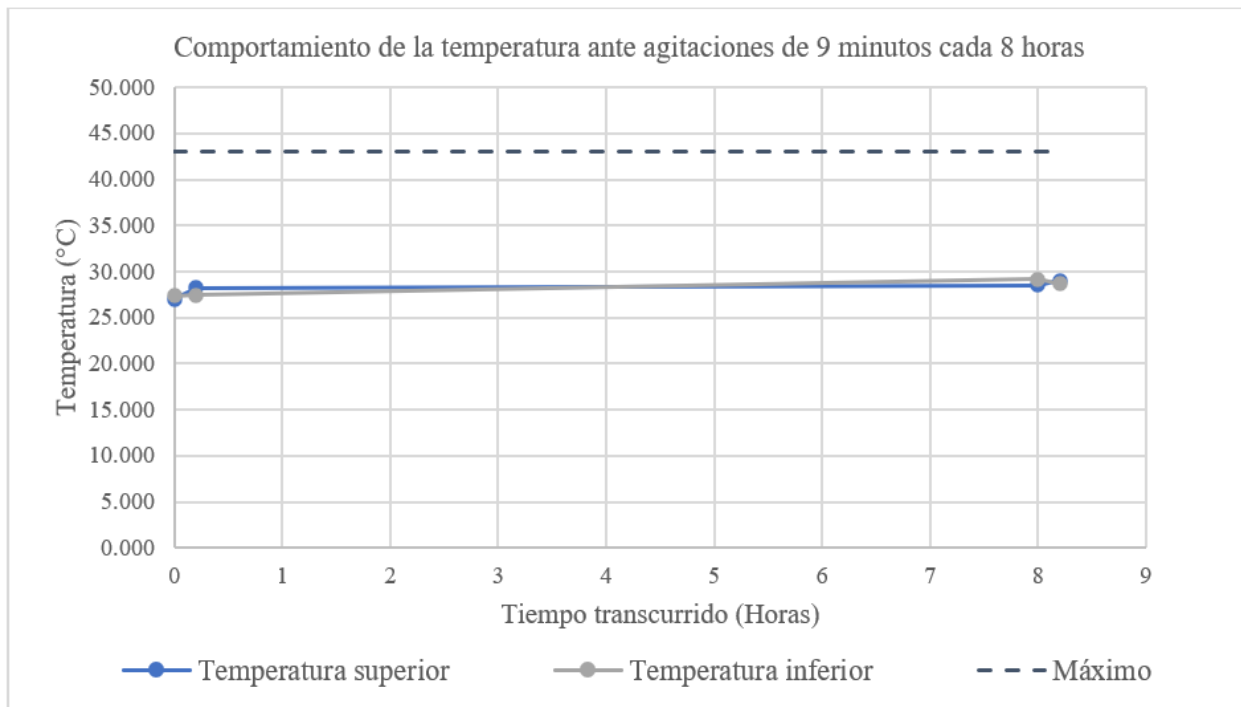


Figura B.4.12. Comportamiento de la temperatura ante agitaciones de 9 min cada 8 horas.

B.4.7 Resultados del experimento ANOVA de un solo factor para las pruebas con ciclos de 4 horas

Tabla B.4.7. Diferencias de viscosidad ingresadas a Minitab para la generación de resultados en la prueba de ciclos de cuatro horas.

Agitación (minutos)	Diferencia de viscosidad (± 70.71 cP)	Agitación (minutos)	Diferencia de viscosidad (± 70.71 cP)	Agitación (minutos)	Diferencia de viscosidad (± 70.71 cP)
5	200.00	7	450.00	9	50.00
5	300.00	7	150.00	9	2200.00
5	450.00	7	700.00	9	200.00
5	650.00	7	900.00	9	150.00
5	400.00	7	1100.00	9	200.00
5	50.00	7	100.00	9	600.00
5	850.00	7	50.00	9	150.00
5	50.00	7	350.00	9	300.00
5	450.00	7	450.00	9	100.00
5	100.00	7	450.00	9	1300.00
5	250.00	7	100.00	9	350.00
5	600.00	7	300.00	9	1200.00
5	950.00	7	0.00	9	1300.00
5	2350.00	7	100.00	9	400.00
5	800.00	7	50.00	9	200.00

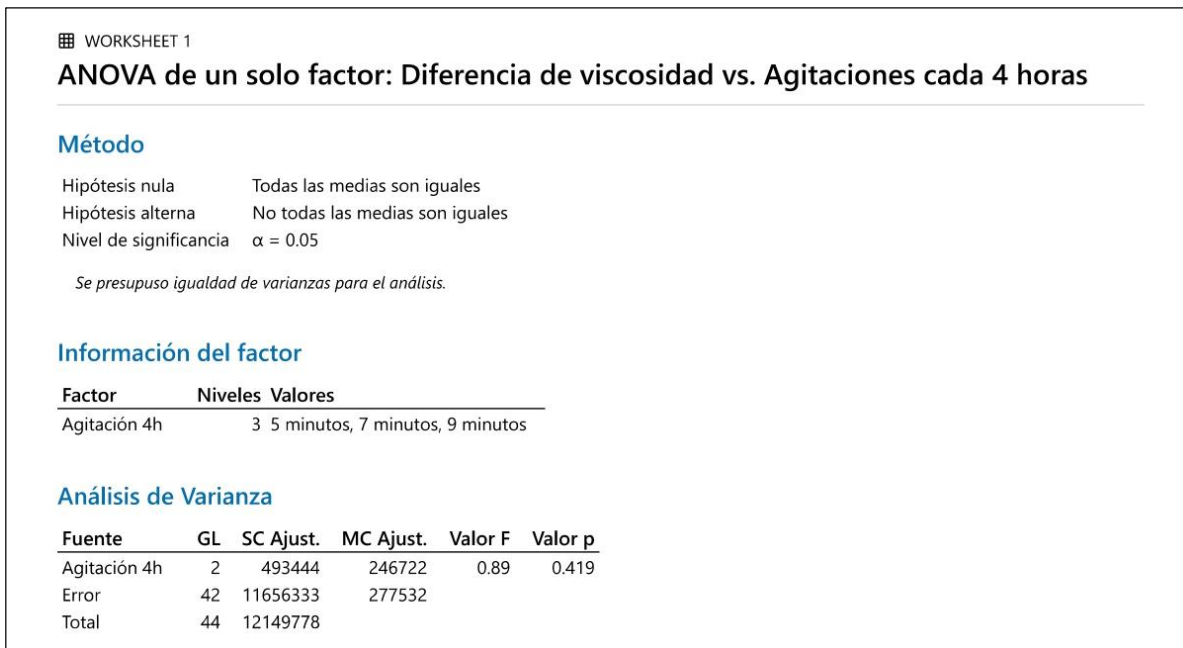


Figura B.4.13. Primera parte de resultados del experimento ANOVA para ciclos de 4 horas.

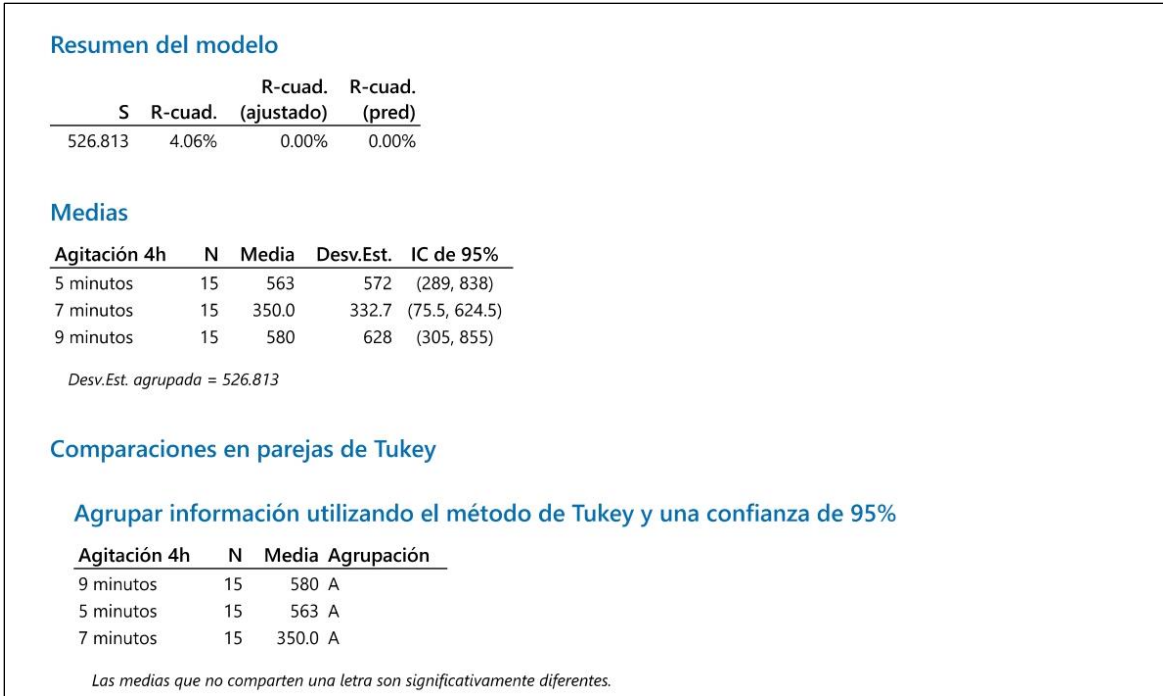


Figura B.4.14. Segunda parte de resultados del experimento ANOVA para ciclos de 4 horas.

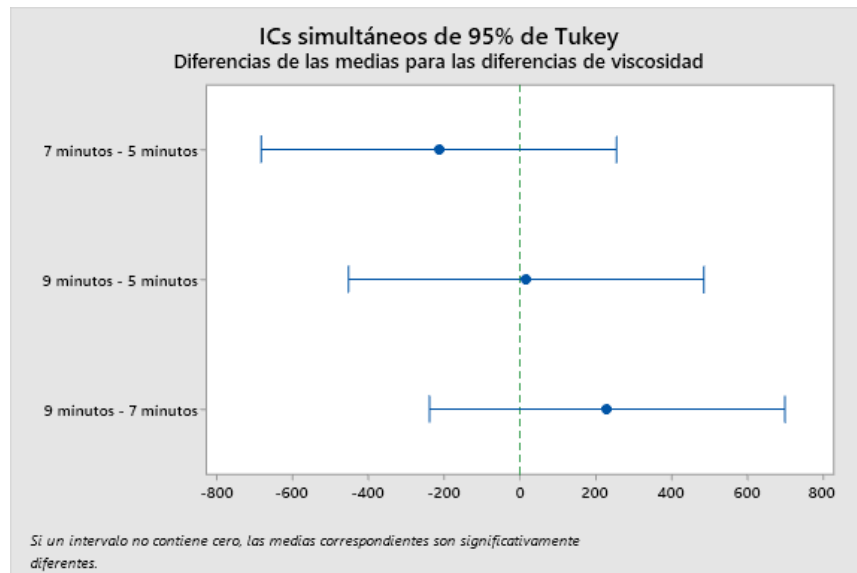


Figura B.4.15. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 4 horas.

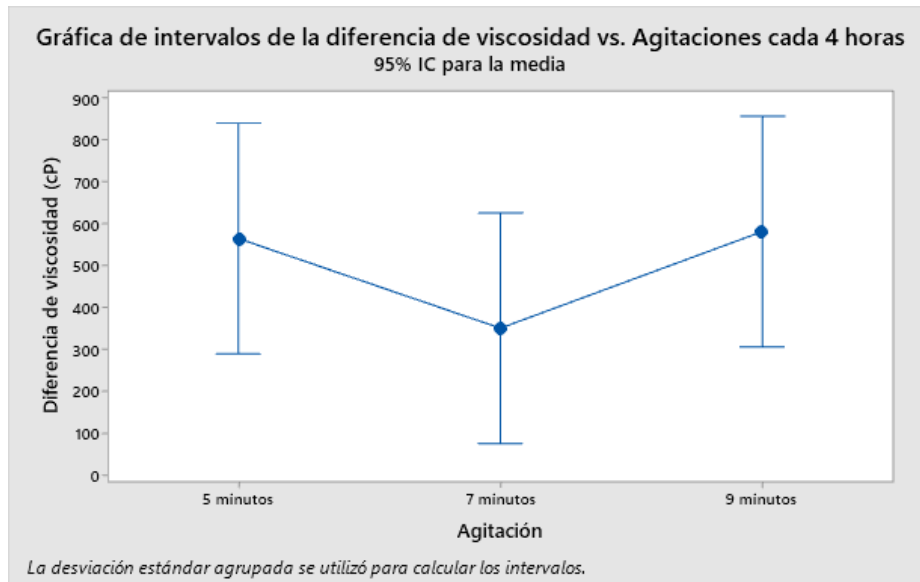


Figura B.4.16. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 4 horas.

B.4.8 Resultados del experimento ANOVA de un solo factor para las pruebas con ciclos de 8 horas

Tabla B.4.8. Diferencias de viscosidad ingresadas a Minitab para la generación de resultados en la prueba de ciclos de ocho horas.

Agitación (minutos)	Diferencia de viscosidad (± 70.71 cP)	Agitación (minutos)	Diferencia de viscosidad (± 70.71 cP)	Agitación (minutos)	Diferencia de viscosidad (± 70.71 cP)
5	400.00	7	50.00	9	5900.00
5	600.00	7	0.00	9	6600.00
5	100.00	7	550.00	9	3900.00
5	400.00	7	100.00	9	950.00
5	300.00	7	50.00	9	1050.00
5	650.00	7	900.00	9	2850.00
5	650.00	7	300.00	9	250.00
5	1250.00	7	100.00	9	300.00
5	650.00	7	100.00	9	70.00

ANOVA de un solo factor: Diferencia de viscosidad vs. Agitaciones cada 8 horas

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Agitación 8h	3	5 minutos, 7 minutos, 9 minutos

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agitación 8h	2	25244363	12622181	5.79	0.009
Error	24	52276911	2178205		
Total	26	77521274			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1475.87	32.56%	26.94%	14.65%

Medias

Agitación 8h	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5 minutos	9	556	323	(-460, 1571)
7 minutos	9	239	301	(-776, 1254)
9 minutos	9	2430	2518	(1415, 3445)

Desv.Est. agrupada = 1475.87

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Agitación 8h	N	Media	Agrupación
9 minutos	9	2430	A
5 minutos	9	556	B
7 minutos	9	239	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura B.4.17. Resultados del experimento ANOVA para ciclos de 8 horas.

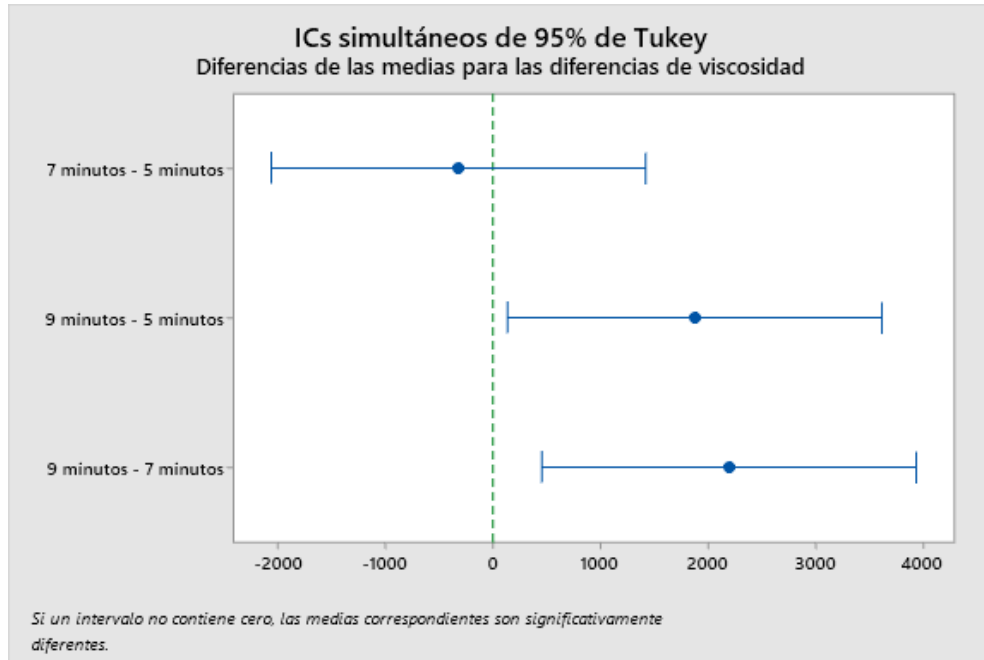


Figura B.4.18. Diferencia entre las medias de las diferencias de viscosidad para ciclos de agitación de 8 horas.

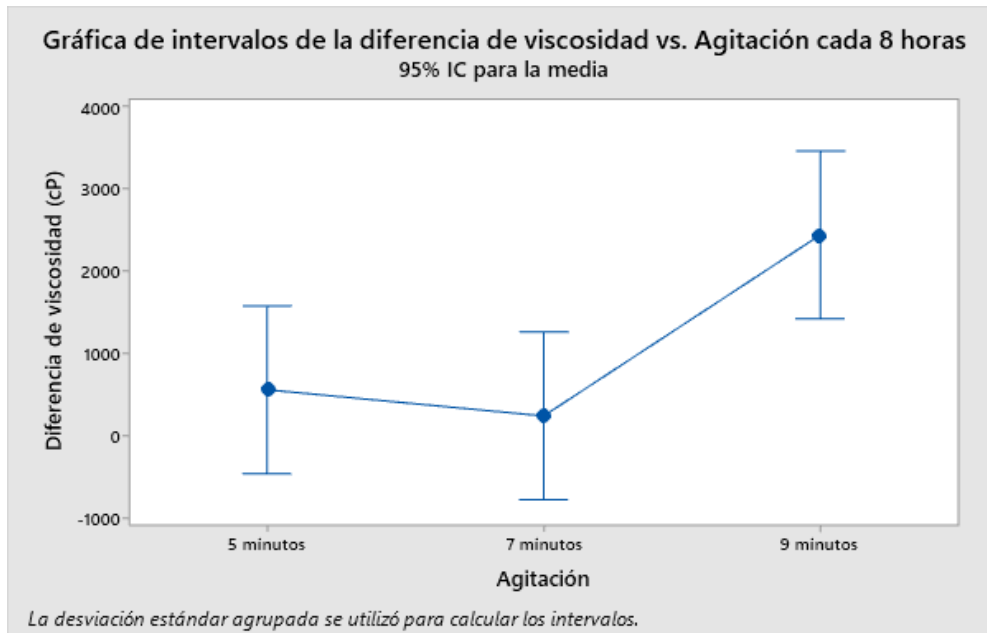
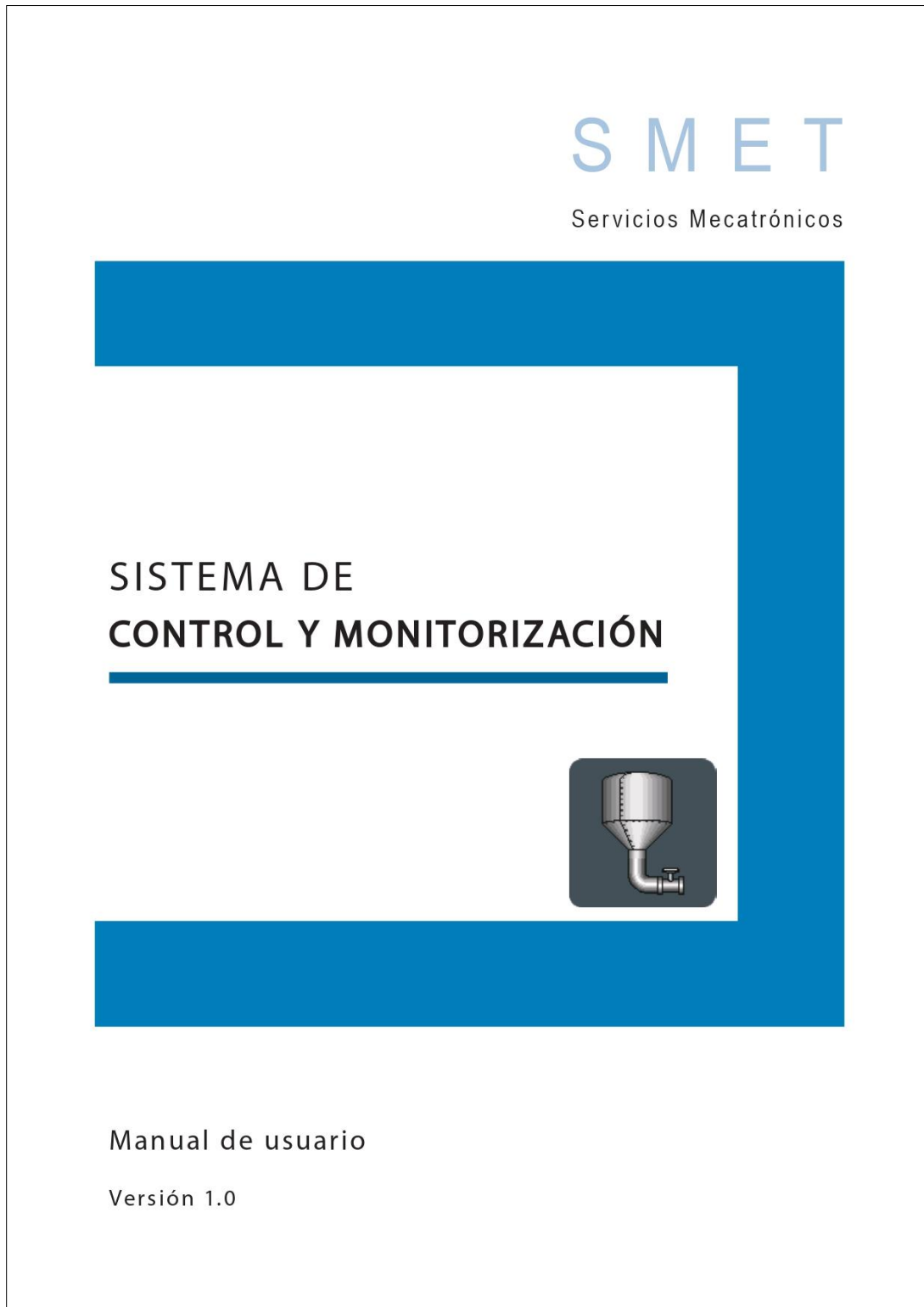


Figura B.4.19. Intervalos de diferencia entre la viscosidad y los distintos ciclos de agitación aplicados cada 8 horas.

B.5 Manual de usuario del Sistema de Control y Monitorización (SCM) de los tanques de agitación



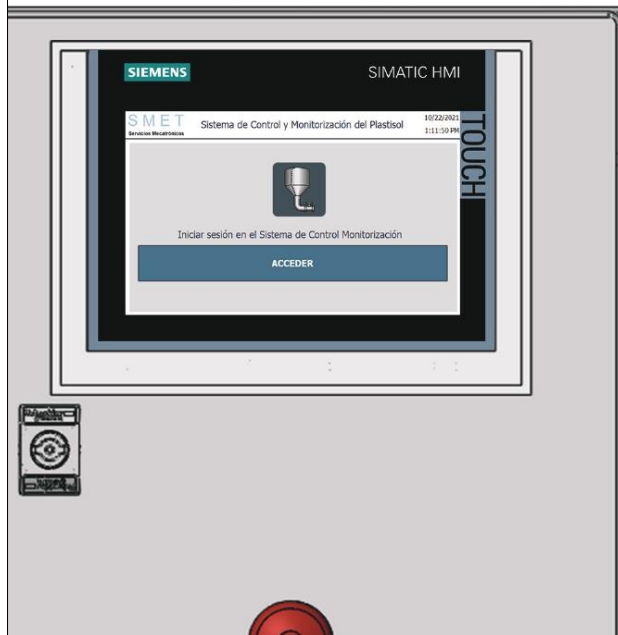
B.5.1. Primera parte del manual de usuario del SCM.

Acerca de esta guía

El Sistema de Control y Monitorización (SCM) pretende contribuir en la calidad y energía del producto extraído de los tanques de almacenamiento del Plastisol. De forma que el producto se mantenga siempre disponible para su extracción protegiendo su integridad y homogeneidad para disminuir su reproceso.

El SCM

El SCM está conformado por equipos de calidad con el fin de garantizar la confiabilidad y durabilidad del sistema, además de un equipo de control estable y seguro.



B.5.2. Segunda parte del manual de usuario del SCM.

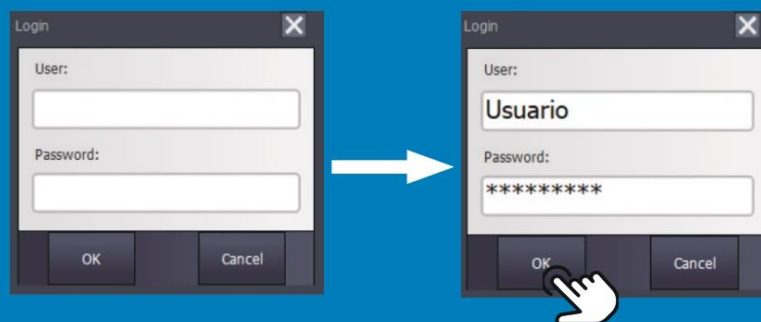
Contenido

Acceder	4
Pantalla principal	5
Pantalla de información general	7
Pantalla de referencia.....	8
Pantalla de monitorización	9
Pantallas de configuración	11
Pantalla de alertas	13
Pantalla de horario restringido	14
Asistencia.....	15

B.5.3. Tercera parte del manual de usuario del SCM.

Acceder

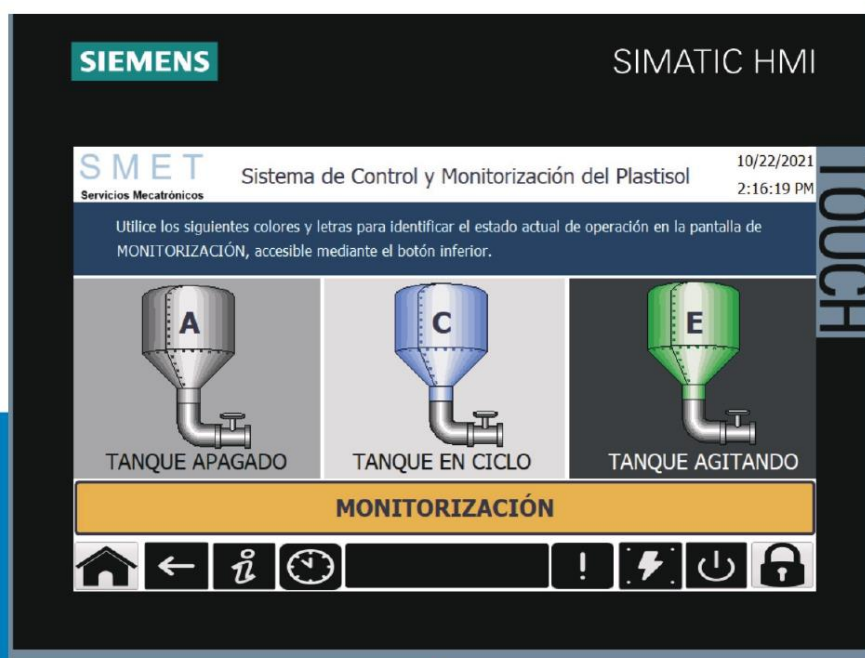
La pantalla de acceso es la primera pantalla que se mostrará al iniciar el SCM, para poder ingresar se debe tocar el botón "ACCEDER" en azul, esto presentará una ventana emergente donde se deben ingresar las credenciales brindadas por el supervisor.



B.5.4. Cuarta parte del manual de usuario del SCM.

Pantalla principal

La pantalla principal muestra una breve descripción de como interpretar la pantalla "Monitorización" debido a que esta es la pantalla más importante del sistema. En la pantalla principal se muestran todos los accesos a las pantallas secundarias en los botones en negro de la parte inferior.



EL CÓDIGO DE COLOR O LA LETRA EN CADA TANQUE SON IMPORTANTES PARA IDENTIFICAR EL ESTADO DE OPERACIÓN EN EL QUE SE ENCUENTRA CADA UNO.

Cada botón de la pantalla principal puede ser activado al tocarlo, pero algunos de estos requieren credenciales de configurador, ya que poseen acceso restringido.

B.5.5. Quinta parte del manual de usuario del SCM.

Pantalla principal

La función de los botones de la pantalla principal se muestran a continuación, los botones que posean acceso restringido mostrarán una ventana emergente como la que aparece para la pantalla "Acceder":



Botón Casa: regresa a la pantalla principal desde cualquier ventana donde se encuentre el usuario.



Botón Regresar: regresa a la pantalla anterior a la que se encuentra el usuario.



Botón Información: navega hasta la pantalla de información del SCM.



Botón Referencia: navega hasta la pantalla de referencia del SCM.



Botón Alarmas: navega hasta la pantalla de alarmas del SCM.



Botón Horario Restringido (Acceso restringido): navega hasta la pantalla de control del horario restringido del SCM.



Botón Apagar (Acceso restringido): apaga la interfaz del sistema.



Botón Bloquear: navega a la pantalla acceder del SCM y cierra la sesión del usuario.

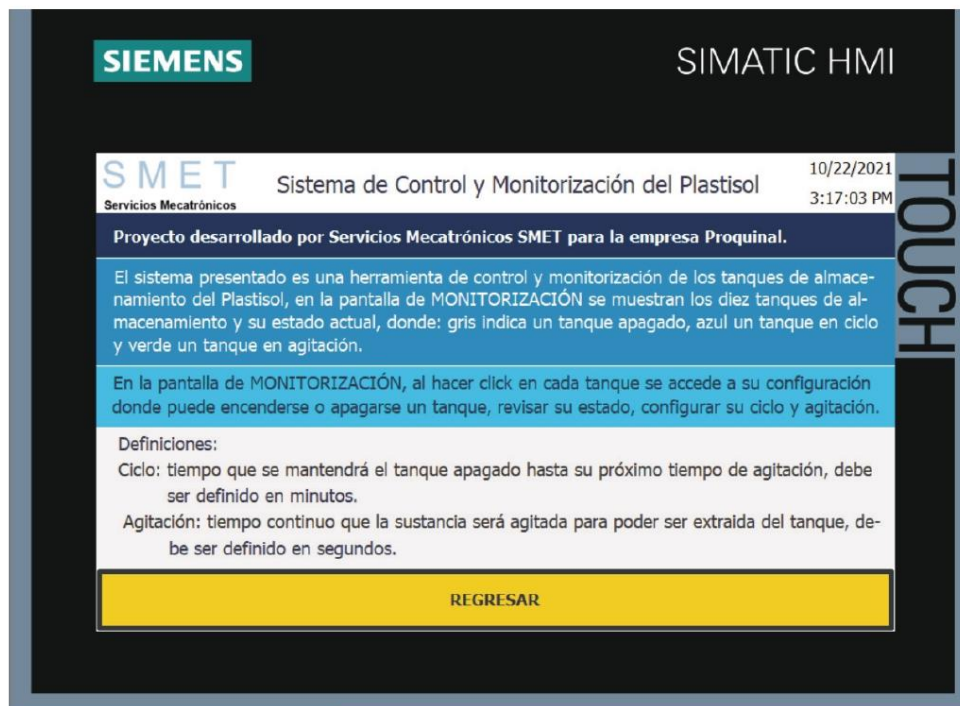
MONITORIZACIÓN

Botón Monitorización: navega a la pantalla de monitorización SCM.

Pantalla de información general



Al interactuar con el botón de información de la pantalla principal se accede a la pantalla “Información general” en la cual se presenta información del desarrollador y del sistema en términos generales, por otra parte se describe como utilizar la pantalla de “Monitorización” dando algunas definiciones importantes para el control de los tanques que se verá más adelante.



CADA PANTALLA SECUNDARIA DEL SISTEMA PRESENTA UN BOTÓN “REGRESAR” EN SU PARTE INFERIOR PARA VOLVER A LA PANTALLA ANTERIOR EN LA QUE SE ENCUENTRA EL USUARIO.

Pantalla de referencia



La pantalla de referencia consiste en una recopilación de información respecto a los tiempos que deben asignarse para los tiempos de agitación y ciclos de operación de los tanques con base en resultados experimentales en la sustancia.

Debido a esto se recomienda hacer uso de los rangos y tiempos de agitación indicados, ya que estos garantizan que el Plastisol se mantendrá homogéneo, disponible en todo momento y a una temperatura segura.

SIEMENS SIMATIC HMI

SMET Servicios Mecatrónicos Sistema de Control y Monitorización del Plastisol 10/22/2021 4:07:46 PM

Referencia para la asignación de ciclos de trabajo y tiempos de agitación

Se recomienda a los usuarios del sistema configurar los ciclos de agitación y tiempos de agitación de forma que se mantenga el Plastisol dentro de los rangos adecuados de temperatura, puede tomar como referencia un tiempo de agitación de 7 minutos (420 segundos) dentro de un rango de ciclo de trabajo de 6 horas (360 minutos) y 8 horas (480 minutos) debido a que estos ciclos brindan resultados adecuados en la viscosidad del Plastisol para su manipulación en las ollas.

Las conversiones útiles para el ingreso de datos en cada tanque se presentan a continuación:

Ciclos:	6 hrs: 360 min	Agitaciones:	8 min: 480 s	13 min: 780 s
4 hrs: 240 min	6 1/2 hrs: 390 min	4 min: 240 s	9 min: 540 s	14 min: 840 s
4 1/2 hrs: 270 min	7 hrs: 420 min	5 min: 300 s	10 min: 600 s	15 min: 900 s
5 hrs: 300 min	7 1/2 hrs: 450 min	6 min: 360 s	11 min: 660 s	
5 1/2 hrs: 330 min	8 hrs: 480 min	7 min: 420 s	12 min: 720 s	

REGRESAR

El ciclo de agitación hace referencia al tiempo que uno de los tanques de almacenamiento pasará apagado entre agitaciones, no se recomiendan ciclos cortos (menores a 4 horas) debido a que puede aumentar la temperatura del Plastisol a rangos indeseados, por otra parte, el tiempo de agitación corresponde al tiempo continuo que la sustancia será agitada para disminuir su viscosidad.

Pantalla de monitorización

La pantalla de monitorización presenta a los 10 tanques de almacenamiento del Plastisol con su respectiva numeración con el fin de poder observar el estado en el que se encuentra cada tanque (Apagado-gris, Ciclado-azul, Encendido-verde).

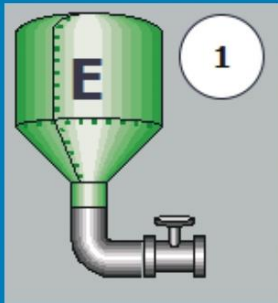
En esta pantalla también puede observarse cómo el sistema y el motor de cada tanque opera correctamente cuando el número de tanque y el tanque mismo presentan color verde, en caso de que exista una operación incorrecta se mostrará en la pantalla de alertas.

Al tocar cualquiera de los tanques se accede a su pantalla de configuración como se verá más adelante.

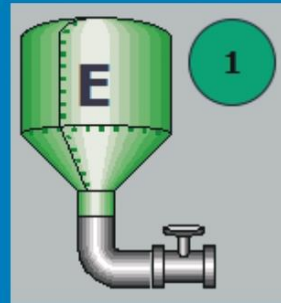


B.5.9. Novena parte del manual de usuario del SCM.

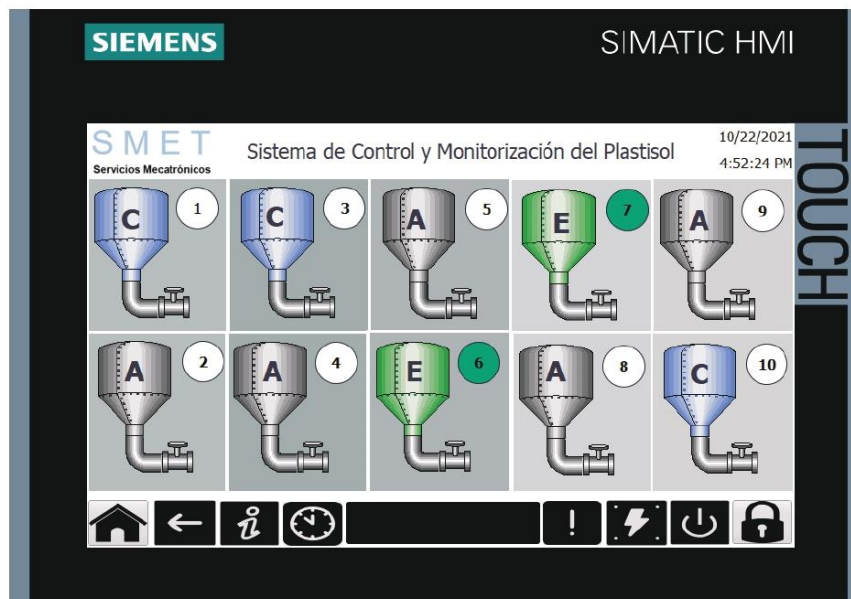
Pantalla de monitorización



OPERACIÓN INCORRECTA



OPERACIÓN CORRECTA



B.5.10. Décima parte del manual de usuario del SCM.

Pantalla de configuración

Para acceder a la pantalla de configuración de cada tanque solo es necesario tocar el tanque a configurar en la pantalla de monitorización, la pantalla de configuración se conforma por dos espacios para ingresar los tiempos de ciclo de trabajo y tiempo de agitación, los cuales deben ingresarse en las unidades indicadas (minutos y segundos respectivamente).

La interfaz también cuenta con el botón de encendido del tanque que solo puede accionarse si se ha indicado el ciclo de operación.

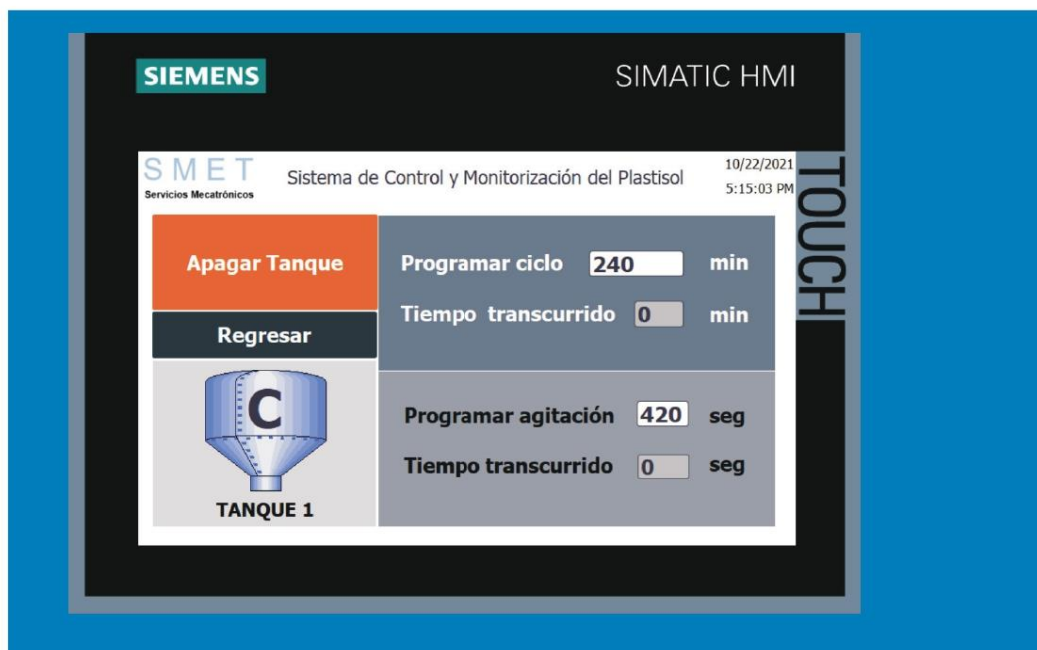
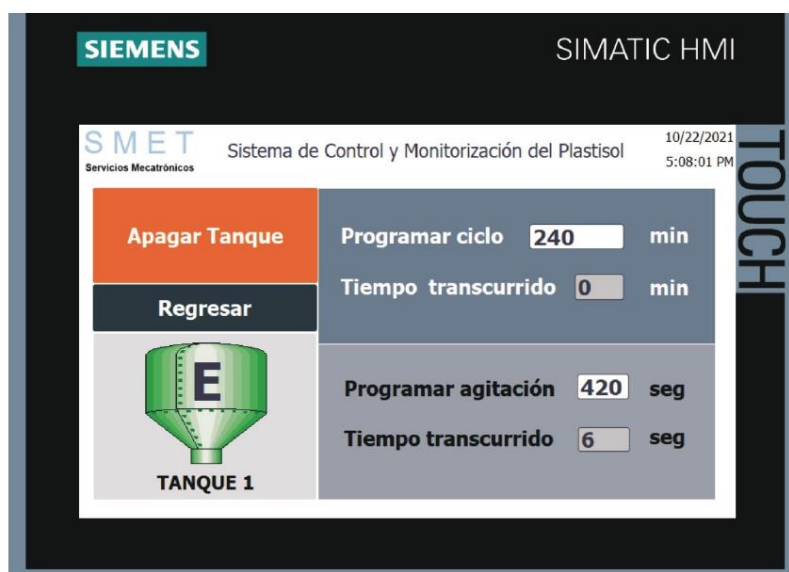
Para facilitar la verificación del encendido del tanque también se muestra una imagen que cambia según el estado del tanque, al igual que en la pantalla de monitorización, con la diferencia de que solo presenta el tanque que se está configurando.

Al presionar "Iniciar Ciclo" el tanque se encenderá durante el tiempo de agitación y permanecerá apagado el tiempo de ciclo repitiendo el proceso hasta que sea apagado.



B.5.11. Décimo primera parte del manual de usuario del SCM.

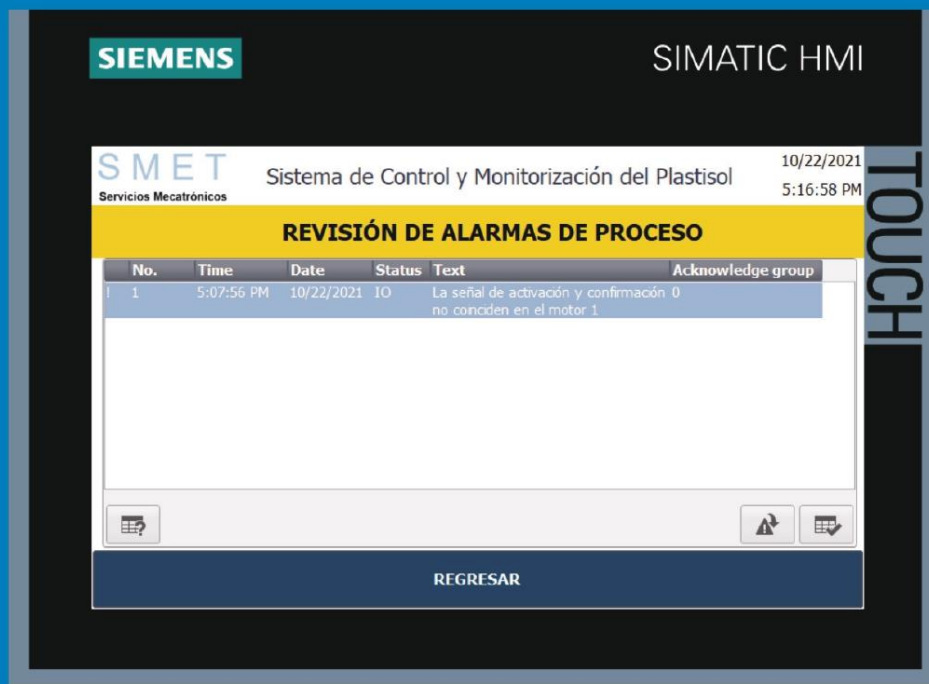
Pantalla de configuración



B.5.12. Décimo segunda parte del manual de usuario del SCM.

Pantalla de alertas

Como se mencionó en la sección “Pantalla de monitorización”, en caso de que algún tanque no opere adecuadamente se presentará un aviso en la pantalla de alertas, se recomienda revisar esta pantalla cada vez que se encienda un tanque por primera vez para verificar su correcto funcionamiento.



SI EL SISTEMA GENERA ALGUNA ALERTA DEBE REPORTAR ESTO A SU SUPERVISOR INMEDIATAMENTE.

B.5.13. Décimo tercera parte del manual de usuario del SCM.

Pantalla de horario restringido

La pantalla de horario restringido corresponde a una interfaz donde pueden ingresarse los horarios en los cuales los tanques no deben encenderse en la mañana y en la noche para disminuir el consumo energético.

Para acceder a esta pantalla es necesario tener las credenciales de "Configurador" por lo que su acceso está restringido y los usuarios no deben intentar ingresar a esta sin autorización.



B.5.14. Décimo cuarta parte del manual de usuario del SCM.

EN SERVICIOS MECATRÓNICOS SMET ESTAMOS PARA SERVIRLE, CUALQUIER CONSULTA O SUGERENCIA NO DUDE EN COMUNICARSE CON NOSOTROS

Manual de usuario desarrollado por Roberto Matamoros Gamboa como parte del proyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura.

B.5.15. Décimo quinta parte del manual de usuario del SCM.



S M E T

Servicios Mecatrónicos

B.5.16. Décimo sexta parte del manual de usuario del SCM.

B.6 Encuesta para la evaluación de la facilidad de uso del sistema

Encuesta para la automatización y optimización del procesado de Plastisol para la empresa Proquinal

Este documento tiene como objetivo conocer la perspectiva del personal de Proquinal respecto al sistema diseñado de control y monitorización de los tanques de almacenamiento de Plastisol mediante el Manual de Usuario: “Sistema de Control y Monitorización”.

Según su perspectiva, si el sistema presentado en el manual se instalara en la planta de Proquinal para controlar los tanques de Plastisol, qué criterio de los siguientes considera que describe su facilidad de uso:

1. De uso muy complejo.
2. De uso complejo.
3. De uso con dificultad moderada.
4. De uso sencillo.
5. De uso muy sencillo.

Nombre completo: _____

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Nombre completo: _____

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Figura B.6.1. Primera parte de la plantilla para la evaluación de la facilidad de uso del SCM.

Nombre completo: _____

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Nombre completo: _____

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Nombre completo: _____

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Figura B.6.2. Segunda parte de la plantilla para la evaluación de la facilidad de uso del SCM.

Encuesta para la automatización y optimización del procesado de Plastisol para la empresa Proquinal

Este documento tiene como objetivo conocer la perspectiva del personal de Proquinal respecto al sistema diseñado de control y monitorización de los tanques de almacenamiento de Plastisol mediante el Manual de Usuario: "Sistema de Control y Monitorización".

Según su perspectiva, si el sistema presentado en el manual se instalara en la planta de Proquinal para controlar los tanques de Plastisol, qué criterio de los siguientes considera que describe su facilidad de uso:

1. De uso muy complejo.
2. De uso complejo.
3. De uso con dificultad moderada.
4. De uso sencillo.
5. De uso muy sencillo.

Nombre completo: Jesús Aguilar G.

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: 

Nombre completo: Werner Alonso Sánchez Restrepo

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: 

Figura B.6.3. Primera parte de las respuestas de la evaluación de la facilidad de uso del SCM.

Nombre completo: Shivio Abajo Quirós Rojas

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Nombre completo: Yean Carlo Paniagua Bogantes

Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Nombre completo: Willy Madrigal Acosta

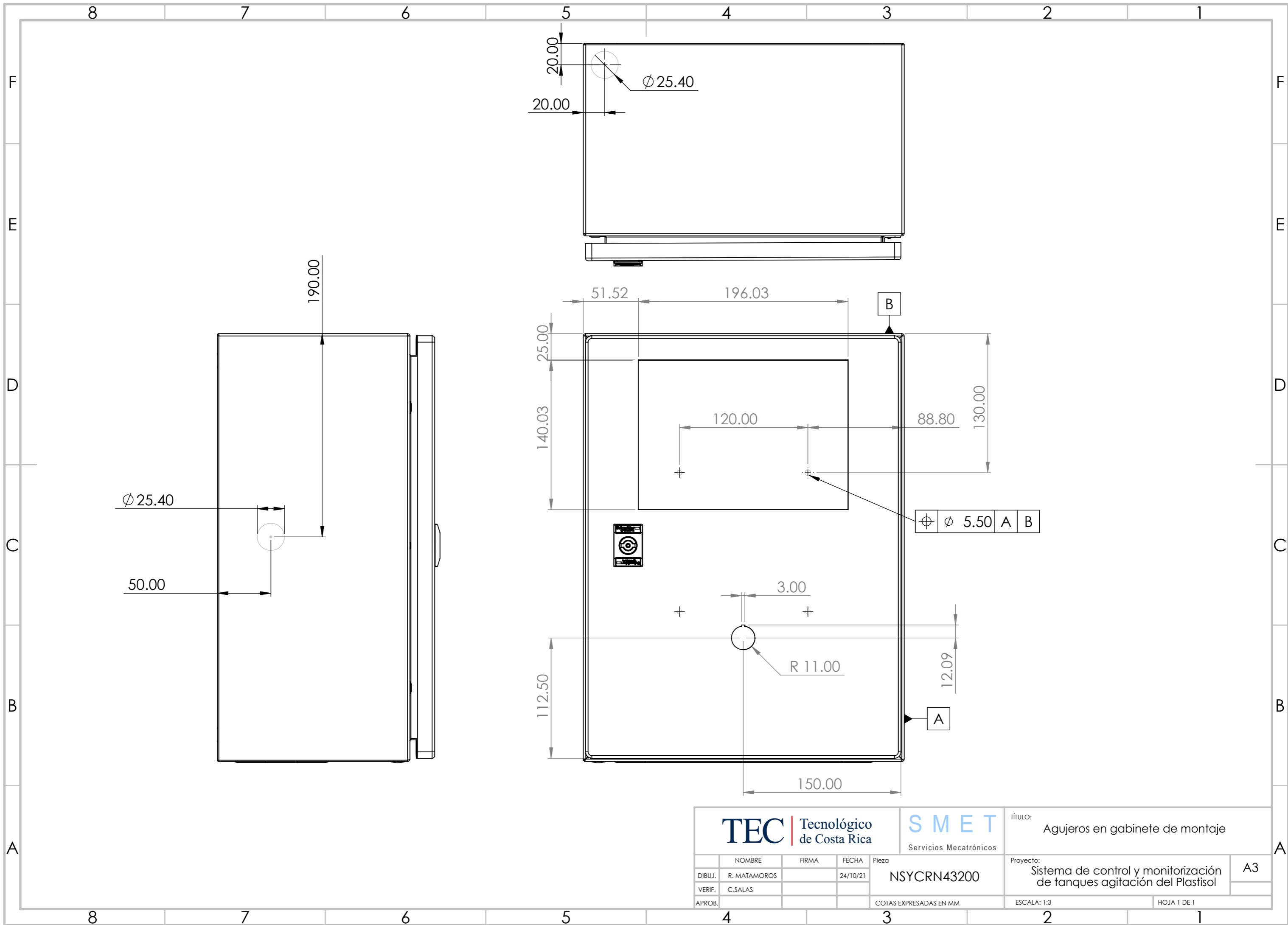
Clasificación (Marque con una X):

- De uso muy complejo.
- De uso complejo.
- De uso con dificultad moderada.
- De uso sencillo.
- De uso muy sencillo.

Firma: _____

Figura B.6.4. Segunda parte de las respuestas de la evaluación de la facilidad de uso del SCM.

B.7 Plano de medidas de montaje de los equipos en el gabinete



TEC Tecnológico de Costa Rica		SMET Servicios Mecatrónicos		TÍTULO: Agujeros en gabinete de montaje	
DIBUJ. R. MATAMOROS		FIRMA		Proyecto: Sistema de control y monitorización de tanques agitación del Plastisol	
VERIF. C.SALAS		FECHA 24/10/21		NSYCRN43200	
APROB.		Pieza		ESCALA: 1:3	
COTAS EXPRESADAS EN MM				HOJA 1 DE 1	

NOMBRE		FIRMA		FECHA		Pieza	
R. MATAMOROS		C.SALAS		24/10/21		NSYCRN43200	
C.SALAS		NSYCRN43200		ESCALA: 1:3		HOJA 1 DE 1	

A3