



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO

**AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DEL LLENADO Y
MONITOREO DE NIVELES EN TANQUES DE
ALMACENAMIENTO.**

OPCIÓN QUE CORRESPONDA

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENERÍA MECATRÓNICA

PRESENTA:

IAN FERNÁNDEZ TORRES

NOMBRE DEL ASESOR:

Dr. José Manuel Cervantes Vázquez

APIZACO, TLAX, ABRIL 26



Tzompantepec, Tlaxcala, 06/febrero/2025

Oficio No. MM-147/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	IAN FERNÁNDEZ TORRES
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	21370647
Nombre del Proyecto:	"AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE LLENADO Y MONITOREO DE NIVELES EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. METAL-MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE METAL MECÁNICA


DR. JOSÉ MANUEL CERVANTES VÁZQUEZ

ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2026
año de
Margarita Maza





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 17/Marzo/2026

IAN FERNÁNDEZ TORRES
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 21370647.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE LLENADO Y MONITOREO DE NIVELES EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026
año de
Margarita
Maza



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a la institución del Instituto Tecnológico de Apizaco, por la formación académica brindada y por fomentar la vinculación entre la teoría y la práctica profesional. Agradezco la orientación del doctor José Manuel Cervantes Vázquez.

Asimismo, agradezco por la oportunidad a la empresa PROYECTOS Y SERVICIOS INDUSTRIALES MIH S. DE R.L. DE C.V., por abrir sus puertas y brindar la oportunidad de realizar la residencia profesional en un entorno industrial real.

Se reconoce de manera especial el apoyo por parte del Ing. Carlos Jesús Sánchez Vázquez, el director general Lic. Gil Cesar Sánchez Jiménez y Lic. Leslie Jiménez Padilla quienes compartieron su conocimiento, experiencia y tiempo. Para llevar a cabo las prácticas profesionales

Finalmente, agradecer a mi madre que siempre me dio su apoyo y tuvo fe en mí, caminando a mi lado en esta etapa que comprende la universidad, también a mis compañeros que, con entusiasmo, camaradería, motivación, y alegría constante fueron un pilar importante durante el desarrollo de la residencia profesional. Su apoyo contribuyó de manera significativa a la culminación satisfactoria de este trabajo.

INDICE

RESUMEN	1
1 Introducción	3
1.1 Descripción de la empresa	4
1.2 Planteamiento.....	4
2 Objetivos.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos	4
2.3 Delimitación.....	5
3 Justificación	5
4 Marco Teórico	5
4.1 La Automatización como estrategia operacional	5
4.1.1 Fundamentos Conceptuales y Propósito Central	5
4.1.2 De la Mecanización a la Producción en Masa (Industria 1.0 y 2.0)	6
4.1.3 La Era de la Digitalización (Industria 3.0)	6
4.1.4 La Conectividad Cognitiva (Industria 4.0)	7
4.2 Clasificación Operacional de los Sistemas de Automatización Industrial	8
4.2.1 Sistemas de Automatización Fija (<i>Fixed Automation</i>).....	8
4.2.1 Sistemas de Automatización Programable (<i>Programmable Automation</i>)	8
4.2.3 Sistemas de Automatización Flexible e Integrada (<i>Flexible/Integrated Automation</i>)	8
4.3 Arquitectura Tecnológica y Jerarquía de Control	9
4.3.1 Nivel de Campo (Nivel 0): Sensores y Actuadores	9
4.3.2 Nivel de Control (Nivel 1): Controladores Lógicos Programables (PLCs).....	10
4.3.3 Nivel de Supervisión (Nivel 2): HMI y SCADA.....	10
4.3.4 Integración de Sistemas	10
4.4 Beneficios Principales de la Automatización Industrial	11
4.4.1 Aumento de la Productividad.....	11
4.4.2 Mayor Precisión y Calidad del Producto	11
4.4.3 Reducción de Costos Operativos	12

4.4.4 Mayor Seguridad Industrial	12
4.4.5 Monitoreo y Control en Tiempo Real	12
4.4.6 Flexibilidad y Adaptabilidad.....	12
4.4.7 Trazabilidad y Registro de Datos.....	13
4.5 Proceso de Fabricación del Plastisol.....	13
4.5.1 El Proceso de Fabricación por Lotes	15
4.5.2 Formulación, Pesaje y Dosificación	15
4.5.3 Dispersión, Homogeneización y Desaireación	15
4.5.4 Control de Calidad y Filtrado Intermedio.....	15
4.5.5 Almacenamiento en Tanques	16
4.5.6 Diseño y Materiales de Construcción del Tanque.....	16
4.5.7 Gestión Reológica Mediante Agitación Manual	16
4.5.8 Control de Temperatura y Variables Ambientales.....	16
4.5.9 Procedimientos de Seguridad No Automatizados (Trasvase).....	17
4.5.10 Aplicación y Curado Térmico.....	17
4.5.11 Enfriamiento y Control de Calidad Final.....	17
5 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	20
5.1 Tubería de Acero al Carbón de 1 ½” Cédula 40	20
5.2 Aislamiento de Elastómero Flexible (Tipo K-FLEX/INSUL-TUBE).....	21
5.3 Recubrimiento con Lámina de Aluminio Calibre 26	21
5.4 Válvulas de Esfera Worcester de 1 ½” de Bronce	22
5.5 Válvulas de Esfera con Actuador Neumático y Bloque de Electroválvulas	23
5.6 Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200F CPU 1215FC	24
5.7 Variadores de Frecuencia (VFDs).....	24
5.8 Panel Táctil HMI KTP700 Siemens 6AV2123-2GB03-0AX0	25
5.8 Motor Agitador Trifásico de 5 HP	26
5.9 Sensor Capacitivo Ecolab CA30CAN25PA	27
5.10 Conector Industrial De 32 A 4 Polos	27
6 Procedimiento esperado.....	28
6.1 Actividades de Planeación, Seguridad y Logística	28
6.1.1 Protocolos de Seguridad y Gestión de Riesgos	29
6.2 Desglose de Instalación de Tubería de Proceso (Acero al Carbón 1 ½” Céd. 40). 29	

6.2.1 Preparación y Trazado de la Ruta	29
6.3 Proceso de Fabricación y Montaje de Tubería Soldada	30
6.4 Funcionalidad de las Líneas Específicas	31
6.5 Aseguramiento de la Calidad y Protección Térmica.....	32
6.5.1 Pruebas Hidrostáticas y Ajustes (Verificación Mecánica)	32
6.5.2 Pruebas Operacionales con Plastisol (Ajuste de Flujo y Reología).....	32
6.5.3 Colocación de Aislamiento Térmico (Protección Crítica)	33
6.6 Habilitación Electromecánica y Canalización de Fuerza	33
6.6.1 Montaje de Gabinete y Equipos de Potencia	33
6.6.2 Instalación de Canalización Eléctrica (Durabilidad Industrial)	34
6.7 Instrumentación de Proceso y Actuación Neumática	35
6.7.1 Detección de Nivel y Conectividad	35
6.7.2 Actuación de Flujo Automatizada.....	35
6.7.3 Elementos de Seguridad y Visualización.....	36
6.8 Ingeniería de Control y Puesta en Marcha Final.....	36
6.8.1 Integración de Hardware y Programación de Interfaz	36
6.8.2 Lógica de Seguridad y Optimización Reológica	36
6.8.3 Ajuste Fino y Documentación.....	37
 7 RESULTADOS DEL PROYECTO: ANÁLISIS DE NORMATIVA, COTIZACION Y CONECCIONES ELECTRICAS.....	 38
7.1 NORMATIVA, CERTIFICACIONES Y ESTÁNDARES DE CALIDAD	38
7.2 Normativa Mexicana de Instalaciones Eléctricas, Mantenimiento y Eficiencia ...	38
7.2.1 La: Requisitos de Seguridad en Instalaciones Eléctricas.....	38
7.2.2 NOM-029-STPS-2011: Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas	39
7.2.3 NOM-016-ENER-2016: Eficiencia Energética para Motores	40
7.2.4 NOM-009-ENER-2014: Eficiencia Energética en Sistemas de Aislamiento Térmico.....	41
7.3 Normativa de Seguridad y Salud en el Trabajo (STPS) y Ambiente	41
7.3.1 NOM-017-STPS-2008: Equipo de Protección Personal (EPP)	41
7.3.2 NOM-018-STPS-2015: Sistema Armonizado para la Identificación de Riesgos Químicos.....	42
7.3.3 NOM-019-STPS-2011: Comisiones de Seguridad e Higiene.....	42
7.3.4 NOM-022-STPS-2015: Electricidad Estática y Puesta a Tierra	42

7.3.5 NOM-052-SEMARNAT-2005: Residuos Peligrosos	43
7.4 Estándares de Ingeniería y Calidad Internacional (IEC, ISO, ASME)	43
7.4.1 IEC 61131-3: Lenguajes de Programación Estandarizados	43
7.4.2 ISO 9001:2015: Gestión de Calidad y Trazabilidad	44
7.4.3 ASME B31.3: Tuberías de Proceso.....	44
7.4.4 UNE-EN 60309-1-2: Conexiones Eléctricas Industriales (Seguridad).....	44
8 Cotización Desglosada: Suministros (Materiales y Equipos).....	45
8.1 Cotización Desglosada: suministro de material.....	45
8.1.1 Cotización Desglosada: Servicios.....	49
8.1.2 Resumen Consolidado y Ajuste al Presupuesto Máximo	51
8.2 FUNDAMENTO TÉCNICO Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL	51
8.2.1 ANÁLISIS DE LA LÓGICA DE CONTROL MAESTRO Y DE NIVEL (IMÁGENES 1 y 2).....	52
8.2.2 CONTROL DE DOSIFICACIÓN, AGITACIÓN TEMPORIZADA Y VFD.....	54
8.2.3 INTEGRACIÓN DE HARDWARE, POTENCIA Y CONTROL FINO	55
8.2.4 JUSTIFICACIÓN INTEGRADA DEL DISEÑO Y CUMPLIMIENTO REOLÓGICO	59
9 Proceso de instalación del tablero eléctrico	60
9.1 MONTAJE MECÁNICO Y ESTRUCTURAL DEL GABINETE (PASO 13)	60
9.1.1 Preparación del Gabinete y Disipación Térmica	60
9.1.2 Organización Interna y Segregación de Circuitos	60
9.1.3 Implementación de la Red de Puesta a Tierra.....	61
9.2 ARQUITECTURA DE POTENCIA Y MONTAJE DE VFDs (PASO 14).....	61
9.2.1 Instalación del Tablero de Distribución y Protección	61
9.2.2 Montaje y Cableado de los 4 Variadores de Frecuencia (VFDs)	62
9.2.3 Conexiones Auxiliares de Fuerza (Conectores Industriales)	62
9.4 ARQUITECTURA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN (PASOS 17, 19, 23)	62
9.4.1 Montaje del PLC y Cableado de Entradas (DI)	62
9.4.2 Mapeo de Salidas y Actuación (DQ a Kx).....	63
9.4.3 Control Fino de Velocidad y Retroalimentación.....	63

9.5 VERIFICACIÓN POST-INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA (PASOS 26, 27).....	64
10 conclusiones.....	65
11 Competencias desarrolladas.....	66
Referencias.....	67

RESUMEN

El presente informe se documenta la implementación de un sistema de automatización y control integral para la gestión de tanques de almacenamiento y transferencia de Plastisol en una planta industrial. El proyecto se desarrolló como parte de las prácticas profesionales de Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Apizaco, en colaboración con PROYECTOS Y SERVICIOS INDUSTRIALES MIH S. DE R.L. DE C.V., con el objetivo principal de optimizar la eficiencia operativa y garantizar la calidad del producto.

El reto operativo central fue el manejo del Plastisol, un fluido coloidal no newtoniano de alta viscosidad cuyo procesamiento manual genera variabilidad significativa. Esa dependencia de la intervención humana provocaba calidad inconsistente, dosificación imprecisa y elevados riesgos de seguridad durante las operaciones de transferencia y agitación. La gestión inadecuada de la reología y la contención del fluido comprometía la productividad general que podría tener el cliente.

Para mitigar los riesgos y la variabilidad, se diseñó e implementó un sistema de automatización programable que integra robustez mecánica e inteligencia de control de seguridad funcional. La inversión total estimada para la ejecución del proyecto incluyendo suministros, mano de obra especializada y una contingencia del 10 asciende a \$753,674.36 MXN.

El núcleo del sistema es un Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200F CPU 1215FC Failsafe; la selección de una CPU con capacidad de Seguridad Funcional permite implementar interlocks automáticos que responden ante fallas y reducen el riesgo asociado a respuestas tardías o incorrectas del operador.

La calidad del Plastisol y la durabilidad de los motores agitadores (5 HP) se optimizaron integrando cuatro Variadores de Frecuencia (VFDs). Estos dispositivos permiten un control reológico activo, ajustando con precisión la velocidad de agitación para mantener la suspensión homogénea del PVC sin inducir cizallamiento excesivo ni calentamiento que degrade el polímero. Además, los VFDs proporcionan arranque suave, protegiendo motores y reductores del estrés mecánico al arrancar en medios de alta viscosidad.

Se contemplan 160 metros lineales de tubería de acero al carbón cédula 40, junto con válvulas de esfera con actuador neumático, para habilitar una dosificación automatizada y repetible por tiempo. El diseño full-bore de las válvulas y el acabado interno liso de la tubería soldada,

conforme a ASME B31.3, minimizan riesgos de taponamiento y acumulación que podrían afectar la calidad del Plastisol.

La ejecución del proyecto cumplió estrictamente con Normas Oficiales Mexicanas y estándares internacionales relevantes. En materia eléctrica y mecánica se adoptaron medidas alineadas con la NOM-001-SEDE-2012 y la NOM-029-STPS-2011 (LOTO), empleando canalización tipo conduit pared gruesa y procedimientos de bloqueo/etiquetado. Para la eficiencia térmica se aplicó aislamiento de elastómero con recubrimiento de aluminio calibre 26 en concordancia con la NOM-009-ENER-2014, manteniendo la estabilidad térmica crítica para la viscosidad del Plastisol. Finalmente, la lógica de control programada en el PLC Failsafe soporta la gestión de recetas y la repetición precisa de ciclos de mezcla, alineándose con los requisitos de ISO 9001:2015.

1 Introducción

El proyecto destinado a prácticas profesionales fue desarrollado en colaboración con PROYECTOS Y SERVICIOS INDUSTRIALES MIH S. DE R.L. DE C.V., empresa orientada a la optimización de procesos industriales. Para ello se participó como asistentes del oficial supervisor, colaborando en la gestión de un sistema de control para el llenado y monitoreo de niveles en tanques de almacenamiento. El objetivo general consistió en automatizar y monitorear los tanques de mezclado, el padder textil y los equipos asociados, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y asegurar la calidad del producto.

La idea principal se centró en la naturaleza del Plastisol, un fluido coloidal no newtoniano de alta viscosidad cuyo proceso manual genera variabilidad en parámetros críticos como viscosidad, densidad y estabilidad reológica. La operación contemplada como manual dependía del pesaje, dosificación y agitación manual, lo que incrementaba el riesgo de degradación térmica por cizallamiento excesivo y la posibilidad de obstrucciones en tuberías por acumulación de material. Asimismo, la prevención de sobrellenados dependía únicamente de alarmas audibles y de la reacción del operador, lo que representaba un alto riesgo operativo por error humano.

Para atender estas problemáticas, la solución se planteó desde un enfoque mecatrónico que integró sistemas mecánicos, eléctricos y de control. Los objetivos específicos incluyeron la instalación de 160 metros lineales de tubería para la correcta conducción del producto, la integración de válvulas neumáticas, variadores de frecuencia y sistemas de aislamiento térmico, así como la implementación de un tablero de control con PLC Siemens y HMI para el monitoreo y regulación de parámetros. El alcance se delimitó a los tanques de mezclado, el padder textil y las líneas de retorno asociadas.

La inversión total del proyecto, estimada en \$753,674.36 MXN, se justificó técnica y económicamente por la transformación del proceso productivo. Desde el punto de vista de calidad y productividad, la automatización sustituyó la variabilidad manual por un control preciso y repetible, permitiendo la estandarización del proceso, la operación continua y la trazabilidad de datos. En términos de seguridad funcional, los interlocks programados en el PLC Failsafe y el control de motores mediante VFDs redujeron significativamente los riesgos de derrames y fallas mecánicas. Finalmente, aunque el costo inicial es elevado, la reducción de desperdicios, la disminución de mano de obra en tareas críticas y el aumento en la vida útil de los equipos generan un retorno favorable de la inversión a través de la reducción de costos operativos a largo plazo.

1.1 Descripción de la empresa

La empresa PROYECTOS Y SERVICIOS INDUSTRIALES MIH S. DE R.L. DE C.V se dedica a proporcionar servicios de suministros, mantenimientos e instalaciones de materiales, equipos y estructuras según lo solicite el cliente y se tiene como propósito optimizar sus procesos productivos, reparaciones con trabajos varios proporcionando satisfacción al cliente con cada trabajo.

Respecto al puesto en el que se asignó al estudiante es como asistente de oficial supervisor en el área de gestión de proyectos.

1.2 Planteamiento

La empresa PROYECTOS Y SERVICIOS INDUSTRIALES MIH S. DE R.L. DE C.V tiene como propósito optimizar sus procesos productivos mediante la automatización y la implementación de un sistema eléctrico de control integral que garantice mayor productividad, reducción de costos operativos y un control más preciso de parámetros críticos en su operación que realizará el cliente.

Respecto a ello se presenta la planificación de la implementación e instalación de una automatización del control del llenado y monitoreo de niveles en tanques de almacenamiento debido a la necesidad del cliente.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Implementar un sistema automatizado de control y monitoreo para los tanques de mezclado, el padder textil y equipos asociados, con el fin de optimizar la eficiencia operativa y la calidad del producto en la planta industrial.

2.2 Objetivos específicos

- Instalar la red de tuberías para la correcta conducción del producto entre los tanques de mezclado, padder, tanques de almacenamiento y totes.
- Integrar sistemas de automatización y control de flujo, temperatura y velocidad de agitación en tanques.
- Implementar un tablero eléctrico de control con PLC Simens y HMI que permita monitorear y regular parámetros de operación.
- Realizar pruebas de funcionamiento y ajustes para asegurar la correcta operación del sistema.
- Entregar el sistema al usuario final, capacitando en su uso y garantizando su confiabilidad.

2.3 Delimitación

Este proyecto abarca el sistema de tanques de mezclado, el padder textil y las líneas de retorno asociadas; no se incluyen etapas posteriores de envasado o distribución. Se considerarán todos los componentes necesarios para esta parte del proceso (tuberías, sensores de temperatura, variadores, PLC, HMI, etc.), sin intervenir otras áreas de la planta. En cuanto al alcance temporal, se considera el diseño, implementación y pruebas del sistema en ese periodo, dejando estudios de largo plazo (mantenimiento o escalado) fuera de este proyecto.

3 Justificación

La automatización industrial consiste en aplicar sistemas de control e instrumentación para que los procesos productivos funcionen de manera continua, eficiente y con un menor margen de error. En este proyecto, la implementación del sistema de transferencia y agitación está orientada a superar los desafíos operativos del manejo del Plastisol, un fluido coloidal no newtoniano de alta viscosidad, transformando un proceso susceptible a la variabilidad manual en un sistema rigurosamente controlado, protegido y optimizado. La justificación radica en la descripción de actividades que se llevarían a cabo para una instalación de ese tipo, así como su cotización y diagramas para su ejecución, la inversión total, estimada en \$753,674.36 MXN (incluyendo la contingencia del 10%), reside en la fusión de la robustez mecánica con la inteligencia de control de seguridad funcional.

La automatización permitirá operar las líneas de transferencia, los tanques de almacenamiento (Holdings) y los agitadores de forma estable y segura, abordando directamente las variaciones en la calidad del producto final y los altos riesgos operativos asociados a la dosificación imprecisa.

4 Marco Teórico

4.1 La Automatización como estrategia operacional

La automatización, en su sentido más amplio, se define como la acción y el efecto de convertir cualquier proceso o movimiento en automático. Desde una perspectiva técnica y de ingeniería, la automatización implica utilizar un conjunto integrado de sistemas tecnológicos para hacer maquinales o autogestionados ciertos procesos. Este concepto se ha convertido en el pilar fundamental de la excelencia operativa y la competitividad en el siglo XXI.

4.1.1 Fundamentos Conceptuales y Propósito Central

El propósito primordial de la Automatización Industrial (AI) es integrar sistemas que operan y monitorean maquinaria y procesos, con la meta clara de incrementar la productividad y la competitividad de las empresas. Esto se logra aprovechando la alta precisión y agilidad inherentes a la tecnología, características particularmente valiosas al ejecutar actividades de naturaleza repetitiva.

La implementación de la automatización trasciende la mera sustitución de la fuerza laboral. Su objetivo moderno es asistir a los trabajadores en sus tareas rutinarias. Al liberar al capital humano de la ejecución de labores mecánicas, la empresa puede optimizar sus recursos humanos, reorientándolos hacia funciones de mayor valor estratégico, diseño, supervisión y creatividad. El resultado operacional directo de esta transformación es la capacidad de producir de forma continua y repetida, a menudo las 24 horas del día. Esta capacidad de producción en volumen, junto con la reducción drástica de tiempos y errores, es lo que garantiza un control total y constante de las operaciones.

Es crucial entender que la automatización funge como un catalizador estratégico que reorganiza la estructura de costos de una empresa. La inversión se desplaza del gasto en mano de obra operativa hacia el capital tecnológico y la formación de personal cualificado para el diseño, mantenimiento y supervisión del sistema. Además de la reducción de costos, la contribución más significativa es la precisión constante que garantiza la estandarización de procesos. Esta consistencia en la ejecución es la base indispensable para el análisis avanzado de datos (Machine Learning e Inteligencia Artificial) y habilita el principio de toma de decisiones descentralizada característico de la Industria 4.0.

4.1.2 De la Mecanización a la Producción en Masa (Industria 1.0 y 2.0)

Los orígenes de la automatización se sitúan a principios del siglo XVIII, durante la Primera Revolución Industrial (Industria 1.0). La invención de la máquina de vapor y la mecanización de los procesos, ejemplificada por el telar mecánico, condujeron a la creación de las primeras máquinas automatizadas. Este cambio inicial se enfocó en acelerar la producción y mitigar la necesidad de esfuerzo manual excesivo.

Un siglo más tarde, la Segunda Revolución Industrial (Industria 2.0) introdujo nuevas fuentes de energía, como el petróleo, el gas y la energía eléctrica, y mejoró las comunicaciones (teléfono y telégrafo). El aumento de la demanda de bienes impuso el modelo de producción en línea (como el desarrollado por Henry Ford), marcando la era de la producción masiva. Esta masificación hizo indispensable la introducción de dispositivos de control precisos para variables críticas como la presión, la temperatura y el flujo, requiriendo el desarrollo de sistemas de automatización dedicados a labores repetitivas dentro de las líneas de producción.

4.1.3 La Era de la Digitalización (Industria 3.0)

Comenzando al finalizar la Segunda Guerra Mundial, la Tercera Revolución Industrial se ha denominado la "Revolución de la Inteligencia". Este periodo se caracteriza por un cambio vertiginoso en el estado del arte tecnológico, impulsado por el surgimiento de la electrónica y la computación.

El avance decisivo fue la introducción de los Controladores Lógicos Programables (PLCs) a finales de los años 60. Los PLCs reemplazaron los ineficientes sistemas de relés cableados, ofreciendo una flexibilidad programable y un control significativamente mejorado de procesos complejos. Simultáneamente, la invención del robot industrial a mediados del siglo

XX revolucionó la manufactura, permitiendo automatizar tareas altamente repetitivas y peligrosas. Durante esta fase también se desarrollaron los Sistemas de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) para la monitorización y control de grandes instalaciones.

4.1.4 La Conectividad Cognitiva (Industria 4.0)

La Industria 4.0 representa la materialización de la transformación digital del sector. Es un nuevo paradigma sinónimo de fabricación inteligente, fundamentado en la fusión de los mundos físico y digital a través de sistemas ciberfísicos.

Un habilitador clave fue el surgimiento del Internet de las Cosas (IoT) en la década de 2010, que expandió las capacidades de interconexión, permitiendo sistemas de automatización más sofisticados y conectados. El objetivo estratégico de esta revolución es mejorar la productividad y la eficiencia, aumentando la flexibilidad y agilidad de las operaciones para permitir la toma de decisiones en tiempo real y la personalización de la producción.

La evolución de la automatización demuestra una progresión constante hacia la gestión de la variabilidad. Mientras que las Industrias 1.0 y 2.0 se enfocaron en controlar la energía y la posición, la 3.0 abordó la lógica y la secuencia. La Industria 4.0, con sus herramientas de IA y ML, controla la adaptabilidad y la optimización en tiempo real. Este desplazamiento continuo de la complejidad del *hardware* al *software* de procesamiento de datos indica que, con los avances tecnológicos futuros, la automatización se volverá aún más ubicua, impulsando mayor eficiencia y productividad. Teniendo un resumen de las principales características en la (Tabla 1).

Tabla 1 Contexto Histórico: Etapas de la Automatización Industrial

Revolución Industrial	Periodo Aproximado	Tecnología Habilitadora Clave	Concepto de Automatización
1.0 (Mecanización)	Siglo XVIII	Energía de vapor, Telar mecánico	Sustitución del esfuerzo manual y mecanización
2.0 (Producción en Masa)	Fines S. XIX - Inicios S. XX	Electricidad, Líneas de montaje	Producción en línea, producción masiva y control de variables de proceso
3.0 (Digitalización)	Mediados S. XX - 2000s	Electrónica, Computación, PLCs	Lógica programada, Robótica industrial y control de procesos complejos
4.0 (Conectividad Inteligente)	2010s - Presente	IoT, IA/ML, Sistemas Ciberfísicos	Interoperabilidad, Descentralización, Fábricas inteligentes y autonomía

4.2 Clasificación Operacional de los Sistemas de Automatización Industrial

La implementación de la automatización requiere una arquitectura de sistema alineada con la estrategia de producción de la empresa. La elección se basa principalmente en la necesidad de gestionar el volumen de producción versus la variabilidad del producto. Los sistemas se clasifican en tres tipos principales.

4.2.1 Sistemas de Automatización Fija (*Fixed Automation*)

Los sistemas de automatización fija se caracterizan por su rigidez; una vez contruidos, generalmente no aceptan variaciones en la secuencia de operación o en el producto. Estos sistemas son extremadamente duraderos y su diseño es, por lo general, personalizado para el proceso específico.

Son adecuados para la producción de grandes volúmenes de productos que se mantendrán estables en el tiempo. Si bien la inversión inicial puede ser económica en comparación con otros tipos de sistemas, el riesgo principal reside en su inflexibilidad. Si la empresa necesita realizar un pequeño cambio en el producto o el proceso, se requiere un gran desembolso para modificar el sistema, o en el peor de los casos, debe prescindirse de él. Por lo tanto, son viables únicamente para procesos muy específicos donde la variabilidad es mínima (por ejemplo, el embotellado o el refinado continuo).

4.2.1 Sistemas de Automatización Programable (*Programmable Automation*)

Estos sistemas están diseñados para gestionar la fabricación de productos por lotes, permitiendo realizar variaciones en el producto de un lote a otro. La automatización programable es perfecta para entornos donde las variaciones se gestionan periódicamente, ya sea varias veces al día o cada poco mes, dependiendo del tamaño de los lotes de producción.

La limitación inherente a estos sistemas es que la reprogramación necesaria para cambiar de un producto a otro consume tiempo. Para que esta estrategia sea altamente efectiva, la empresa debe intentar minimizar la frecuencia de los cambios o, de lo contrario, debe contratar personal especialmente cualificado para realizar estas tareas de reprogramación eficientemente.

4.2.3 Sistemas de Automatización Flexible e Integrada (*Flexible/Integrated Automation*)

Los sistemas flexibles representan la forma más sofisticada y novedosa de automatización, y en ciertos contextos, se consideran una versión avanzada o una hibridación de la automatización programable. Su atributo más valioso es la capacidad de respuesta, permitiendo cambiar la configuración de los equipos de manera automática y

excepcionalmente rápida. Esto significa que pueden producir diferentes productos, a menudo sin similitudes entre sí, en un periodo de tiempo muy breve.

El concepto de Automatización Integrada se refiere a un conjunto de sistemas independientes (como estaciones de trabajo o líneas de control) que operan sincrónicamente y en paralelo, dirigidos por un sistema de control superior. En esta configuración, ordenadores, robots y sistemas de monitoreo dirigen las máquinas para maximizar la efectividad conjunta.

La inversión requerida para los sistemas flexibles es notablemente alta, lo que restringe su adopción a aquellas empresas donde la agilidad de mercado y la alta flexibilidad productiva son estratégicamente imprescindibles para ello se muestra la (Tabla 2) comparando los sistemas de automatización que se pueden ver en la industria.

La decisión entre estos sistemas se rige por el eje flexibilidad-costo. Un mercado que exige alta personalización y tiene ciclos de vida de producto cortos (la realidad de la Industria 4.0) hace que los sistemas fijos sean una estrategia de alto riesgo. La inversión inicial en un sistema flexible, a pesar de ser un Costo de Capital (CAPEX) elevado, reduce el Costo Total de Propiedad (TCO) a largo plazo al minimizar los costos de cambio (OPEX) y el riesgo de inventario obsoleto, asegurando la adaptabilidad en entornos dinámicos.

Tabla 2 Comparativa de Sistemas de Automatización Industrial

Tipo de Sistema	de Volumen de Producción	de Flexibilidad al Cambio	Inversión Inicial	Aplicación Típica
Fija	Muy Alta (Producción en masa continua)	Nula o Mínima	Baja/Media (Alto costo de modificación)	Procesos estables y productos homogéneos
Programable	Media a Alta (Producción por lotes)	Media (Requiere tiempo y personal para reprogramación)	Media	Fabricación de productos variados en grandes lotes
Flexible Integrada	/ Baja a Media (Producción bajo demanda)	Muy Alta (Cambio rápido y automático)	Alta	Producción de diversos productos sin semejanzas en periodos breves

4.3 Arquitectura Tecnológica y Jerarquía de Control

El control de procesos industriales se sustenta en una arquitectura jerárquica que define las funciones desde la interacción con el proceso físico hasta la gestión estratégica.

4.3.1 Nivel de Campo (Nivel 0): Sensores y Actuadores

Esta capa representa la interfaz directa entre el sistema de automatización y el entorno físico. Los sensores detectan cambios en el entorno y transmiten estos datos a la capa de control a través de módulos de entrada. Por otro lado, los actuadores (como variadores de

velocidad, válvulas de control o relés) toman los comandos del controlador y los convierten en acciones físicas, influyendo directamente en el proceso. La fiabilidad de la capa de campo es crucial, ya que provee los datos de tiempo real necesarios para la toma de decisiones.

4.3.2 Nivel de Control (Nivel 1): Controladores Lógicos Programables (PLCs)

El PLC es el dispositivo electrónico central de la automatización. Reemplazaron los sistemas electromecánicos y ofrecen la flexibilidad de ser programados utilizando diversos lenguajes para cumplir con requisitos específicos. Están diseñados para ser robustos y operar en entornos industriales hostiles, caracterizados por temperaturas extremas, vibraciones y polvo.

Los componentes clave de un PLC incluyen: la Unidad Central de Procesamiento (CPU), que actúa como el cerebro, ejecutando operaciones lógicas y coordinando las interacciones de entrada/salida; los Módulos de Entrada/Salida (I/O), que permiten la comunicación con los dispositivos de campo; y la Memoria, que almacena las instrucciones del programa y los datos variables para la operación en tiempo real.

4.3.3 Nivel de Supervisión (Nivel 2): HMI y SCADA

Por encima del control directo por PLC se encuentra el nivel de supervisión:

1. **HMI (Interfaz Hombre-Máquina):** Proporciona la interfaz de usuario con pantallas táctiles, botones e indicadores, permitiendo a los operadores monitorear y controlar los procesos industriales de manera efectiva en el sitio.
2. **SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos):** Son plataformas de software que facilitan la supervisión en tiempo real de los procesos en toda la planta. Los sistemas SCADA son esenciales para la adquisición de datos masivos y la gestión remota, integrando componentes como sensores, actuadores, PLCs y equipos de campo.

4.3.4 Integración de Sistemas

La eficiencia moderna del control depende de la integración vertical. Aunque la jerarquía tradicional ha sido piramidal, la Industria 4.0 exige que esta estructura se aplane, por ello en la (Tabla 3) podemos un resumen de los componentes utilizados en el control de procesos. Si los datos recolectados por los PLCs y SCADA no se comunican de manera efectiva con los sistemas de gestión empresarial (ERP, MES), se generan "silos de información" que frustran la toma de decisiones estratégica basada en datos. Por lo tanto, la inversión en conectividad de red, potencia informática (en la nube y en el borde) y ciberseguridad es tan crítica como la inversión en el hardware de control mismo.

Tabla 3 Componentes Esenciales del Control de Procesos

Nivel/Jerarquía	Componente Clave	Función Principal	Ejemplo Técnico	Relevancia 4.0
Campo (0)	Sensores y Actuadores	Interfaz físico-digital (Detección/Ejecución)	Termopares, Válvulas, Motores	Fuente de Datos en Tiempo Real (IoT)
Control (1)	PLC (Controlador Lógico Programable)	Procesamiento de la lógica de control en tiempo real	CPU, Módulos I/O	Punto de Descentralización de Decisiones
Supervisión (2)	SCADA y HMI	Monitorización, control local y recolección de datos de planta	Plataformas de visualización, Paneles táctiles	Agregación de Datos para Gemelos Digitales
Gestión (3/4)	MES / ERP	Planificación, gestión de recursos y análisis estratégico	Software de gestión de inventarios, Planificación de producción	Integración Vertical para la Cadena de Suministro

4.4 Beneficios Principales de la Automatización Industrial

4.4.1 Aumento de la Productividad

- Permite operar procesos de forma continua (24/7), eliminando las pausas, turnos y descansos inherentes al trabajo humano.
- Reduce tiempos de operación (ciclo de producción) y aumenta la capacidad de producción. Las máquinas ejecutan tareas a una velocidad y ritmo constante, inalcanzable para un operario.
- Complemento relevante: Al liberar a los humanos de tareas repetitivas, el personal puede enfocarse en actividades de mayor valor agregado como la supervisión, el análisis, la innovación o el mantenimiento especializado.

4.4.2 Mayor Precisión y Calidad del Producto

- Minimiza errores humanos (fatiga, distracción), lo que se traduce directamente en menos retrabajos y rechazos.
- Mantiene parámetros constantes (temperatura, presión, flujo, mezcla, etc.) con una repetibilidad de micras o milisegundos, garantizando la uniformidad y calidad en todos los lotes y productos finales.
- Complemento relevante: Es esencial en industrias con normativas estrictas (farmacéutica, alimentaria, aeroespacial), donde el control estricto de cada variable del proceso es un requisito de cumplimiento regulatorio.

4.4.3 Reducción de Costos Operativos

- Disminuye el desperdicio de materiales y el consumo energético gracias al control preciso y optimizado de los recursos (ej. dosificación exacta).
- Menos necesidad de mano de obra directa en tareas repetitivas o peligrosas, lo que reduce los costos laborales directos y los gastos asociados (ej. capacitación, seguros).
- Complemento relevante: Aunque la inversión inicial en tecnología es alta (CAPEX), el Retorno de la Inversión (ROI) se logra rápidamente a través de la reducción de los costos operativos a largo plazo (OPEX) y el aumento de la producción.

4.4.4 Mayor Seguridad Industrial

- Reduce la exposición de los trabajadores a entornos riesgosos (químicos tóxicos, atmósferas explosivas, altas temperaturas, maquinaria pesada y movimientos repetitivos que causan lesiones).
- Los sistemas automatizados incorporan mecanismos de seguridad intrínsecos que pueden detenerse automáticamente ante fallas, anomalías o condiciones peligrosas (ej. paradas de emergencia gestionadas por PLCs de seguridad).
- Complemento relevante: La automatización ayuda a las empresas a cumplir con las normas OSHA y otras regulaciones de salud y seguridad laboral, reduciendo multas y accidentes.

4.4.5 Monitoreo y Control en Tiempo Real

- Permite visualizar parámetros clave del proceso en interfaces hombre-máquina (HMI) o desde sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).
- Facilita la detección temprana de fallas, la corrección inmediata de desviaciones y permite la implementación de mantenimiento predictivo (basado en datos y análisis de tendencias) en lugar de mantenimiento reactivo.
- Complemento relevante: Esta capacidad de recopilación masiva de datos es la base de la Industria 4.0 y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), permitiendo el análisis avanzado (Big Data) para optimizar continuamente la producción.

4.4.6 Flexibilidad y Adaptabilidad

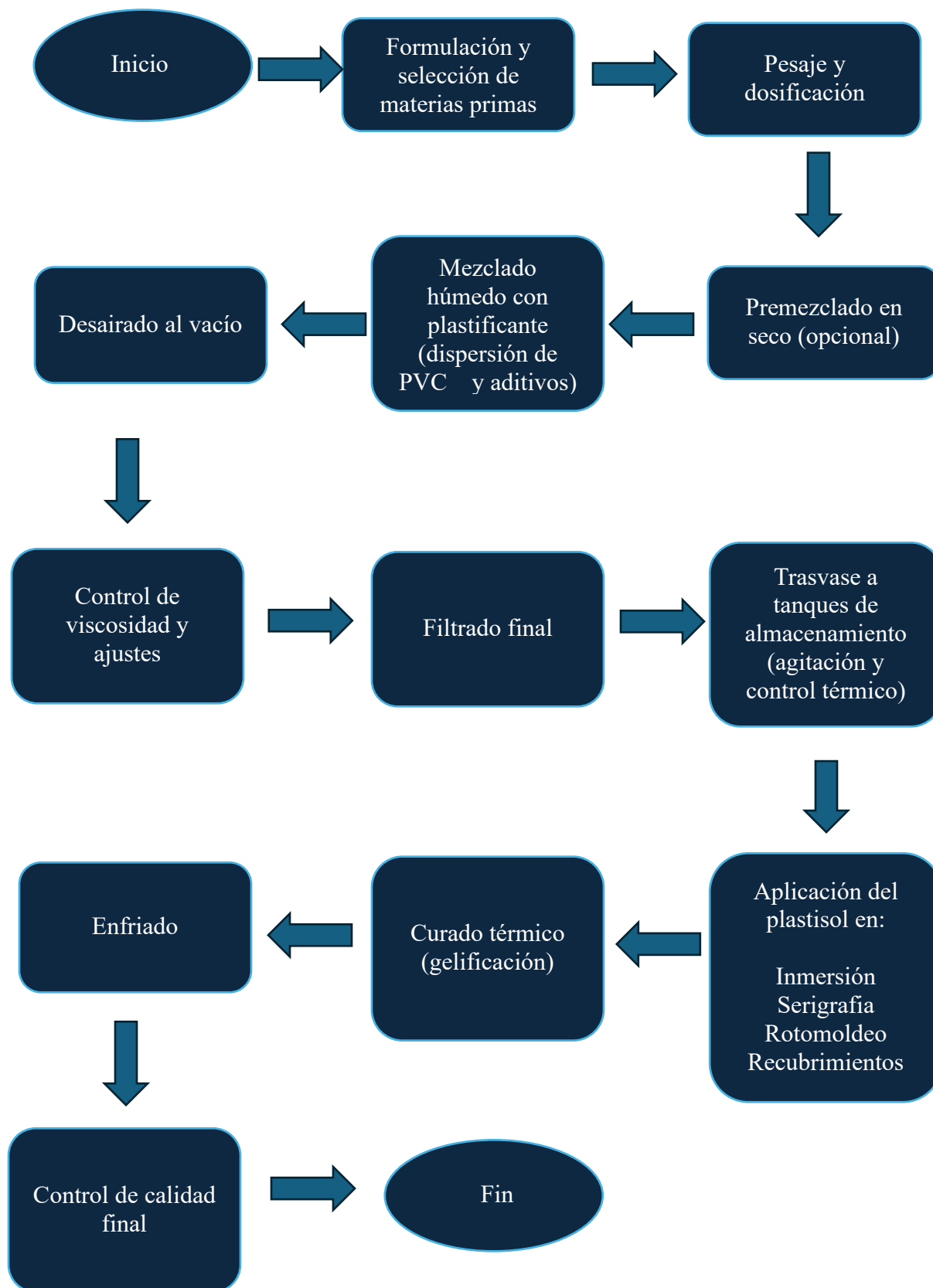
- Los sistemas automatizados basados en *software* (ej. programas de PLC, *robots*) pueden reprogramarse fácilmente ante cambios en las especificaciones del producto, el volumen de producción o los requisitos de lote.
- Se adaptan a nuevos productos o procesos sin necesidad de rediseñar toda la instalación física, solo ajustando el código o las herramientas de los robots.
- Complemento relevante: En la era de la personalización masiva, esta flexibilidad es crucial para producir lotes más pequeños y una mayor variedad de productos con el mínimo tiempo de cambio (SMED: Single-Minute Exchange of Dies).

4.4.7 Trazabilidad y Registro de Datos

- Los sistemas almacenan información detallada y encriptada del proceso (temperaturas, tiempos de ciclo, velocidades, alarmas, identificación de operadores, etc.).
- Esta información es indispensable para auditorías internas y externas, la garantía de calidad, la mejora continua del proceso (identificación de cuellos de botella) y, en caso de problemas de producto, permite la trazabilidad completa hacia atrás.
- Complemento relevante: Al generar automáticamente los registros de producción, se elimina la documentación manual, garantizando que los datos son objetivos, precisos e inmutables, lo que es vital para el cumplimiento normativo (ej. FDA en alimentos y farmacéutica).

4.5 Proceso de Fabricación del Plastisol

El plastisol es una suspensión líquida compuesta básicamente por resina de PVC en polvo dispersa en uno o varios plastificantes (ésteres, p. ej. DOP, DINP, DOTP u otros), junto con estabilizantes, pigmentos, rellenos y aditivos (lubricantes, agentes anti-espumantes, cargas). A temperatura ambiente es un fluido de alta viscosidad (dependiendo de la formulación) y no se transforma en sólido hasta que se le aplica calor (en aplicaciones de recubrimiento se «fluxea» o cura por calentamiento tras la aplicación). La formulación exacta (proporciones de resina/plastificante) determina viscosidad, densidad, reología y estabilidad. Como se muestra en el diagrama 1.1 de proceso de fabricación del plastisol basado en proceso manual o artesanal, para un punto de comparación con la mejora que muestra la automatización.



1.1 Diagrama general del proceso de fabricación del plastisol

4.5.1 El Proceso de Fabricación por Lotes

El proceso de producción artesanal o por lotes se estructura en fases de preparación, dispersión y acondicionamiento.

4.5.2 Formulación, Pesaje y Dosificación

El diagrama de flujo inicia con la Formulación, donde se seleccionan las resinas de PVC, plastificantes y aditivos basándose en los requisitos del producto final.

A continuación, se procede al Pesaje y Dosificación, una etapa que exige precisión extrema para garantizar la uniformidad entre los lotes. Es indispensable utilizar una balanza durante la preparación para medir la cantidad exacta de cada componente. En algunos casos, se puede realizar un premezclado en seco de los componentes en polvo (resina, pigmentos, cargas) para facilitar la dispersión homogénea antes de la incorporación de líquidos.

4.5.3 Dispersión, Homogeneización y Desaireación

Posteriormente, se lleva a cabo el Mezclado Húmedo. En esta etapa crítica, el plastificante se incorpora gradualmente a la mezcla seca, aplicando una agitación mecánica o de alta cizalla. El objetivo es lograr una dispersión uniforme del polímero en polvo y los pigmentos en el líquido, ya que una dispersión deficiente resulta en aglomeración y variaciones de color y textura. Para lotes pequeños o manuales, se utilizan mezcladoras/batidoras con regulación de velocidad para controlar la intensidad del mezclado.

Lograda la viscosidad adecuada, la mezcla requiere un Desaireado. Esta fase es crucial para eliminar las burbujas de aire atrapadas durante la agitación, cuya presencia puede afectar negativamente la viscosidad final y causar defectos en el curado. Si bien el método ideal es el uso de vacío, en operaciones manuales el protocolo se enfoca en la prevención: se recomienda un mezclado gradual, lento y constante, seguido de un periodo de reposo controlado para permitir el escape natural del aire ocluido.

4.5.4 Control de Calidad y Filtrado Intermedio

Antes del almacenamiento, el plastisol desaireado pasa por un control de calidad intermedio. Aquí se miden parámetros como:

- Viscosidad: Fundamental para asegurar la trabajabilidad del material.
- Densidad y Estabilidad Reológica: Para verificar la homogeneidad de la suspensión.

Si los parámetros no cumplen con la especificación, se realizan ajustes mediante la adición controlada de plastificante, cargas o modificadores.

Finalmente, se efectúa un Filtrado Final del producto para asegurar que la suspensión esté completamente libre de impurezas, grumos o partículas no dispersadas antes de su transferencia a los tanques.

4.5.5 Almacenamiento en Tanques

El almacenamiento adecuado es la clave para preservar la calidad del plastisol antes de su uso final, exigiendo un control manual riguroso de las condiciones ambientales y la reología.

4.5.6 Diseño y Materiales de Construcción del Tanque

Para el almacenamiento prolongado, los tanques deben ser químicamente inertes para evitar la contaminación del plastisol. El material predilecto para estas aplicaciones es el Acero Inoxidable (a menudo Acero Inoxidable 316), gracias a su inercia química y facilidad de limpieza.

El diseño del tanque debe ser compatible con la viscosidad del material y el problema de la sedimentación. Por ello, están dimensionados para alojar Agitadores de Ancla o de contra rotación. Es altamente recomendado que el agitador incorpore rascadores móviles para evitar la adherencia del producto a las paredes internas del depósito. En un sistema no automatizado, estos agitadores son accionados y supervisados manualmente mediante motorreductores.

4.5.7 Gestión Reológica Mediante Agitación Manual

La agitación periódica es el mecanismo manual principal para combatir la sedimentación del PVC. El plastisol es un fluido no newtoniano, que reduce su viscosidad (tixotropía) al ser agitado, volviéndose más fluido y homogéneo.

El Protocolo de Agitación Mínima requiere que el contenido del tanque se agite (o "reactive reológicamente") cada día antes de comenzar las operaciones de dosificación o trasvase. Esta acción revierte el endurecimiento del material sedimentado, asegurando que el producto esté homogéneo y con una viscosidad óptima para su bombeo.

4.5.8 Control de Temperatura y Variables Ambientales

Los tanques deben estar en un entorno fresco, seco y bien ventilado. El Control de Temperatura es crítico: la temperatura ideal de almacenamiento se sitúa entre 18°C y 25°C. Las temperaturas fuera de este rango comprometen la calidad:

- **Temperaturas altas:** Deterioro del plastisol y riesgo de degradación térmica del PVC, que comienza alrededor de 100°C.
- **Temperaturas bajas:** Aumentan excesivamente la viscosidad, dificultando el trasvase y dosificación.

Además, se debe evitar la luz solar directa y, tras cada uso, los recipientes y tanques deben mantenerse bien sellados para prevenir la entrada de aire y humedad, lo cual podría desestabilizar la suspensión de tinta.

4.5.9 Procedimientos de Seguridad No Automatizados (Trasvase)

Durante el llenado de los Tanques de Almacenamiento Sobre Tierra (AST), la seguridad se basa en la intervención humana:

- **Prevención de Sobrellenado:** En lugar de un sistema de apagado automático, se utiliza una alarma sonora y visual de alto nivel que se activa cuando el tanque alcanza el 90% de su capacidad. Esta alarma exige que el operador de transferencia detenga o restrinja el flujo manualmente de manera inmediata.
- **Prevención de Derrames:** Debe instalarse equipo pasivo como una cuenca de captación de derrames (*spill containment basin*) en el puerto de llenado, diseñada para contener el producto si la manguera se desconecta accidentalmente.
- **Trasvase de Alta Viscosidad:** Para movilizar el plastisol es necesario utilizar Bombas de Desplazamiento Positivo (diseño de Cavidad Progresiva). El operador supervisa manualmente el caudal, y la bomba debe tener componentes de Acero Inoxidable 316, Teflón o Viton.

4.5.10 Aplicación y Curado Térmico

El plastisol ya acondicionado y con su viscosidad estabilizada está listo para la Aplicación. Esto se realiza mediante métodos como la inmersión, la serigrafía, el recubrimiento o el rotomoldeo, dependiendo del producto final.

Una vez aplicado, el material debe someterse a un Curado Térmico. En esta etapa se le aplica calor (generalmente entre 145°C y 166°C para provocar la gelificación, donde las partículas de PVC se fusionan y se unen al plastificante. Este proceso transforma la mezcla líquida en un sólido cohesionado, flexible y duradero.

4.5.11 Enfriamiento y Control de Calidad Final

Después del curado, el material se enfría para estabilizar su estructura final y lograr la forma deseada.

Finalmente, se realiza un Control de Calidad Integral del producto terminado. Esto incluye la inspección visual, pruebas de adhesión, dureza, flexibilidad y evaluación del desempeño según la aplicación final.

La propuesta de automatización para la gestión del Plastisol representa una mejora exponencial sobre el proceso de fabricación por lotes manual y artesanal, especialmente en las fases de Dosificación, Homogeneización (Mezclado), Control de Temperatura y Seguridad del Trasvase.

Las mejoras son directas, cuantificables y están justificadas por los componentes de alta tecnología adquiridos, transformando los procedimientos manuales de alto riesgo en secuencias automatizadas, fiables y trazables.

Comenzando con la (Tabla 4) se muestra la mejora respecto a la gestión reológica y homogenización en comparativa con un proceso manual.

Tabla 4 Mejora en la Gestión Reológica y Homogeneización (De Manual a Control de Cizallamiento)

Procedimiento Manual (Proceso Artesanal)	Mejora con la Automatización (Arquitectura Failsafe y VFD)
Mezclado Húmedo y Desaireación (Control de Velocidad): Se utiliza una mezcladora/batidora con regulación de velocidad manual para controlar la intensidad. El control de velocidad es impreciso, susceptible al error humano y puede generar cizallamiento excesivo y calor, deteriorando el Plastisol. El Desaireado se basa en un mezclado gradual y tiempo de reposo prolongado, lo que alarga los tiempos de ciclo.	Control Reológico Activo por VFD (Paso 27): El PLC (a través de la lógica MS1/T3) controla el Motor Agitador de 5 HP mediante un VFD (\$11,348.00 MXN). El control del VFD permite sintonizar con precisión la frecuencia (Hz) a través de un Potenciómetro Analógico (AI), aplicando solo el <i>shear rate</i> óptimo para mantener la suspensión de PVC sin causar degradación térmica.
Agitación Periódica Manual (Gestión Reológica): El protocolo de <i>Agitación Mínima</i> requiere que el operador accione y supervise manualmente los motorreductores para combatir la sedimentación del PVC antes del trasvase.	Agitación Automatizada y Protegida: La lógica de escalera (Imagen 2) permite que el PLC inicie la agitación de forma automática (controlada por el Temporizador T3/T) una vez que se detecta la condición de proceso (sensor de temperatura S5/S6), eliminando la dependencia de la intervención manual diaria. El Arranque Suave (<i>Soft Start</i>) del VFD (Paso 27) protege el motor del estrés mecánico severo al arrancar en el fluido viscoso.

En la (Tabla 5) se observa la mejora de dosificación y estabilidad en el proceso ya contando con la automatización.

Tabla 5 Mejora en la Precisión de Dosificación y Estabilidad de Flujo (De Peso a Tiempo Controlado)

Procedimiento Manual (Proceso Artesanal)	Mejora con la Automatización (Actuación Rápida y Trazabilidad)
Pesaje y Dosificación: Exige el uso de una balanza para medir la cantidad exacta de cada componente antes del mezclado. La transferencia de Plastisol se realiza mediante Bombas de Desplazamiento Positivo con supervisión manual del caudal.	Dosificación Automatizada y Repetible: El sistema implementa la dosificación volumétrica por tiempo (Lógica MS1/T3) para la transferencia final a los aplicadores. La activación de la dosificación (salida Q0.4/Q0.5) controla las 5 Válvulas de Esfera con Actuador Neumático (\$9,325.00 MXN). La fuerza neumática asegura un cierre rápido y preciso, garantizando que el pulso de dosificación sea idéntico en cada lote, lo que es vital para la Repetibilidad exigida por ISO 9001:2015.

Control de Calidad Intermedio: Si los parámetros de Viscosidad y Estabilidad Reológica no cumplen, se realizan ajustes manuales mediante la adición *controlada* de plastificante o aditivos, lo cual es lento y variable.

Control de la Viscosidad en Línea: La tubería se instala con 160 ML de Aislamiento de Elastómero y Chaqueta Cal. 26 (NOM-009-ENER-2014). Esto elimina los puntos fríos y las fluctuaciones térmicas que son la principal causa de variaciones de viscosidad durante el trasvase, asegurando que el fluido mantenga su viscosidad óptima (18°C a 25°C) justo antes del punto de uso, reduciendo la necesidad de ajustes manuales posteriores.

Para la (Tabla 6) se muestra la mejora para la contención y seguridad apropiada para este proceso.

Tabla 6 Mejora en Seguridad y Protección de Contención (De Alarma Audible a Interlock Failsafe)

Procedimiento Manual (Proceso Artesanal)	Mejora con la Automatización (Instrumentación y Lógica Failsafe)
Prevención de Sobrellenado: La seguridad se basa en la intervención humana, utilizando únicamente una alarma sonora y visual de alto nivel (90% de capacidad) que <i>exige que el operador</i> detenga el flujo manualmente. El riesgo de error humano o retraso en la respuesta es alto.	Interlock Antiderrames Automático (SIL): La lógica de escalera utiliza la CPU S7-1200F Failsafe para la gestión de seguridad. El Sensor Capacitivo S2/S4 (Nivel Alto) activa el RESET de la bobina de llenado (ML1/ML2) de manera automática e inmediata. Esta interlock de seguridad funcional, con certificación SIL, elimina el error humano y garantiza que la válvula de llenado se cierre en cuanto se alcanza el nivel seguro.
Prevención de Derrames y Cableado: La protección pasiva requiere instalar cuencas de captación de derrames (<i>spill containment basin</i>) y la supervisión del operador de las mangueras.	Detección Fiable en Condiciones Adversas: La tecnología <i>teach-in</i> de los Sensores Capacitivos ECOLAB (Paso 26) permite la compensación de la adherencia de la película residual de Plastisol a las paredes. Esto garantiza que el sensor solo conmute ante el nivel real del fluido, proporcionando la máxima fiabilidad a la interlock de seguridad.
Riesgos Eléctricos y Mantenimiento: Los agitadores son supervisados y accionados manualmente mediante motorreductores sin protecciones avanzadas, lo que dificulta el diagnóstico de fallas y la aplicación de seguridad.	Seguridad Eléctrica y LOTO: El diseño incluye 2 Botoneras de Paro de Emergencia y el cableado con Conduit Pared Gruesa (\$48,000.00 MXN MOD), el cual ofrece blindaje EMI y protección física a la instalación (NOM-001-SEDE-2012). El sistema se aísla mediante procedimientos de Bloqueo/Etiquetado (LOTO), facilitados por los relés auxiliares y la señal de Feedback del PLC, cumpliendo la NOM-029-STPS-2011.

5 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA AUTOMATIZACIÓN

5.1 Tubería de Acero al Carbón de 1 ½" Cédula 40

- Descripción: Es una tubería de acero al carbono, conocida por su resistencia mecánica y bajo costo. La designación "Cédula 40" (Sc) se refiere al espesor de la pared del tubo, lo que influye en la presión de trabajo máxima que puede soportar, se muestra en la (Figura 1). El tamaño nominal es de 1 ½ pulgadas. Se utiliza comúnmente para el transporte de agua, gas, vapor, y otros fluidos industriales.
- Función: Conducir fluidos en un sistema de tuberías.



Figura 1 Tubería de Acero al Carbón de 1 ½" Cédula 40

El Acero al Carbón (AC) se selecciona por su excelente relación resistencia/costo. Sus propiedades de alto límite elástico y resistencia a la tracción lo hacen ideal para la construcción industrial. Dado que el Plastisol no presenta propiedades corrosivas significativas al AC a las temperaturas de proceso, se evita la necesidad de utilizar materiales más costosos como el acero inoxidable. Esta decisión económica es crucial, ya que el ahorro en el material base de la tubería permite reasignar recursos financieros a los componentes de automatización críticos (como el PLC Failsafe y los sensores especializados), donde la sofisticación tecnológica tiene un mayor impacto en la calidad y la seguridad.

La tubería Cédula 40 para 1 ½" (NPS) tiene un espesor de pared de aproximadamente 3.42 mm (0.135 pulgadas). Esta especificación es suficiente para soportar las presiones de bombeo requeridas por un fluido de alta viscosidad y provee la rigidez estructural necesaria para la instalación aérea a 3.50 m de altura, minimizando deflexiones entre los puntos de soporte existentes.

5.2 Aislamiento de Elastómero Flexible (Tipo K-FLEX/INSUL-TUBE)

- Descripción: Material de aislamiento térmico de celda cerrada fabricado a partir de caucho sintético (a menudo a base de NBR, caucho de nitrilo-butadieno). Es altamente flexible, resistente al vapor de agua, y tiene una baja conductividad térmica como se observa en la (Figura 2).
- Función: Prevenir la pérdida o ganancia de calor en tuberías y ductos (aislamiento térmico) y prevenir la condensación superficial (control de rocío).



Figura 2 Aislamiento de Elastómero Flexible

Se utilizará aislamiento de elastómero flexible de celda cerrada (NBR/PVC), como K-FLEX INSUL-TUBE, para tubería de 1 ½" IPS. Este material es excelente para retardar el aumento o pérdida de calor.

La necesidad de este aislamiento va más allá de la eficiencia energética. El control reológico es esencial: si la temperatura del Plastisol fluctúa durante el transporte, su viscosidad varía, afectando la eficiencia de la bomba y, lo más importante, la uniformidad con la que se aplica en las líneas de recubrimiento. Por lo tanto, el aislamiento térmico es un componente de control de calidad.

Además, la instalación debe asegurar el cumplimiento de la NOM-009-ENER-2014. Esta Norma Oficial Mexicana establece la máxima densidad de flujo térmico permitida para tuberías industriales (tanto en alta como en baja temperatura, aunque el Plastisol opere en el rango moderado), verificando la eficiencia térmica del sistema.

5.3 Recubrimiento con Lámina de Aluminio Calibre 26

- Descripción: Una cubierta protectora externa de lámina delgada de aluminio con un espesor indicado por el Calibre 26 como se observa en la (Figura 3), (un calibre más bajo indica un metal más grueso).

- Función: Proteger el material de aislamiento térmico (como el elastómero) contra daños físicos (abrasión, impactos) y la intemperie (radiación UV, humedad), extendiendo su vida útil.



Figura 3 Recubrimiento con Lámina de Aluminio Calibre 26

El aislamiento de elastómero requiere protección mecánica. Se instalará un recubrimiento exterior de lámina de aluminio Calibre 26 (Cal. 26). Esta lámina sirve como una barrera de vapor, protege el elastómero de daños físicos accidentales (impactos, abrasión) en el entorno de la planta y previene la degradación por radiación UV si las líneas pasan por zonas expuestas. La instalación incluye todos los cortes y ajustes necesarios, asegurando los solapes y el uso de tornillería específica (o bandas de acero) para mantener la hermeticidad y la integridad del recubrimiento.

5.4 Válvulas de Esfera Worcester de 1 ½” de Bronce

- Descripción: Una válvula de cierre rápido que utiliza una esfera perforada y giratoria para controlar el flujo. Gira 90 grados (un cuarto de vuelta) para abrir o cerrar el paso. El material de bronce ofrece buena resistencia a la corrosión en sistemas de agua y vapor de baja presión. Los modelos Fig. 411T / 4211T son referencias específicas del fabricante Worcester (ahora parte de Flowserve) para válvulas de esfera roscadas.
- Función: Iniciar o detener completamente el flujo de un fluido.



Figura 4 Válvula de Esfera Worcester de 1 ½” de Bronce

Las válvulas de esfera (Ball Valves) son la elección ingenieril ideal para este fluido. La especificación de válvulas Worcester de bronce (Figura 4) se debe a que su diseño de paso completo (full-bore) minimiza la restricción del flujo.

La minimización de la restricción es un factor crítico en fluidos viscosos y suspensiones. Las válvulas de diseño restrictivo (como las de globo o compuerta no total) crean zonas de baja velocidad donde el Plastisol puede sedimentarse o acumularse, lo que conduce a problemas de taponamiento y requiere mantenimiento correctivo frecuente. La selección de válvulas de esfera de paso total reduce significativamente el mantenimiento preventivo y garantiza la máxima disponibilidad de la línea de transferencia

5.5 Válvulas de Esfera con Actuador Neumático y Bloque de Electroválvulas

- Descripción: Combina una válvula de esfera estándar (para control de flujo) con un actuador neumático (un dispositivo que utiliza aire comprimido para girar la esfera) y un bloque de electroválvulas (solenoides). La electroválvula convierte una señal eléctrica de control en una señal neumática que mueve el actuador.
- Función: Controlar el flujo de forma remota y automática mediante una señal eléctrica, utilizando la potencia del aire comprimido para el movimiento.



Figura 5 Válvulas de Esfera

El uso de válvulas de esfera (Figura 5) acopladas a actuadores neumáticos y controladas por un bloque de electroválvulas permite la automatización total del flujo. El bloque centraliza la interfaz de control, traduciendo la señal eléctrica de bajo voltaje del PLC a la fuerza neumática necesaria para operar la válvula rápidamente. Esta integración garantiza un control de flujo automatizado, rápido y preciso para las tareas de dosificación y transferencia del Plastisol.

5.6 Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200F CPU 1215FC

- Descripción: Es un PLC modular diseñado por Siemens para aplicaciones de automatización industrial. El modelo S7-1200 es de gama media (Figura 6). El sufijo "F" (Fail-safe) indica que es un PLC de seguridad que puede ejecutar funciones de parada de emergencia y monitoreo de seguridad, cumpliendo normativas internacionales. El CPU 1215FC es una unidad central de procesamiento específica con capacidad Fail-safe, que gestiona toda la lógica del sistema.
- Función: Ejecutar la lógica de control y seguridad de un proceso industrial, recibiendo datos de sensores y enviando comandos a actuadores (como las válvulas).



Figura 6 Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200F CPU 1215FC

La selección del modelo 6ES7215-1AF40-0XB0 con la designación "F" (Failsafe) es una decisión de ingeniería centrada en la seguridad operacional. Un PLC Failsafe está diseñado para ejecutar lógica de seguridad funcional con la máxima integridad. Esto es crítico para gestionar de forma segura los riesgos asociados al manejo de fluidos, como la activación confiable e inmediata de los Paros de Emergencia (E-Stops) y la ejecución de las interlocks de nivel alto o bajo, previniendo derrames y protegiendo los equipos costosos como los agitadores y las bombas.

5.7 Variadores de Frecuencia (VFDs)

- Descripción: También conocidos como Inversores o *Drives de Velocidad Variable* (Figura 7). Son dispositivos electrónicos de potencia que modifican la frecuencia y el voltaje de la energía suministrada a un motor de corriente alterna (AC).
- Función: Controlar la velocidad y el par (torque) de un motor, lo que permite un arranque suave y un ahorro significativo de energía al ajustar la velocidad de bombas, ventiladores o compresores a la demanda real del proceso.

Los VFDs (Variable Frequency Drives) son dispositivos de control de potencia que permiten ajustar la velocidad de los motores eléctricos de los agitadores al variar la frecuencia

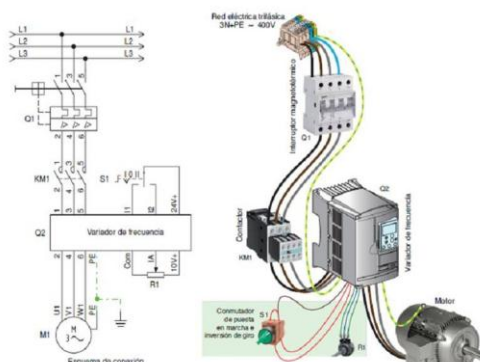


Figura 7 Variadores de Frecuencia (VFDs)

de suministro. Son elegidos para: Controlar la energía de mezcla: Asegurando que la velocidad sea suficiente para evitar la sedimentación de partículas de PVC. Prevenir la degradación por cizallamiento: Evitando que la agitación excesiva genere fricción interna y calor que degrade el Plastisol. Al operar los motores a la velocidad óptima requerida, se optimiza el consumo energético y se reduce el ruido y la vibración.

5.8 Panel Táctil HMI KTP700 Siemens 6AV2123-2GB03-0AX0

- Descripción: El Panel Táctil HMI KTP700 de Siemens (Figura 8) es una interfaz hombre-máquina de la familia SIMATIC HMI Basic Panel, equipada con una pantalla táctil TFT a color de 7 pulgadas y teclas de función integradas. Está diseñado para la visualización, supervisión y operación de procesos automatizados, ofreciendo una comunicación directa y confiable con controladores lógicos programables Siemens, particularmente de la serie S7-1200. Su diseño compacto y robusto lo hace adecuado para aplicaciones industriales.
- Función: Proporcionar al operador una interfaz gráfica intuitiva para el monitoreo en tiempo real de variables de proceso, la visualización de estados del sistema, la introducción de parámetros de operación y la ejecución de comandos de control. El panel permite una interacción segura y eficiente entre el usuario y el sistema automatizado, reduciendo la dependencia de ajustes manuales directos sobre el equipo.



Figura 8 Panel Táctil HMI KTP700 Siemens 6AV2123-2GB03-0AX0

El HMI KTP700 fue seleccionado para este proyecto por su capacidad de integrar la supervisión y el control del proceso de manejo del Plastisol en una sola plataforma visual. A través de pantallas gráficas diseñadas en TIA Portal, el operador puede visualizar niveles de tanques, estados de válvulas, condiciones de los motores agitadores y alarmas del sistema, así como realizar ajustes autorizados a parámetros de operación. Esta interfaz facilita la trazabilidad del proceso, mejora la repetibilidad de las operaciones y contribuye al cumplimiento de los requisitos de calidad y seguridad, al centralizar la información crítica y reducir el riesgo de error humano durante la operación del sistema automatizado.

5.8 Motor Agitador Trifásico de 5 HP

El Motor Agitador Trifásico de 5 HP (Figura 9) es un motor de inducción diseñado para servicio continuo industrial, operando en configuraciones trifásicas estándar de 230/460V y típicamente construido en armazón de hierro fundido (Frame 184T) para asegurar durabilidad y resistencia física (IP55). Su función esencial es proporcionar la fuerza mecánica (torque) para mantener en suspensión las partículas de PVC dentro de la matriz líquida del Plastisol en los tanques de almacenamiento (Holdings), evitando la sedimentación, lo cual es crítico debido a la alta viscosidad y naturaleza de suspensión del fluido.



Figura 9 Motor Agitador Trifásico de 5 HP

La potencia de 5 HP se selecciona específicamente para vencer la alta resistencia al flujo (viscosidad) del Plastisol y se relaciona directamente con el control de calidad del proceso, ya que está acoplado a un Variador de Frecuencia (VFD). El VFD permite que el motor opere a velocidad variable, lo que es fundamental para prevenir la degradación térmica: ajustando la velocidad para evitar el cizallamiento excesivo (fricción) que genera calor y puede dañar el polímero y optimizar el arranque (*soft start*): evitando picos de corriente y el estrés mecánico en el sistema de agitación al arrancar en un medio espeso, asegurando la fiabilidad operativa del motor a largo plazo.

5.9 Sensor Capacitivo Ecolab CA30CAN25PA

- Descripción: Un sensor de proximidad (Figura 10) que detecta la presencia de un objeto mediante la medición de un cambio en la capacitancia eléctrica de su campo de detección. Es capaz de detectar materiales no metálicos (líquidos, granulados, polvos) y objetos a través de las paredes de contenedores. El modelo Ecolab CA30CAN25PA hace referencia a una unidad específica, probablemente de 30 mm de diámetro, con una salida PNP (tipo de transistor).



Figura 10 Sensor Capacitivo Ecolab CA30CAN25PA

Este sensor de proximidad (M30) se utiliza para la detección de nivel puntual de seguridad (ALTO/BAJO) en los Holdings. La clave de su selección es su capacidad avanzada de "aprendizaje" o configuración directa, que le permite ignorar la película de Plastisol que inevitablemente se adhiere a su superficie debido a la viscosidad del fluido. Este ajuste es fundamental para garantizar que el sensor solo conmute cuando el nivel real del fluido alcance el punto crítico y no por la presencia de un residuo adherido, aumentando la fiabilidad del sistema de seguridad.

5.10 Conector Industrial De 32 A 4 Polos

- Este es un kit de conexión eléctrica industrial (Macho/Hembra) diseñado para operar con una corriente nominal de 32 Amperios y una configuración de 4 Polos (típicamente 3 fases más tierra) (Figura 11).
- Está construido con materiales plásticos resistentes (libres de halógenos y poliamida 4) con contactos internos de aleación de cobre zinc, y ofrece una resistencia al impacto de IK08. Posee un grado de protección IP44, lo que significa que está diseñado para resistir salpicaduras de agua y polvo, siendo adecuado para su uso en instalaciones de planta o exteriores controlados. Este conector está regido por la norma internacional UNE-EN 60309-1-2.



Figura 11 Conector Industrial De 32 A 4 Polos

Su relación crítica con la ejecución se basa en la Seguridad por Normalización: el conector cumple con la norma UNE-EN 60309-1-2, la cual garantiza que sea físicamente imposible acoplarlo con tomas o clavijas de diferentes voltajes, amperajes o configuraciones de polos, previniendo así errores de conexión y sobrecargas eléctricas. Este estándar de seguridad es fundamental para la Habilitación Electromecánica, ya que permite su uso en las conexiones rápidas de equipos auxiliares de 4 polos y en los contactos auxiliares de 127V (que incluyen un transformador), protegiendo los circuitos del sistema de control y los equipos de mantenimiento.

6 Procedimiento esperado

Se realiza la explicación de las actividades propuestas para el tipo de instalación de la cual dispondría el cliente contando con suministros de material y servicios que la empresa emplearía, proporcionando los pasos para la ejecución de dicha instalación, esto es mencionado para que el cliente tenga la idea más clara para el plan de acción que utilizaría la empresa.

El siguiente plan de ejecución desglosa las fases, requerimientos de ingeniería, y asignación de recursos necesarios para el montaje de 160 metros lineales (ML) de tubería de proceso, la instalación de equipos de potencia y control (PLC/VFD), y la puesta en marcha de un sistema de transferencia de Plastisol. La metodología sigue una secuencia lógica, priorizando la seguridad operativa, la integridad mecánica del sistema y la precisión en la automatización, elementos críticos para el manejo de un fluido no newtoniano de alta viscosidad como el Plastisol. Cada actividad está justificada técnica y financieramente con base en la cotización desglosada del proyecto, asegurando la transparencia y el cumplimiento normativo.

6.1 Actividades de Planeación, Seguridad y Logística

Antes de la movilización de personal y el inicio de la instalación física en el sitio, se establece una fase rigurosa de planeación, seguridad y logística. El objetivo primordial de esta sección es garantizar la continuidad operativa de la planta existente y el estricto cumplimiento normativo, especialmente en lo relativo a la seguridad del personal que ejecuta labores de alto riesgo. Estos protocolos son la base fundacional para la integridad de la ejecución.

6.1.1 Protocolos de Seguridad y Gestión de Riesgos

La implementación de sistemas de gestión de riesgos comienza con la Gestión de Permisos de Trabajo (PTW). Este proceso es la piedra angular del control de riesgos operacionales y exige la emisión y aprobación diaria de permisos específicos para actividades de alto riesgo. Dada la naturaleza del proyecto, la gestión incluye obligatoriamente Permisos de Trabajo en Altura, ya que la instalación de la tubería se realizará a una elevación crítica de 3.50 metros. Estos permisos requieren una evaluación detallada de la estabilidad de las plataformas de trabajo, el uso de arneses de cuerpo completo y líneas de vida ancladas. Adicionalmente, se tramitarán Permisos de Trabajo en Caliente, esenciales para los procesos de soldadura que se utilizarán en la tubería y los soportes, lo que requiere medidas de control de incendios y barreras ignífugas. Finalmente, se gestionarán los Permisos de Aislamiento Eléctrico (LOTO), fundamentales para el aseguramiento de los equipos existentes que se interconectarán. La justificación de este riguroso proceso es asegurar que todas las actividades de montaje y soldadura se realicen con las medidas preventivas adecuadas, mitigando los riesgos inherentes a la complejidad de trabajar con tubería de proceso a gran elevación.

Complementando la gestión de permisos, se implementa el protocolo de Bloqueo/Etiquetado (LOTO). La primera etapa consiste en la identificación exhaustiva de todas las fuentes de energía que alimentan los equipos existentes que serán objeto de interconexión. Esto abarca tanto la energía eléctrica (para bombas de transferencia y agitadores) como la energía neumática (para líneas de aire comprimido necesarias para la operación de las nuevas válvulas automatizadas). La justificación del LOTO es la prevención de arranques accidentales de equipos durante la manipulación mecánica y eléctrica, un riesgo catastrófico que podría resultar en lesiones graves al personal de ejecución. La instalación de candados y etiquetas LOTO antes de cualquier manipulación de tubería o cableado en áreas activas es un requisito de seguridad de cumplimiento absoluto, formando parte integral del Plan de Seguridad Funcional (SIL) del proyecto.

6.2 Desglose de Instalación de Tubería de Proceso (Acero al Carbón 1 ½" Céd. 40)

Esta sección aborda el montaje de los 160 ML de tubería de acero al carbón de 1 1/2" Cédula 40. La selección del material y la técnica de unión (soldadura) se basa en la necesidad reológica de manejar el Plastisol, un fluido coloidal que exige un acabado interno liso y libre de discontinuidades geométricas. Las rutas específicas cubiertas son seis: Mixes a Holdings, Holdings a Aplicadores, Holdings a Shakers, y la crítica Recolector a Bomba, todas a una altura máxima de 3.50 m.

6.2.1 Preparación y Trazado de la Ruta

El proceso se inicia con la Ingeniería de Campo y Planeación de Ruta (Paso 1). El equipo de tuberos, en colaboración con el ingeniero de campo y el especialista en instrumentación, debe realizar una revisión meticulosa de los planos isométricos para validar las especificaciones de diseño. El levantamiento de las coordenadas de cada uno de los 160 ML

es esencial, no solo para la precisión dimensional, sino para la correcta planeación de los cortes y la ubicación exacta de los accesorios, las 8 Válvulas de Esfera Worcester 411-T y las conexiones de los sensores.

La justificación técnica radica en dos imperativos: primero, asegurar que se cumplan las elevaciones requeridas de hasta 3.50 m; y segundo, verificar y respetar la pendiente mínima requerida para el drenaje eficiente del Plastisol, cuya alta viscosidad requiere un diseño de gravedad asistida para evitar la acumulación de material y la subsiguiente degradación.

Siguiendo al trazado, se ejecuta la Habilitación de Soportes y Anclaje (Paso 2). Se procede al marcado preciso y la instalación de los soportes estructurales de tubería. El plan detalla el suministro de 80 piezas de Abrazaderas U-Bolt y Soportes Antivibración, con un costo unitario de \$67.25 MXN/Pza, totalizando una inversión en material de soporte de \$5,380.00 MXN. La mano de obra para esta tarea se ha cotizado en 8 jornales de mano de obra auxiliar a \$1,800.00 MXN cada uno, sumando \$14,400.00 MXN. El requisito de diseño es crucial: la tubería de acero Cédula 40, intrínsecamente pesada, debe estar rígidamente sujeta a 3.50 m de altura. Los soportes deben diseñarse para soportar la carga compuesta: el peso muerto de la tubería, el peso adicional del Plastisol (un fluido con una densidad notablemente mayor a 1.0, incrementando la carga viva), y el peso del sistema de aislamiento térmico y el revestimiento de aluminio. La separación de los soportes debe seguir estrictamente las directrices del código ASME B31.3 para sistemas de tuberías de proceso, con el fin de evitar deflexión excesiva, vibración y tensión concentrada en las juntas soldadas. La correcta ubicación de los 80 soportes previene fallas por fatiga a largo plazo.

6.3 Proceso de Fabricación y Montaje de Tubería Soldada

La instalación de 160 ML de tubería de proceso soldada en altura representa una labor altamente especializada, lo que justifica la asignación de 20 jornales a un costo de \$3,200.00 MXN por jornal, totalizando \$64,000.00 MXN solo en mano de obra directa para el montaje. El bajo rendimiento estimado de 8 ML/Jornal es una previsión realista que compensa la dificultad inherente de la soldadura en elevación y la necesidad absoluta de mantener una calidad de soldadura impecable para asegurar un acabado interno sin obstrucciones.

El proceso de fabricación comienza con el Corte, Biselado y Limpieza de Juntas (Paso 3). Una vez que se han cortado las secciones de Tubería Acero al Carbón 1 1/2" Céd. 40, cuyo suministro total es de \$12,576.00 MXN, se realiza el biselado en los extremos de la tubería y en los 40 Codos de 90° Acero Carbón, cuyo suministro total es de \$2,992.80 MXN. El biselado, que típicamente se realiza a 37.5°, es un proceso de ingeniería de fabricación esencial que crea la geometría adecuada para permitir la penetración completa del cordón de soldadura, garantizando la resistencia de la junta. El control de calidad preliminar es indispensable: antes de la soldadura, la superficie interna y externa debe limpiarse meticulosamente para eliminar contaminantes (óxido, grasa o humedad) que podrían afectar la calidad final de la soldadura, provocando porosidad, inclusiones o fallas que comprometerían la integridad reológica del flujo de Plastisol.

A continuación, se procede con la Soldadura por Puntos (Tack Welding) y Verificación de Alineación (Paso 4). Los tubos y codos son presentados y alineados dimensionalmente. Se fijan temporalmente mediante soldadura por puntos (tack welding) para mantener la geometría del spooling. La verificación de la alineación debe ser dimensional y angularmente precisa antes de la aplicación del cordón de soldadura final, asegurando que no se induzcan tensiones residuales ni tensiones excesivas que puedan fallar bajo la presión operativa.

El paso crítico es la Aplicación de Cordón de Raíz y Relleno (Paso 5). El soldador calificado ejecuta la soldadura final, depositando primero el cordón de raíz. Este cordón de raíz es el paso más importante para el manejo del Plastisol, ya que debe garantizar la suavidad de la superficie interna de la junta, asegurando la penetración completa sin crear un exceso de metal de aporte interno. Luego, se aplican los cordones de relleno (capas calientes) para dar la resistencia mecánica requerida por la tubería de proceso Cédula 40, cumpliendo con los requisitos de ASME B31.3. La Justificación Técnica para el Plastisol es clara: la elección de tubería Cédula 40 soldada, a pesar de su alto costo de mano de obra, se justifica por la necesidad imperativa de un acabado interno liso. Las conexiones roscadas o la tubería de menor calibre crearían rugosidades, cavidades o cambios abruptos de geometría interna. Para el Plastisol, una dispersión coloidal sensible, estas imperfecciones internas generarían puntos de acumulación, estancamiento o cizallamiento excesivo. El cizallamiento desestabilizaría la dispersión del polímero y afectaría su viscosidad, comprometiendo todo el proceso de dosificación en los aplicadores.

El proceso de montaje culmina con el Montaje de Válvulas y Accesorios (Paso 6). Se instalan las 8 Válvulas de Esfera Worcester 411-T de Bronce de 1 ½" con un costo total de \$45,600.00 MXN, seleccionadas por su diseño de paso completo (full-bore) que minimiza la restricción de flujo para fluidos viscosos y reduce la acumulación. Adicionalmente, se montan los 20 accesorios roscados (coples, tees, y conexiones) con un costo total de \$3,600.00 MXN. El Control de Sellado en los puntos de conexión roscada es vital: se deben usar selladores de rosca de alta calidad, específicamente compatibles con el Plastisol. Este sellado garantiza la hermeticidad y evita el contacto del fluido con el hilo de la rosca, lo que podría generar zonas de acumulación y taponamiento.

6.4 Funcionalidad de las Líneas Específicas

Todas las líneas se instalan utilizando material idéntico (1 1/2" Céd. 40), pero cumplen funciones de trasvase especializadas. Las líneas Mix 1/2 a Holdings 7/8 actúan como rutas primarias de alimentación. Las rutas Holding 7/8 a Aplicadores 1, 2, 5 son las líneas de suministro final, donde la calidad de la tubería y, posteriormente, el aislamiento térmico, se vuelve más crítica para asegurar que la viscosidad óptima del Plastisol se mantenga constante justo antes del punto de uso. Las líneas Holding 7/8 a Shakers 7/8 sirven como rutas de transferencia secundaria o recirculación. La línea Recolector a Bomba tiene una especificación única, incorporando los 2 Kits de Conexiones Rápidas H-M Camlock de 1 1/2" con un costo total de \$5,000.00 MXN (incluye manguera flexible). Estas conexiones Camlock son esenciales para la succión segura y eficiente del Plastisol desde el tambo recolector de material recuperado. Su diseño permite una conexión y desconexión rápida sin

riesgo de derrames, protegiendo al personal y al medio ambiente de la exposición del material.

6.5 Aseguramiento de la Calidad y Protección Térmica

La validación de la calidad del sistema se aborda en dos frentes: la verificación de su integridad mecánica (mediante pruebas hidrostáticas según ASME B31.3) y la instalación del sistema de protección térmica para la estabilidad reológica del fluido (siguiendo NOM-009-ENER-2014).

6.5.1 Pruebas Hidrostáticas y Ajustes (Verificación Mecánica)

El proceso comienza con el Aislamiento y Llenado del Circuito (Paso 7). Antes de la prueba, la sección de 160 ML de tubería debe ser aislada y segregada del sistema operativo mediante el cierre y bloqueo temporal de las válvulas. Se instala instrumentación calibrada (manómetros) para el monitoreo de la presión. El circuito debe llenarse completamente con agua limpia, asegurando la purga total del aire en los puntos altos del sistema para evitar riesgos de compresión incontrolada y picos de presión durante la presurización. El uso de agua como fluido de prueba es el estándar, a menos que existan riesgos de congelamiento o incompatibilidad, de acuerdo con las directrices de ASME B31.3.

El Protocolo de Presurización (ASME B31.3) (Paso 8) se ejecuta utilizando una bomba de prueba certificada y calibrada. La presión se eleva gradualmente hasta alcanzar el valor de prueba requerido. La norma ASME B31.3 establece típicamente que el valor de prueba hidrostática debe ser 1.5 veces la Presión Máxima de Trabajo (MAWP), o el valor más bajo permitido por las consideraciones de la sección 345 del código. Este proceso requiere 4 jornales de mano de obra especializada a \$3,200.00 MXN/Jornal, sumando \$12,800.00 MXN. El equipo de soldadores e inspectores de calidad debe revisar visual y minuciosamente cada junta soldada y conexión roscada mientras se mantiene la presión de prueba, verificando la integridad mecánica.

Finalmente, se realizan el Ajuste y Drenado (Paso 9). Cualquier indicio de fuga (identificada por una caída de presión o inspección visual) obliga a despresurizar, reparar la junta o soldadura defectuosa, y repetir la prueba completa. Una vez que la prueba hidrostática es satisfactoria, la línea es drenada y secada meticulosamente. Este paso es fundamental para prevenir la contaminación residual del Plastisol antes de su introducción, ya que cualquier traza de agua o humedad podría alterar la formulación del polímero.

6.5.2 Pruebas Operacionales con Plastisol (Ajuste de Flujo y Reología)

Las Pruebas de Flujo, Viscosidad y Caídas de Presión (Paso 10) son esenciales para validar la funcionalidad del proceso. Se asignan 4 jornales adicionales de mano de obra especializada a \$3,200.00 MXN/Jornal, sumando \$12,800.00 MXN, para realizar la prueba operacional con el fluido de proceso (Plastisol). El equipo monitorea variables clave, incluyendo la velocidad de flujo, la presión en puntos estratégicos y la reología (viscosidad). El propósito principal es confirmar que el Plastisol se comporta como se espera dentro de la

nueva infraestructura, asegurando que no experimente aumentos de viscosidad (engrosamiento por cizallamiento excesivo o temperatura) que impidan su dosificación precisa en los aplicadores. La justificación de esta fase es la mitigación del riesgo de entregar un sistema que es seguro a nivel estructural, pero que produce material no conforme o que es propenso a obstrucciones.

6.5.3 Colocación de Aislamiento Térmico (Protección Crítica)

La Aplicación del Aislamiento de Elastómero (NOM-009) (Paso 11) implica el suministro e instalación de 160 ML de Aislamiento de Elastómero de alta densidad industrial, cuyo costo total asciende a \$4,229.60 MXN (ajustado de la cotización). Este material de celda cerrada de alta densidad es seleccionado específicamente para un control térmico eficiente. La estabilidad de la viscosidad del Plastisol es extremadamente crítica, y un aislamiento de calidad minimiza la ganancia o pérdida de calor no deseada. El elastómero se ajusta y se sella meticulosamente alrededor de la tubería y todos los accesorios y válvulas, evitando la creación de puentes térmicos que podrían dar lugar a puntos fríos (y potencialmente obstrucciones) en la línea de Plastisol. Esta actividad se rige por la NOM-009-ENER-2014, que establece la eficiencia energética a través de la máxima densidad de flujo térmico para sistemas de aislamiento industriales.

El paso de protección final es la Colocación del Recubrimiento de Aluminio (Chaqueta) (Paso 12). Se suministran e instalan 160 ML de Lámina de Aluminio Calibre 26 con un costo total de \$22,000.00 MXN, y el Lote de Tornillería, Bandas y Sellos con un costo de \$3,500.00 MXN. El equipo de aisladores (12 Jornales a \$2,800.00 MXN, sumando \$33,600.00 MXN) es el encargado de realizar los cortes precisos, los solapes requeridos y la fijación del recubrimiento. La Función Técnica de la Chaqueta de Calibre 26 es doble: ofrece una robusta Protección Mecánica al aislamiento sensible del elastómero y, más críticamente, actúa como una Barrera de Vapor. Esta barrera previene la migración de humedad ambiental, la cual podría degradar la eficiencia del elastómero subyacente, conduciendo a puntos fríos y, potencialmente, a la obstrucción de la línea de Plastisol o a fallas por Corrosión Bajo Aislamiento (CUI).

6.6 Habilitación Electromecánica y Canalización de Fuerza

Esta sección se enfoca en la arquitectura de automatización y la canalización eléctrica robusta, vital para la confiabilidad y durabilidad en un entorno industrial. Abarca el suministro y la instalación de gabinetes, componentes de automatización (PLC/VFD), motores de agitación y la canalización eléctrica industrial requerida (Conduit Pared Gruesa y Cable Armado).

6.6.1 Montaje de Gabinete y Equipos de Potencia

El montaje inicia con la Instalación del Gabinete Metálico Principal (Paso 13). Se suministra e instala el Gabinete Metálico de 2000x1000x600 mm c/Platina con un costo de \$27,447.40 MXN. El dimensionamiento de este gabinete es crítico para alojar la compleja arquitectura de control y potencia (PLC, HMI, y los 4 VFDs). El espacio interno no solo debe

permitir el montaje físico de los componentes, sino también el disipamiento térmico adecuado y el cumplimiento de las distancias de seguridad eléctrica requeridas por la NOM-001-SEDE-2012. El equipo eléctrico asignado (5 Jornales a \$3,200.00 MXN, sumando \$16,000.00 MXN) se encarga del montaje físico, asegurando la correcta puesta a tierra y la instalación de rieles DIN y platinas internas para una distribución lógica y segura del cableado.

Seguidamente, se realiza el Montaje de Equipos de Control y Potencia (Paso 14). Se montan los componentes de control de Siemens: la CPU S7-1200F CPU 1215FC (\$8,086.11 MXN), esencial para la lógica de seguridad failsafe, y el Panel Táctil HMI KTP700 (\$8,412.36 MXN). En la sección de potencia, se instalan los 4 Inversores de Frecuencia (VFDs) de 5 HP con un costo total de \$11,348.00 MXN, los Guardamotores y Módulos de Relay SIMENS (\$3,926.66 MXN), y el Interruptor Termomagnético 3P 80A (\$2,304.72 MXN) para la acometida de fuerza. Se complementa con el Cableado Auxiliar: se instalan los Contactos Auxiliares de 127V con su transformador (\$3,500.00 MXN) y las 4 Clavijas Macho-Hembra de 4 Polos (Conector Industrial De 32 A 4 Polos) con un costo total de \$3,120.00 MXN para equipos auxiliares de mantenimiento o conexión rápida. Este componente cumple con la norma UNE-EN 60309-1-2, garantizando que sea físicamente imposible acoplarlo con tomas o clavijas de diferentes voltajes o amperajes, previniendo errores de conexión y sobrecargas eléctricas, una característica clave de la seguridad por normalización. La selección de los VFDs y la protección de los motores de 5 HP se realiza en conformidad con el Artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012, que rige la instalación y protección de circuitos de motores y controladores.

6.6.2 Instalación de Canalización Eléctrica (Durabilidad Industrial)

La infraestructura de canalización se inicia con la Instalación y Roscado de Tubería Conduit Pared Gruesa (PG) (Paso 15). Se instalan los 200 ML de Tubería Conduit PG de 1", cuyo costo total asciende a \$22,447.26 MXN (ajustado de la cotización). El uso de Conduit PG es un requisito de robustez que garantiza la máxima protección física al cableado. A diferencia de la tubería EMT (pared delgada), la Conduit PG exige que los electricistas utilicen una roscadora para crear hilos en los extremos, asegurando juntas herméticas y mecánicamente robustas. Esta especialización y la intensidad de la labor justifican los 15 Jornales cotizados a \$3,200.00 MXN, sumando \$48,000.00 MXN. Además de la protección mecánica, la canalización metálica rígida de Pared Gruesa proporciona un blindaje superior contra las interferencias electromagnéticas (EMI) que son inherentemente generadas por la conmutación de alta frecuencia de los VFDs.

Continuando con la infraestructura de potencia, se realiza el Tendido del Cableado de Fuerza (Potencia de Agitadores) (Paso 16). Se tienden 100 ML de Cable Armado 4 X 8 AWG con un costo total de \$24,594.00 MXN. El uso de cable armado (tipo MC o BX) es indispensable en un entorno industrial ya que, por diseño, proporciona una excelente protección mecánica contra daños físicos y actúa como un blindaje crucial contra las interferencias electromagnéticas (EMI) generadas por los VFDs. Este blindaje evita que el ruido eléctrico contamine los circuitos de control de bajo voltaje y las señales sensibles de instrumentación, un requisito fundamental para garantizar la integridad de la señal. La Mano

de Obra y Costo para el tendido y la conexión de este cableado pesado y blindado a los VFDs y a los 4 Motores Trifásico 5 HP requiere 6 jornales a \$3,200.00 MXN, sumando \$19,200.00 MXN.

6.7 Instrumentación de Proceso y Actuación Neumática

Esta fase se enfoca en el suministro e instalación de los elementos de detección de nivel y los actuadores de flujo controlados por el PLC, vitales para la automatización y la seguridad del trasvase del Plastisol.

6.7.1 Detección de Nivel y Conectividad

La detección de nivel puntual de seguridad (ALTO/BAJO) en los *Holdings* se realiza con el Montaje de Sensores Capacitivos ECOLAB (Nivel Punto) (Paso 17). Se suministran e instalan 4 Sensores Capacitivos ECOLAB CA30CAN25PA, cuyo costo total es de \$773.60 MXN. Estos se montan en puntos estratégicos para la lógica de seguridad *Failsafe* (disparos ON/OFF). La clave de la selección de este sensor es su capacidad avanzada de "aprendizaje" o configuración directa. Esta función permite que el sensor mida y registre la capacitancia de la pared del tanque y el residuo de Plastisol que inevitablemente se adhiere a su superficie debido a la viscosidad del fluido. Una vez programado, el sensor es capaz de ignorar esta película adherida (compensación de adherencia) y solo conmutar cuando el nivel real del fluido alcanza o desciende del punto crítico. Este ajuste de *software* es fundamental para garantizar la máxima fiabilidad de las interlocks de nivel alto o bajo y prevenir derrames o el funcionamiento en seco de las bombas. Se realiza el tendido de 500 ML de Cable de Control Calibre 18-20, cuyo costo total es de \$12,500.00 MXN, para estos y los demás actuadores.

La infraestructura de señalización se completa con el Tendido de Cableado de Control e Instrumentación (Paso 19). Se tienden 500 ML de cable de control Calibre 18-20 desde los 4 sensores de nivel puntual capacitivo y todos los actuadores hasta el gabinete principal de control. Este proceso de tendido, conexión y marcaje requiere 12 jornales de labor instrumentista a \$3,200.00 MXN, sumando \$38,400.00 MXN. La integridad de la señal es primordial, por lo que el cableado de control de bajo voltaje se enruta por separado del cableado de potencia de los VFDs para evitar interferencias electromagnéticas.

6.7.2 Actuación de Flujo Automatizada

Para el control automatizado del flujo, se realizan la Instalación de Válvulas y Bloque de Electroválvulas (Pasos 20 & 21). Se instalan las 5 Válvulas de Esfera de 1" con Actuador Neumático con un costo total de \$9,325.00 MXN y el Bloque de electroválvulas Neumáticas (\$4,930.00 MXN). El uso de válvulas de esfera asegura el diseño de paso completo para el Plastisol, minimizando las restricciones. El bloque centraliza el control de los actuadores, traduciendo la señal eléctrica de bajo voltaje proveniente del PLC a la señal neumática de alta presión necesaria para mover las válvulas de forma rápida y precisa. Esta integración es vital para la precisión en las tareas de dosificación de fluidos viscosos, donde la velocidad y la repetibilidad del cierre son parámetros críticos de calidad.

6.7.3 Elementos de Seguridad y Visualización

La fase de instrumentación y actuación se culmina con la Instalación de Elementos de Seguridad y Visualización (Paso 22). Se montan las 2 Botoneras de Paro de Emergencia Industrial (E-Stop) con un costo total de \$472.00 MXN. El cableado de estas botoneras debe conectarse directamente a los módulos de seguridad de la CPU S7-1200F para operar bajo el protocolo de seguridad funcional (SIL - Safety Integrity Level). El concepto de SIL es crucial, ya que define el nivel relativo de reducción de riesgo proporcionado por una función de seguridad. Al ser un PLC Failsafe, el sistema garantiza que cualquier falla en la línea de seguridad conduzca el proceso a un estado seguro. Adicionalmente, se instalan las 2 Torretas Indicadoras de Nivel (\$1,398.00 MXN) para una visualización local del estado del proceso y los Conectores Industriales de 4 Polos (\$3,120.00 MXN) para equipos auxiliares.

6.8 Ingeniería de Control y Puesta en Marcha Final

Esta fase representa la convergencia de todo el *hardware* en un sistema de control inteligente, robusto y seguro. Es la culminación del proyecto, integrando la lógica de proceso con la funcionalidad de seguridad, lo que justifica la asignación del jornal más alto cotizado (Ingeniería Senior).

6.8.1 Integración de Hardware y Programación de Interfaz

El proceso comienza con la Conexión Final del Sistema de Control (Paso 23). Se completa la conexión física de todas las entradas y salidas al PLC S7-1200F. Esto incluye las señales discretas y analógicas de los sensores de nivel, la comunicación de red industrial a los VFDs (típicamente a través de PROFINET o PROFIBUS), y las señales de control al bloque de electroválvulas. La verificación de la continuidad y el aislamiento de cada punto de E/S es un requisito de calidad en este paso.

Paralelamente, el ingeniero senior (6 Jornales a \$4,500.00 MXN, sumando \$27,000.00 MXN) se dedica al Desarrollo de Interfaz HMI (Paso 24). Esto incluye la creación y configuración del Panel Táctil HMI KTP700. El diseño de la interfaz se centra en pantallas gráficas intuitivas para la visualización del nivel, que ahora se basan en los sensores de nivel puntual capacitivo para las alarmas críticas. Además, se desarrollan interfaces de control de los agitadores (velocidad y dirección), comandos de apertura/cierre para las válvulas y, de suma importancia, el desarrollo de un sistema robusto de alarmas operacionales que guíe al operador a través de eventos críticos.

6.8.2 Lógica de Seguridad y Optimización Reológica

El paso de más alto valor es la Ingeniería de Control (Programación Failsafe) (Paso 25). La programación del PLC S7-1200F CPU 1215FC requiere 10 Jornales de Ingeniería Senior a \$4,500.00 MXN (\$45,000.00 MXN totales). La labor se divide en dos componentes. El primero es la Lógica Estándar, que incluye la secuencia de trasvase, el control de lazos de los VFDs y la gestión de flujo. El segundo, y más crítico, es la Lógica Failsafe (Seguridad). Esta es la programación certificada de la lógica de seguridad funcional (SIL), que incluye la

gestión del paro de emergencia (E-Stop) y el paro seguro de los agitadores y bombas en caso de una falla o un nivel de fluido peligroso (interlock). Esta lógica se programa utilizando módulos de *software* de seguridad que cumplen con los estándares internacionales IEC 61508 e IEC 61511, asegurando que el riesgo residual sea tolerable.

Posteriormente, se ejecuta la Integración de Lazo y Calibración de Instrumentación (Paso 26). El instrumentista (4 Jornales a \$4,000.00 MXN, sumando \$16,000.00 MXN) realiza la conexión y prueba final de los 4 sensores de nivel capacitivos. Esto incluye la calibración de las señales de salida y el ajuste preciso de los puntos de conmutación de los sensores capacitivos. Se realiza la Calibración Capacitiva Crítica (el "aprendizaje directo" o teach-in) para que los sensores Ecolab ignoren la capa de Plastisol que se adhiere a la sonda, garantizando que la conmutación de las alarmas de nivel crítico sea precisa y no se vea comprometida por la adherencia del fluido.

6.8.3 Ajuste Fino y Documentación

La optimización de los equipos de potencia se realiza en la Configuración y Ajuste Fino de VFDs y Actuadores Neumáticos (Paso 27). Se dedican 3 Jornales de instrumentación a \$4,000.00 MXN (\$12,000.00 MXN) para la configuración de los VFDs y los actuadores neumáticos. La configuración de los VFDs implica el ajuste de los tiempos de aceleración y desaceleración (rampas). Este ajuste fino es crítico para evitar el estrés mecánico severo del motor y agitador durante el arranque en el fluido viscoso, lo que se conoce como "arranque suave" (soft start). El ajuste óptimo de las rampas protege los activos, prolonga la vida útil de los rodamientos y las cajas reductoras, y mantiene la integridad de la mezcla de Plastisol al prevenir el cizallamiento excesivo e incontrolado durante la fase inicial. Finalmente, se ajustan las presiones y caudales del bloque de electroválvulas para garantizar la velocidad de actuación deseada de las válvulas para una dosificación precisa.

La última etapa del proyecto es la Documentación Final y Capacitación (Paso 28). Se finalizan los manuales operativos, los diagramas eléctricos y de tuberías (*Planos as-built*). Se realiza la capacitación del personal de operación y mantenimiento (5 Jornales a \$4,000.00 MXN, sumando \$20,000.00 MXN). Esta capacitación se enfoca en el uso eficaz del HMI, el diagnóstico de fallas del PLC Failsafe, la interpretación de alarmas, y los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo para los agitadores (centrado en la operación óptima del VFD) y el sistema de tuberías. Este paso asegura la transferencia de conocimiento y el Retorno de la Inversión (ROI) del proyecto.

7 RESULTADOS DEL PROYECTO: ANÁLISIS DE NORMATIVA, COTIZACION Y CONECCIONES ELECTRICAS.

7.1 NORMATIVA, CERTIFICACIONES Y ESTÁNDARES DE CALIDAD

Esta sección se constituye como el tratado fundamental de la integridad del proyecto, detallando el régimen regulatorio y técnico que asegura la seguridad funcional, la eficiencia operativa, la durabilidad de la infraestructura y la calidad consistente del Plastisol. La adhesión rigurosa a este compendio de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y códigos internacionales (ASME, IEC, ISO) establece un estándar de ingeniería de clase mundial y mitiga riesgos operativos y legales. Cada estándar se integra en el diseño y la ejecución, demostrando un enfoque holístico hacia la excelencia en la ingeniería de procesos.

7.2 Normativa Mexicana de Instalaciones Eléctricas, Mantenimiento y Eficiencia

7.2.1 La: Requisitos de Seguridad en Instalaciones Eléctricas

La NOM-001-SEDE-2012, que actúa como el Código Eléctrico Nacional, es el código de referencia para las instalaciones eléctricas, siendo el pilar fundamental que rige el diseño, la instalación y la operación de todos los componentes de potencia y control. Su correcta aplicación es imperativa para garantizar que el sistema esté diseñado con márgenes de seguridad amplios, previniendo fallas catastróficas, riesgos de electrocución, incendios y explosiones. El cumplimiento de esta norma se extiende desde la selección del material conductor hasta la arquitectura del Tablero Eléctrico, la instalación de la Canalización Conduit PG y el uso de los Motores con Variadores de Frecuencia (VFDs).

El Artículo 110-3 (Requisitos Generales de la Instalación) establece la premisa de que todo equipo debe ser seleccionado, instalado y utilizado de acuerdo con las especificaciones del fabricante, incluyendo las condiciones de placa de datos y los manuales de ingeniería. Esto implica que el Gabinete Metálico de Control (2000x1000x600 mm) debe ofrecer un grado de protección IP (Ingress Protection) adecuado para el ambiente industrial, típicamente IP54 o superior, y que su instalación se realice considerando el espacio de trabajo y el disipamiento térmico, especialmente crítico para los cuatro VFDs. La justificación técnica detrás de esta exigencia es que cualquier desviación de las especificaciones de diseño puede llevar a un sobrecalentamiento de los componentes electrónicos, reduciendo su vida útil o provocando fallas imprevistas. El cumplimiento del artículo 110-3 se verifica mediante inspecciones detalladas y la revisión de la documentación técnica y las certificaciones de los componentes.

El corazón de la aplicación de esta NOM en el proyecto reside en el Artículo 430 (Motores, Circuitos de Motores y Controladores). Este artículo es el marco normativo para el circuito de potencia que alimenta los cuatro motores trifásicos de 5 HP y sus respectivos VFDs. El artículo 430 dicta las reglas específicas para la protección contra sobrecarga, la protección contra cortocircuito y falla a tierra, y el dimensionamiento de los conductores. La correcta aplicación de este artículo es lo que determina la fiabilidad y la longevidad de los motores. Por ejemplo, el cálculo de la corriente a plena carga (FLA) para los motores trifásicos de CA, utilizando tablas como la 430-250, es la base para seleccionar: a) el calibre adecuado del Cable Armado 4 X 8 AWG; b) la configuración de los interruptores termomagnéticos (como el Interruptor Termomagnético 3P 80A); y c) los ajustes de protección de los Guardamotores y de la lógica de sobrecarga dentro del VFD. Para un motor de 5 HP operando a 460V, la FLA nominal dicta el tamaño del conductor y la protección. Si esta protección se ajusta incorrectamente, el motor puede sufrir daños por sobrecarga térmica o por fallas de fase. El VFD, además de su función de control de velocidad, asume la responsabilidad de la protección térmica del motor, haciendo que la coordinación de las protecciones sea un punto crucial de ingeniería eléctrica. La sección de Controladores de Motores obliga a que el VFD no solo module la velocidad, sino que también proporcione la protección necesaria contra sobrecarga, integrando la seguridad térmica dentro de la lógica de control.

En cuanto a la infraestructura física, el uso de Canalización Conduit Pared Gruesa (PG) y el Cable Armado también se rige por la NOM-001-SEDE-2012. La robustez de la Canalización Conduit PG (rosqueda) es un requisito de diseño para ambientes industriales severos. Además de la protección física, la canalización metálica rígida proporciona una trayectoria de retorno de tierra de baja impedancia, lo cual es fundamental para el drenaje seguro de las corrientes de falla. Adicionalmente, el blindaje provisto por el Conduit PG y el Cable Armado es esencial para mitigar las interferencias electromagnéticas (EMI) que son características de los circuitos de salida de los VFDs, asegurando que el "ruido" eléctrico no contamine las señales de control de bajo voltaje del PLC y los sensores.

Finalmente, aunque el proceso de Plastisol no clasifique necesariamente como un área de riesgo de explosión (Clase I, División 1 o 2), la consideración de los Artículos 500 y 501-10 (Clasificación de Áreas Peligrosas/Ambientes Industriales) es una práctica de ingeniería diligente. La elección de equipos robustos y la segregación de potencia (Tablero Eléctrico y VFDs) en un gabinete presurizado o clasificado para ambientes hostiles, proporciona un margen de seguridad inherente contra la acumulación de contaminantes o vapores que puedan surgir en el proceso. La aplicación estricta de la NOM-001-SEDE-2012 se traduce en un sistema que no solo opera, sino que está protegido contra el 99.9% de los fallos eléctricos comunes en entornos industriales.

7.2.2 NOM-029-STPS-2011: Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas

La NOM-029-STPS-2011 es una norma de Seguridad y Salud en el Trabajo que trasciende la simple instalación, enfocándose en el ciclo de vida operativo de los equipos y la protección del personal de mantenimiento. Establece las condiciones de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas.

Esta norma aplica directamente a los Motores, VFDs y el Tablero Eléctrico, exigiendo que las actividades de mantenimiento se planifiquen y ejecuten bajo condiciones controladas. El Artículo 7 y 15 establece la obligatoriedad de implementar y mantener programas de mantenimiento preventivo y de realizar la verificación de las protecciones contra sobrecargas. Para el sistema de Plastisol, esto implica: Mantenimiento Preventivo de VFDs: Inspecciones periódicas para la limpieza de los filtros del gabinete (para garantizar el disipamiento térmico, ya que el sobrecalentamiento es el principal enemigo de la electrónica de potencia) y la verificación del estado de los condensadores. Mantenimiento Predictivo de Motores: Verificación de las vibraciones y la temperatura de los rodamientos y la comprobación de la continuidad del aislamiento del motor. Al verificar las protecciones contra sobrecarga, se asegura que las configuraciones de los guardamotores y los trips térmicos del VFD estén correctamente ajustadas a la corriente a plena carga del motor (Art. 430-250 de la NOM-001-SEDE-2012), protegiendo el activo más costoso del sistema de agitación. La norma también refuerza el protocolo de Bloqueo/Etiquetado (LOTO), que es un requisito de esta NOM, exigiendo que se aplique el procedimiento para interrumpir el flujo de corriente eléctrica y verificar la ausencia de tensión eléctrica antes de realizar cualquier manipulación. Además, la norma señala que las herramientas y materiales utilizados en el mantenimiento eléctrico deben estar en óptimas condiciones, ser adecuados para el trabajo eléctrico (por ejemplo, aislados y dieléctricos) y mantenerse limpios y libres de defectos. La implementación rigurosa de esta NOM asegura la confiabilidad operacional al prevenir fallas prematuras del equipo y, simultáneamente, protege al personal de los riesgos eléctricos, cumpliendo con la obligación dual de la STPS.

7.2.3 NOM-016-ENER-2016: Eficiencia Energética para Motores

La NOM-016-ENER-2016 es una norma de eficiencia energética que valida la inversión estratégica en tecnología de control avanzado. Su aplicación se centra en el rendimiento de los Variadores de Frecuencia (VFDs) y los Motores de 5 HP. Esta norma se aplica para asegurar que el uso de energía eléctrica sea eficiente en el proceso industrial.

Los Artículos 4.1.1 y 5.2 justifican la tecnología de VFDs. Los VFDs son dispositivos de control de potencia que permiten ajustar la velocidad y el par de los motores de agitación. En el contexto del Plastisol, la necesidad de controlar la velocidad no es solo para el ahorro de energía, sino para la optimización reológica (evitar el cizallamiento excesivo que puede degradar el polímero). El marco normativo energético subraya que la inversión en VFDs es un mandato de eficiencia. Al evitar que los motores de 5 HP operen a velocidad nominal (100% de potencia) cuando el proceso solo requiere el 60% de la capacidad de agitación, se logran ahorros energéticos sustanciales, ya que el consumo de potencia de los agitadores está relacionado con el cubo de la velocidad (ley de afinidad). El cumplimiento de esta NOM implica que los motores de 5 HP seleccionados deben ser de alta eficiencia (Premium Efficiency, IE3 o superior) y que el sistema de control (VFD) se utilice para modular la demanda real. Esta optimización energética no solo cumple con la normativa, sino que también mejora la competitividad del proceso al reducir los costos operativos a largo plazo, lo que confirma un claro Retorno de Inversión (ROI) en la automatización con VFDs.

7.2.4 NOM-009-ENER-2014: Eficiencia Energética en Sistemas de Aislamiento Térmico

La NOM-009-ENER-2014 es crítica para la integridad del proceso de Plastisol, cuyo rendimiento depende directamente de la estabilidad térmica para mantener su viscosidad óptima. Esta norma establece la eficiencia energética para los Sistemas de Aislamientos Térmicos Industriales, aplicándose a intervalos de alta (hasta) y baja temperatura (hasta).

La norma aplica a la Instalación del Aislamiento de Elastómero y el Recubrimiento de Aluminio. A través de sus Artículos 4.1 y 4.6, la NOM-009-ENER-2014 exige que se cumpla con la máxima densidad de flujo térmico permitida. Esto significa que el diseño y el espesor del aislamiento elastomérico de celda cerrada deben ser suficientes para minimizar la transferencia de calor entre el fluido y el ambiente. La estabilidad de la viscosidad del Plastisol es una función directa de la temperatura. Si la tubería pierde calor en tramos largos (160 ML), la viscosidad puede aumentar dramáticamente, impidiendo la dosificación precisa y causando obstrucciones. El cumplimiento con esta NOM, a través de la instalación meticulosa del elastómero y la chaqueta de Aluminio Calibre 26 (que actúa como barrera de vapor y protección física), asegura la estabilidad reológica del Plastisol. La norma establece que el cálculo de la densidad de flujo térmico debe basarse en el método descrito en el apéndice normativo, tomando como base la norma internacional ISO 12241:2008. Este rigor matemático en el cálculo y la verificación por unidades acreditadas (Unidades de Verificación Acreditadas - UVAs) garantiza que el sistema de aislamiento no es una simple cobertura, sino un sistema de ingeniería diseñado para mantener la temperatura crítica del proceso.

7.3 Normativa de Seguridad y Salud en el Trabajo (STPS) y Ambiente

7.3.1 NOM-017-STPS-2008: Equipo de Protección Personal (EPP)

La NOM-017-STPS-2008 establece los requisitos mínimos para la selección, uso y manejo del Equipo de Protección Personal (EPP). Su cumplimiento es obligatorio para la seguridad del personal Operativo y de Mantenimiento que interactúa con el nuevo sistema.

El Artículo 5 y 7 obliga a proporcionar EPP específico y a capacitar a los operarios en su uso correcto. En un proyecto que involucra Plastisol, tuberías soldadas a 3.50 m y sistemas eléctricos energizados (VFDs), los riesgos incluyen: Riesgos Químicos/Térmicos: El manejo del Plastisol o sus residuos requiere Guantes contra sustancias químicas y agentes biológicos y protección ocular (anteojos, gafas de protección). El trabajo con tubería caliente (aunque aislada) o cerca de tanques agitadores requiere protección térmica. Riesgos Eléctricos: El personal de mantenimiento que interviene el Tablero Eléctrico o los VFDs debe utilizar Guantes dieléctricos y equipo de protección personal para riesgos eléctricos. La norma también exige el registro sobre la revisión, reposición, limpieza, mantenimiento y disposición final del equipo, tratándose de equipo de protección personal que se utilice para la protección contra sustancias químicas peligrosas.

7.3.2 NOM-018-STPS-2015: Sistema Armonizado para la Identificación de Riesgos Químicos

La NOM-018-STPS-2015 exige la implementación del Sistema Globalmente Armonizado (GHS) para la Identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas. Su objetivo es prevenir daños a los trabajadores y al personal de emergencia.

La norma aplica directamente a los Tanques (Holdings) y Tuberías de Proceso. El Artículo 6 y 9 exige etiquetar los tanques con pictogramas de riesgo químico e identificar las tuberías con códigos de color, leyendas y dirección de flujo. Para el manejo del Plastisol, la identificación debe incluir: El nombre de la sustancia química peligrosa o mezcla; La clasificación de sus peligros físicos y para la salud (por ejemplo, si contiene plastificantes tóxicos o carcinogénicos, según el Apéndice A del GHS). La correcta señalización de las Tuberías de Proceso (1 1/2" Cédula 40) con el código de color y la dirección de flujo es un requisito de seguridad que previene errores humanos críticos, como intentar conectar una línea de servicio a una tubería activa o mezclar involuntariamente fluidos incompatibles en los Holdings. La implementación de esta norma se coordina con el HMI, donde los operadores deben tener acceso a las Hojas de Datos de Seguridad (HDS) del Plastisol.

7.3.3 NOM-019-STPS-2011: Comisiones de Seguridad e Higiene

La NOM-019-STPS-2011 establece los requisitos para la constitución, integración, organización y funcionamiento de las Comisiones de Seguridad e Higiene. Este organismo bipartito (representantes del patrón y de los trabajadores) es fundamental para la gestión de riesgos en el proyecto.

El Artículo 4 establece la obligatoriedad de estas comisiones. Sus funciones son cruciales durante la ejecución y la Puesta en Marcha: Identificación de Riesgos: Inspeccionar la nueva infraestructura (tuberías en altura, conexiones eléctricas) para identificar agentes, condiciones peligrosas o inseguras y actos inseguros en el centro de trabajo. Prevención: Determinar las medidas para prevenir riesgos de trabajo, con base en el Reglamento y las normas aplicables. Supervisión: Dar seguimiento a la instauración de las medidas propuestas por la comisión para prevenir los riesgos de trabajo. La participación de la Comisión garantiza que el nuevo sistema de automatización y tuberías sea evaluado desde la perspectiva de la seguridad operativa antes de ser entregado al uso continuo, mitigando riesgos residuales inherentes a un cambio de ingeniería mayor.

7.3.4 NOM-022-STPS-2015: Electricidad Estática y Puesta a Tierra

La NOM-022-STPS-2015 es fundamental en un proceso que maneja fluidos no conductivos. La tubería y los tanques de Plastisol pueden generar y acumular electricidad estática. El Artículo 4.3 y 8.6 de esta norma exige la correcta Puesta a Tierra (Conexión a tierra) y la interconexión de la red de puesta a tierra de los motores, el Tablero Eléctrico y los tanques.

El objetivo es drenar a tierra las cargas estáticas acumuladas para prevenir descargas eléctricas y chispas de descarga estática en áreas donde pudiera haber vapores inflamables. Se exige que la resistencia a tierra de la red tenga un valor menor o igual a 25 ohms. La norma establece que la red de puesta a tierra de los sistemas de pararrayos deberá interconectarse con otras redes de puesta a tierra, tales como las de motores, subestaciones o sistema eléctrico en general. El sistema de puesta a tierra implementado en el Gabinete Metálico (Paso 13) y los motores agitadores es una medida activa de prevención de incendios y seguridad personal.

7.3.5 NOM-052-SEMARNAT-2005: Residuos Peligrosos

La NOM-052-SEMARNAT-2005 establece los criterios, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Esta norma es crucial para el manejo ambiental del Plastisol.

Aplica al Material Recuperado y Manejo de Residuos generado en la línea Recolector a Bomba. Los Anexos 1 y 3 definen los criterios de clasificación, incluyendo toxicidad (T), reactividad (R) y corrosividad (C) (características CRETIB). Los residuos de Plastisol o sus desechos de limpieza podrían clasificarse como peligrosos si exhiben características de toxicidad ambiental (Te) si los plastificantes o solventes utilizados exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) en el Lixiviado. El cumplimiento con esta NOM exige: La caracterización del residuo de Plastisol; El almacenamiento temporal seguro y etiquetado; y La disposición final a través de gestores autorizados. Esto asegura la Responsabilidad Ambiental del proyecto, previniendo la contaminación y el incumplimiento legal.

7.4 Estándares de Ingeniería y Calidad Internacional (IEC, ISO, ASME)

7.4.1 IEC 61131-3: Lenguajes de Programación Estandarizados

La IEC 61131-3 es la norma que estandariza los lenguajes de programación para los Controladores Lógicos Programables (PLC), siendo crucial para la Programación del PLC S7-1200F.

La Parte 3 exige que el software de control sea desarrollado utilizando lenguajes estandarizados (Diagrama de Escalera, Texto Estructurado, etc.). El cumplimiento de este estándar internacional (Paso 25) es un requisito de ingeniería que va más allá de la funcionalidad básica. Dando Portabilidad y Mantenibilidad: Un código estandarizado facilita la comprensión por parte de cualquier ingeniero de automatización calificado, reduciendo el tiempo de diagnóstico y mantenimiento. Claridad y Audibilidad: La estructura estandarizada asegura que la lógica del proceso y la lógica de seguridad sean claras y puedan ser auditadas por terceros para la certificación SIL (Safety Integrity Level), la cual está intrínsecamente relacionada con la tasa de fallas peligrosas de un sistema.

7.4.2 ISO 9001:2015: Gestión de Calidad y Trazabilidad

Aunque es una norma de sistemas de gestión, los principios de ISO 9001:2015 se traducen en requisitos de trazabilidad y control en el sistema de automatización, enfocándose en la Interfaz HMI (KTP700) y la Lógica de Recetas.

Las Secciones 8.5.1 y 8.5.2 (Control de la Producción y Provisión de Servicios) exigen que los procesos estén planificados y controlados. En el HMI KTP700 (Paso 24), esto se implementa mediante la creación de un sistema de gestión de recetas que garantiza la consistencia del Plastisol. El sistema debe implementar registros por lote (trazabilidad) que registren las variables clave del proceso (velocidad de agitación, tiempos de trasvase) a lo largo del tiempo. Esto permite la trazabilidad completa del Plastisol producido, lo que es esencial para el control de calidad y la resolución de no conformidades.

7.4.3 ASME B31.3: Tuberías de Proceso

El código ASME B31.3: Tuberías de Proceso es el código de diseño de tuberías más respetado a nivel internacional. Rige la Instalación de la Tubería Cédula 40 y las Pruebas Hidrostáticas, siendo obligatorio para la integridad mecánica de los 160 ML de tubería.

Integridad Mecánica y Diseño: El código establece los criterios para seleccionar la tubería de Acero al Carbón Cédula 40, y rige el diseño de los soportes, cuya separación debe seguir las directrices para evitar deflexión y tensión excesiva.

Pruebas de Integridad: La Sección M345 (Pruebas de Integridad) define el protocolo de las Pruebas Hidrostáticas (Paso 8), exigiendo que la presión de prueba sea típicamente 1.5 veces la Presión Máxima de Trabajo (MAWP), con ajustes basados en la temperatura. El fluido de prueba es típicamente agua, a menos que existan riesgos de congelamiento o efectos adversos.

Documentación: La Sección M346 exige la documentación completa de los registros de las pruebas hidrostáticas, los certificados de material y los procedimientos de soldadura calificados (WPS/PQR).

7.4.4 UNE-EN 60309-1-2: Conexiones Eléctricas Industriales (Seguridad)

La norma UNE-EN 60309-1-2 es un estándar clave para la seguridad electromecánica de los equipos auxiliares. Aplica directamente al Conector Industrial De 32 A 4 Polos.

Esta norma garantiza la Seguridad por Normalización en las conexiones eléctricas industriales. El principio es la incompatibilidad física absoluta de clavijas y tomas si no coinciden en voltaje, amperaje o configuración de polos, previniendo un error humano crítico que podría resultar en una sobrecarga catastrófica. La implementación de estos conectores (Paso 14 y 22) garantiza que la Habilitación Electromecánica sea a prueba de errores de conexión, protegiendo los circuitos de control y los equipos de mantenimiento.

8 Cotización Desglosada: Suministros (Materiales y Equipos)

Conforme a la solicitud se realizó las cotizaciones pertinentes respecto al suministro de material, mano de obra y se implementa el 10% de contingencia para imprevistos, en las cotizaciones se mostrarán los elementos a suministrar y los servicios que se emplearán.

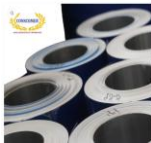
Esta sección cubre la adquisición de toda la infraestructura de tuberías (basada en 160 ML), los componentes de instrumentación, la arquitectura de control y los motores para los agitadores.

8.1 Cotización Desglosada: suministro de material

En la (Tabla 7) se muestra un listado de los materiales que serán suministrados para la instalación de la automatización propuesta, donde se observan únicamente materiales mecánicos y aislamientos.

Tabla 7 Suministro de Componentes Mecánicos y Aislamiento

Elemento o Servicio	Acción Que Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Suministro: Motores Agitador Trifásico 5 HP	Suministro	4 Pzas	 \$10,099.00	\$50,495.00
Suministro: Tubería Acero al Carbón 1 1/2" Céd. 40	Suministro (160 ML)	160 ML	 \$157.20	\$12,576.00
Suministro: Válvulas de Esfera Worcester 411-T 1 1/2" Bronce	Suministro	8 Pzas	 \$5,700.00	\$45,600.00
Suministro: Codos 90° Acero Carbón 1 1/2" Céd. 40	Suministro	40 Pzas	 \$74.82	\$2,992.80
Suministro: Coples, Tees y Conexiones Rosadas 1 1/2"	Suministro	20 Pzas	\$180.00	\$3,600.00

Elemento o Servicio	Acción Que Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Suministro: Abrazaderas U-Bolt y Soportes/Antivibración 1 1/2"	Suministro para 160 ML	80 Pzas	\$67.25 	\$5,380.00
Suministro: Conexiones Rápidas H-M 1 1/2" (Tambo Recolector)	Suministro (incluye manguera flexible)	2 kits	\$2,500.00	\$5,000.00
Suministro: Aislamiento de Elastómero para Tubería 1 1/2"	Suministro (Densidad Industrial)	160 ML	\$49.76 AISLAMIENTO TÉRMICO K-FLEX 6RX048048 1/2 X 1/2 SKU: 181201-00008364 \$49.76	\$4,229.60
Suministro: Recubrimiento Lámina Aluminio Cal. 26	Suministro	160 ML	\$11,000.00 	\$22,000.00
Suministro: Tornillería, Bandas y Sellos (Aislamiento)	Suministro de Materiales de Fijación	1 lote	\$3,500.00	\$3,500.00
SUBTOTAL MATERIALES MECÁNICOS Y AISLAMIENTO				\$155,373.40

Para la (Tabla 8) se muestra el suministro de materiales relacionados al control, potencia e instrumentación.

Tabla 8 Suministro de Equipos de Control, Potencia e Instrumentación

Elemento o Servicio	Acción Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Suministro: PLC Siemens 6ES7215-1AF40-	Suministro	1 Pza	\$8,086.11	\$8,086.11

Elemento o Servicio	Acción Realizar	Por	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
0XB0 S7-1200F CPU 1215FC					
Suministro: Panel Táctil HMI KTP700 Siemens 6AV2123 2GB03 0AX0	Suministro		1 Pza	 \$8,412.36	\$8,412.36
Suministro: Inversor de Frecuencia (VFD) 5 HP 460V	Suministro (Para 4 Agitadores)		4 Pzas	 \$2,837.00	\$11,348.00
Suministro: Guardamotores y Módulos de Relay SIMENS	Suministro (Integración VFD y Seguridad)		2 Kits	 \$1,963.33	\$3,926.66
Suministro: Interruptor Termomagnético 3P 80A	Suministro (Acometida Fuerza)		2 Pzas	 \$1,152.36	\$2,304.72
Suministro: Gabinete Metálico 2000x1000x600 c/Platina	Suministro (Tablero principal)		1 Pza	 \$27,447.40	\$27,447.40
Suministro: Sensor Capacitivo ECOLAB CA30CAN25PA	Suministro (Detección de nivel puntual)		4 Pzas	 \$193.40	\$773.60
Suministro: Válvula Esfera 1" c/ Actuador Neumático (Control)	Suministro (5 unidades requeridas)	(5	5 Pzas	\$1,865.00	\$9,325.00

Elemento o Servicio	Acción Realizar	Por	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
					
Suministro: Bloque de Electrovalvulas Neumáticas	Suministro (Control de los 5 actuadores)		1 Pza	\$4,930.00	\$4,930.00
Suministro: Torreta Indicadora de Nivel	Suministro (Indicación visual a 2 holdings)		2 Pzas	\$699.00 	\$1,398.00
Suministro: Interruptor Paro Emergencia Industrial (Holding/Tina)	Suministro		2 Pzas	\$236.00 	\$472.00
Suministro: Conector Industrial De 32 A 4 Polos Para Exterior	Suministro (Equipos auxiliares/portátiles)		4 Pzas	\$780.00 	\$3,120.00
Suministro: Contactos Auxiliares 127V y Transformador	Suministro e Instalación		1 Pza	\$3,500.00	\$3,500.00
Suministro: Tubería Conduit P. G. 1"	Suministro (Estimado 200 ML)		200 ML	\$340.11 	\$22,447.26
Suministro: Cable Armado 4 X 8 AWG	Suministro (Potencia Agitadores, 100 ML)		100 ML	\$245.94 	\$24,594.00

Elemento o Servicio	Acción Realizar Por	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Suministro: Cable de Control Cal. 18-20	Suministro (Sensores/Válvulas, 500 ML)	500 ML	\$25.00	\$12,500.00
Suministro: Conexiones Conduit, Soportes y Misceláneos	Suministro de Material	1 Lote	\$8,000.00	\$8,000.00
SUBTOTAL EQUIPOS Y ELÉCTRICO				\$152,585.11

Costo Total de Suministros (T7 + T8): \$ 307,960.51MXN

8.1.1 Cotización Desglosada: Servicios

Esta sección (Tabla 9) cubre el costo de la mano de obra directa (MOD) necesaria para la instalación mecánica, eléctrica, el aislamiento, la ingeniería y la puesta en marcha.

Tabla 9 Mano de Obra y Servicios de Ingeniería

Elemento o Servicio	Acción Realizar Por	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Servicio: Instalación de Tubería Acero 1 1/2" Céd. 40	Mano de Obra (160 ML 8 ML/Jornal)	20 jornales	\$3,200.00	\$64,000.00
Servicio: Habilitación de Soportes y Trazado	Mano de Obra Auxiliar	8 jornales	\$1,800.00	\$14,400.00
Servicio: Pruebas Hidrostáticas y Ajustes (Mecánica)	Mano de Obra especializada (ASME B31.3)	4 jornales	\$3,200.00	\$12,800.00
Servicio: Pruebas de Sistema (Plastisol y Flujo)	Mano de Obra especializada	4 jornales	\$3,200.00	\$12,800.00
Servicio: Colocación de Aislante y Recubrimiento	Mano de Obra (160 ML 13.3 ML/Jornal)	12 jornales	\$2,800.00	\$33,600.00

Elemento o Servicio	Acción Por Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Servicio: Montaje y de Habilitación Gabinete	Mano de Obra (Instalación de componentes internos)	5 jornales	\$3,200.00	\$16,000.00
Servicio: Canalización y Soportes (200 ML Conduit PG)	Mano de Obra (Instalación, roscado y montaje)	15 jornales	\$3,200.00	\$48,000.00
Servicio: Cableado de Fuerza (4*8 AWG)	Mano de Obra (Tendido, Conexión a Interruptores y VFDs)	6 jornales	\$3,200.00	\$19,200.00
Servicio: Cableado de Control e Instrumentación	Mano de Obra (Tendido, Conexión y Marcaje de 500 ML)	12 jornales	\$3,200.00	\$38,400.00
Servicio: Ingeniería de Control (PLC Failsafe)	Programación PLC S7-1200F (Lógica de control y seguridad)	10 jornales	\$4,500.00	\$45,000.00
Servicio: Desarrollo de Interfaz HMI	Diseño y configuración de KTP700 (Gráficos, Alarmas)	6 jornales	\$4,500.00	\$27,000.00
Servicio: Integración de Lazo y Calibración	Conexión y prueba de 8 Sensores de Nivel	4 jornales	\$4,000.00	\$16,000.00
Servicio: Puesta en Marcha (VFDs y Actuadores)	Configuración de VFDs y ajuste de actuadores neumáticos	3 jornales	\$4,000.00	\$12,000.00

Elemento o Servicio	Acción Por Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Servicio: Documentación Final y Capacitación	Elaboración de manuales y capacitación	5 jornales	\$4,000.00	\$20,000.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA DIRECTA		110 jornales		\$377,200.00

8.1.2 Resumen Consolidado y Ajuste al Presupuesto Máximo

El resumen como se muestra en la (Tabla 10) consolida los costos directos de materiales y mano de obra, e incluye una contingencia del 10%.

Tabla 10 Resumen de costos

Fase del Proyecto	Costo de Suministros (MXN)	Costo de Mano de Obra (MXN)	Subtotal Directo (MXN)
I. Suministros (Mecánica, Motores, Instrumentación, Eléctrica)	\$496,606.31	\$0.00	\$307,958.51
II. Servicios (Instalación, Aislamiento, Ingeniería, Puesta en Marcha)	\$0.00	\$377,200.00	\$377,200.00
TOTAL, DIRECTO ESTIMADO	\$496,606.31	\$377,200.00	\$685,158.51
Contingencia (10% sobre el Total Directo)	\$49,660.63	\$37,720.00	\$68,515.85
COSTO TOTAL DEL PROYECTO ESTIMADO	\$546,266.94	\$414,920.00	\$753,674.36

8.2 FUNDAMENTO TÉCNICO Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

La implementación del sistema de transferencia y agitación del Plastisol se fundamenta en una arquitectura de control robusta, diseñada para operar bajo el rigor de la ingeniería de proceso. La lógica de escalera (Ladder Logic), analizada en la simulación de Cadesimu (Imágenes 1 y 2), constituye el software central ejecutado en la CPU Siemens S7-1200F CPU

1215FC. Esta elección de un controlador lógico programable (logic solver) de seguridad (Failsafe) subraya la prioridad absoluta de la Seguridad Funcional (SIL) en el diseño.

La naturaleza no newtoniana y de alta viscosidad del Plastisol impone tres imperativos de diseño en la lógica de control. Primero, el Control Reológico, donde la velocidad de agitación y transferencia debe ser variable y precisa, justificando el uso de los Variadores de Frecuencia (VFDs) para evitar el cizallamiento excesivo que podría degradar el polímero. Segundo, la Integridad del Flujo, que exige que el sistema de dosificación (basado en las 5 Válvulas de Esfera con Actuador Neumático) sea rápido y con una repetibilidad exacta. Tercero, la Seguridad Funcional (Failsafe), asegurando que la respuesta ante fallas y paros de emergencia sea inmediata y confiable, interconectando la lógica de control con los dispositivos de campo. Los diagramas de control presentados representan la solución programada para gestionar las rutinas de los 4 Motores Agitadores Trifásicos de 5 HP y las válvulas de dosificación, utilizando un mapeo de entradas I0.0 a I0.5 (para los sensores de nivel y temperatura S1-S6) y salidas Q0.0 a Q0.3 (para los motores).

8.2.1 ANÁLISIS DE LA LÓGICA DE CONTROL MAESTRO Y DE NIVEL (IMÁGENES 1 y 2)

La lógica de control principal se estructura alrededor de la habilitación del sistema y el control de nivel de los tanques de almacenamiento (*Holdings*).

Lógica de Habilitación Maestra (Rama 0)

La Rama 0 (Rung 1, Figura 12) implementa la Lógica de Habilitación Maestra (M0), el interruptor principal que define el estado operativo del sistema. La bobina de memoria M0 se energiza cuando se pulsa el botón START (NO) y se auto-retiene (latch) a través de su propio contacto M0 (NO), garantizando que el sistema permanezca activo sin necesidad de mantener el botón presionado. La seguridad del sistema se concentra en el contacto STOP (NC), conectado en serie con la bobina M0. Este contacto, típicamente enlazado al circuito del Paro de Emergencia (E-Stop) o al interruptor principal, garantiza que si se abre (por activación manual o por pérdida de energía), la bobina M0 se desenergice, bloqueando instantáneamente toda la lógica operativa del proceso (*falla segura*). La activación de M0 es la condición que energiza el circuito para que cualquier otro motor o secuencia pueda arrancar.

Control de Nivel con Sensores Capacitivos (Ramales 1 y 3)

La lógica de llenado de los tanques (Tanques 1 y 2) se basa en un control biestable (Set/Reset) con histéresis, utilizando los Sensores Capacitivos ECOLAB (S1 a S4) (Figura 12). Esta configuración de control es crítica para el Plastisol, cuya adherencia a las paredes del tanque debe ser compensada.

- Llenado del Tanque 1 (Bobina ML1): La secuencia de llenado se activa (SET de ML1 — Motor Low 1, referente al llenado) cuando el sistema maestro está

activo (M0 NO) y el Sensor Capacitivo S1 (I0.0, Nivel Bajo) se cierra. S1 detecta que el nivel del Plastisol ha caído por debajo del mínimo seguro. El uso de la tecnología teach-in del sensor ECOLAB es crucial, ya que permite al sensor ignorar la capa de Plastisol que se adhiere a la sonda, asegurando que la detección de nivel sea precisa y no un "falso positivo" (Paso 26).

- Interlock Antiderrames: La detención del llenado (RESET de ML1) es forzada por el Sensor Capacitivo S2 (I0.1, Nivel Alto). Cuando S2 se cierra, indica que se ha alcanzado el nivel máximo, reseteando ML1 y cerrando la válvula de llenado (Q0.0). Esta es la Interlock Antiderrames de seguridad funcional.
- Llenado del Tanque 2 (Bobina ML2): La lógica se replica de forma idéntica en el Ramal 3, donde S3 (I0.2, Nivel Bajo) activa el SET de ML2 y S4 (I0.3, Nivel Alto) activa el RESET.

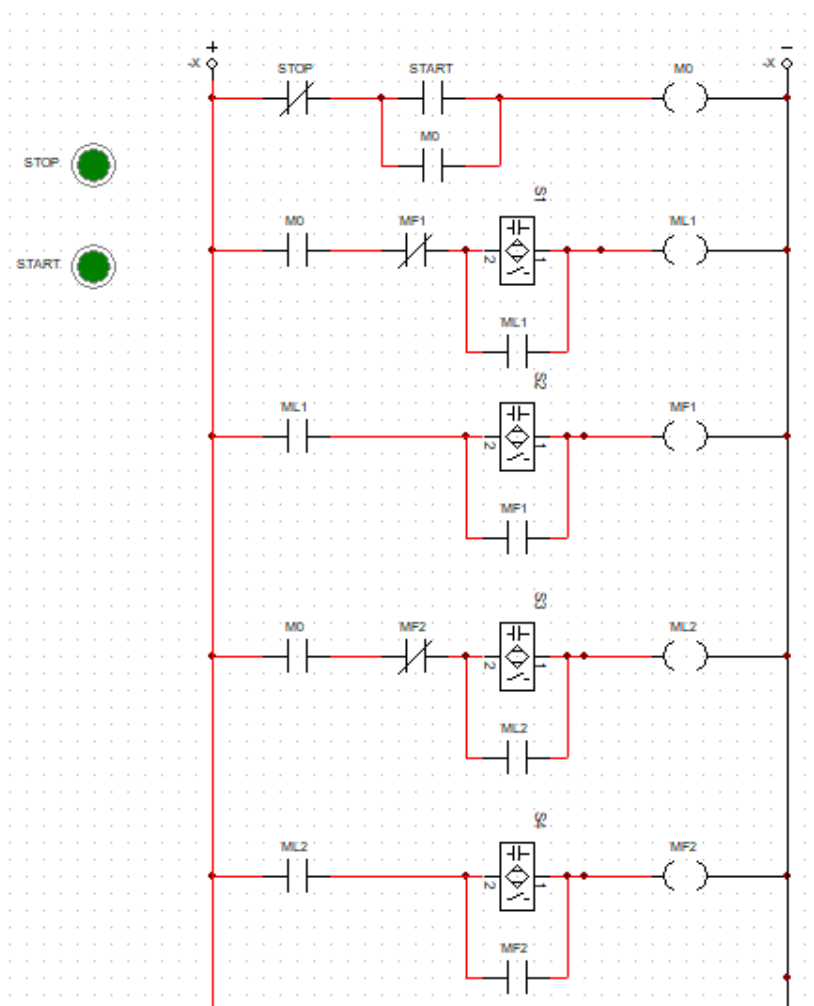


Figura 12 Diagrama Ladder (sensores capacitivos)

Lógica de Interlocks Cruzados y Agitación Reversible (Ramales 1, 3, y 5)

Además de la lógica de nivel, la (Figura 12) implementa interlocks de seguridad electromecánica para los motores.

- Interlock de Dirección (ML1/MF1): Aunque la lógica de la (Figura 12) utiliza ML1 y MF1 para un mismo motor, esta estructura es esencial para la protección del VFD. ML1 (Avance) solo puede activarse si el contacto (NC) está cerrado, y viceversa. Este interlock cruzado es la primera línea de defensa para prevenir un cortocircuito catastrófico entre fases al intentar cambiar la dirección del motor (Agitador o Bomba) sin detenerlo previamente. Esto protege los VFDs (\$11,348.00 MXN) y cumple con el Artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012 sobre protección de circuitos de motores.
- Interlock de Proceso (Llenado vs. Agitación): Un principio fundamental en la lógica de nivel es la exclusividad: el llenado no puede ocurrir si el agitador está encendido, y viceversa. Los contactos (NC) y (NC) en las ramas de llenado (Rungs 1 y 3) aseguran esta condición. Si la bobina MF1 (Agitación/Retroceso) está activa, el contacto se abre, bloqueando la señal de llenado (ML1), lo que previene turbulencia y derrames durante la transferencia de Plastisol.

8.2.2 CONTROL DE DOSIFICACIÓN, AGITACIÓN TEMPORIZADA Y VFD

La (Figura 13) implementa la lógica de Control de Procesos por Lotes para los ciclos de mezcla, garantizando el control reológico del Plastisol.

Lógica de Agitación Controlada por Temperatura y Tiempo (Ramales 5 y 6)

- Activación por Condición de Proceso: El ciclo de agitación (Rung 5) se inicia cuando el Sensor de Temperatura S5 (I0.4) se cierra. Esta señal de temperatura actúa como el trigger que indica que el Plastisol en el Tanque 1 está listo para el ciclo de mezcla (Paso 26).
- Control de Duración (MS1 y T1): La activación de S5 establece (SET) la bobina MS1 (*Secuencia de Dosis/Agitación activa*), que se auto-retiene. MS1, a su vez, activa el Temporizador Retentivo T1 (Tipo TON). T1 se programa con el Tiempo Requerido de Revoltura del Plastisol, un parámetro crítico de calidad.
- Finalización del Ciclo: Una vez que el tiempo preestablecido en T1 finaliza, el temporizador energiza la bobina de memoria M1 (*Relé de Fin de Dosis*). M1 fuerza el RESET de MS1, deteniendo el agitador y reiniciando el temporizador.

- Doble Secuencia: La lógica es duplicada para el Tanque 2 (MS2/T) activada por S6 (I0.5), permitiendo la Gestión de Recetas (ISO 9001:2015) con tiempos de mezcla variables (T1 vs T2) para diferentes requerimientos reológicos del Plastisol. La existencia de interlocks de terminación de ciclo (M1 y M2) garantiza la Repetibilidad de la dosis/mezcla.

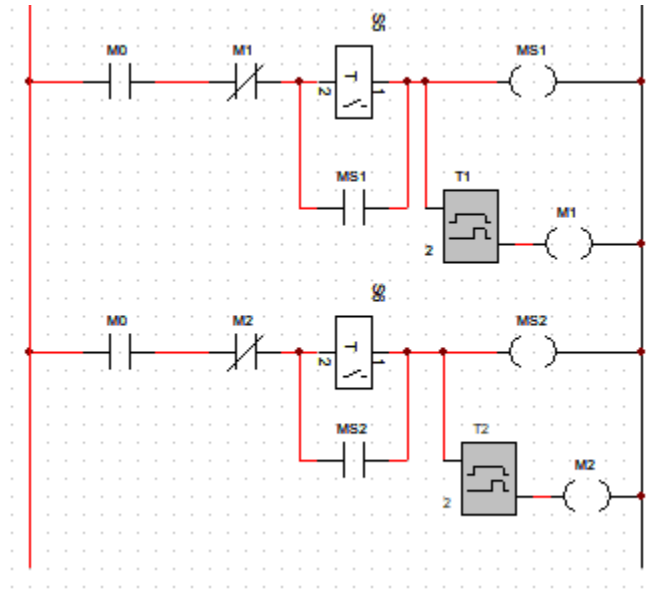


Figura 13 Diagrama ladder (sensores de temperatura)

8.2.3 INTEGRACIÓN DE HARDWARE, POTENCIA Y CONTROL FINO

La lógica de escalera se valida a través de su interconexión física con los componentes de campo, lo que se detalla en las Imágenes en los diagramas.

Mapeo de Salidas Lógicas a Actuadores (Figura 13)

La (Figura 14) detalla cómo las bobinas internas (ML1, MF1, MS1, MS2) se mapean a las Salidas Digitales Físicas del PLC S7-1200F (Q0.0 a Q0.3). La Imagen 4 muestra que estas salidas del PLC se conectan directamente a las bobinas de los Relés Auxiliares (K1 a K4). Estos relés cumplen la función de Aislamiento Galvánico y actúan como puente de habilitación electromecánica. La lógica de dosificación se traduce en las salidas Q0.4 y Q0.5 (Rung 5 y 6, Figura 13), que se conectan al Bloque de Electroválvulas Neumáticas. La señal Q0.x (24VDC) energiza el solenoide, que a su vez dirige el aire comprimido al Actuador Neumático de la Válvula de Esfera.

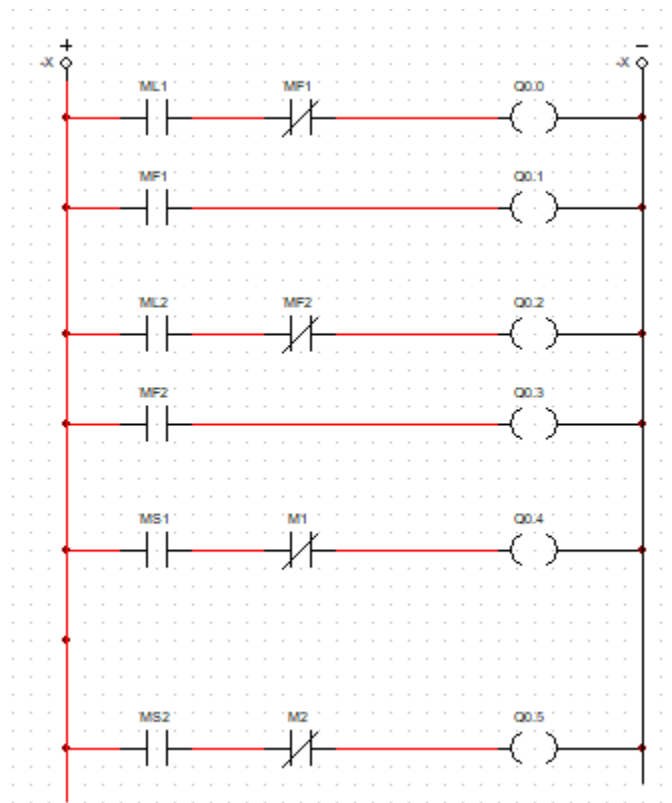


Figura 14 Diagrama ladder de entradas y salidas para el PLC

Esto garantiza que el PLC (Figura 15) maneje señales de bajo voltaje, mientras que el cierre o apertura rápido de la válvula (esencial para la dosificación precisa de fluidos viscosos) es ejecutado por la fuerza de alta presión del aire.

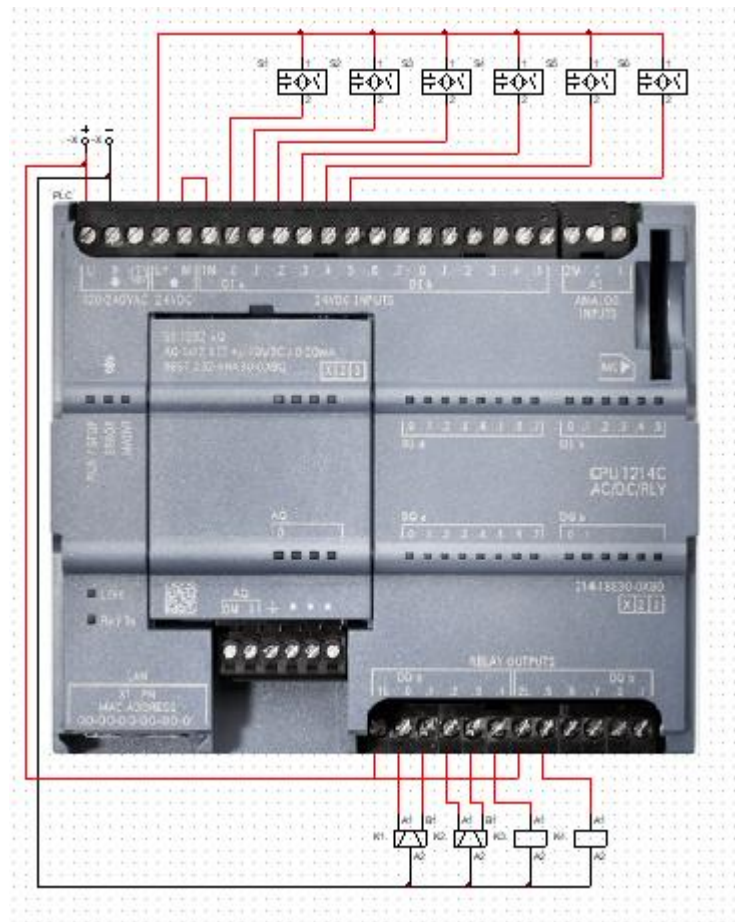


Figura 15 Diagrama de conexiones al PLC

Circuito de Potencia y Arranque Suave del VFD (Figura 15 y 16)

La (Figura 16) muestra los cuatro circuitos de potencia trifásica para los Motores Agitadores de 5 HP, cada uno protegido y controlado por un VFD (ML1, ML2, MS1, MS2).

- **Habilitación de Marcha:** El PLC controla el inicio y paro del VFD a través de los relés K1 a K4. El contacto auxiliar Kx (NO) es cableado al terminal I1 (*Entrada Digital de Arranque/Paro*) del VFD (Figura 16). Esto significa que el VFD solo recibe el comando RUN cuando la lógica del PLC ha verificado todas las condiciones de seguridad (M0 activo, interlocks de nivel, ciclo temporizado finalizado).

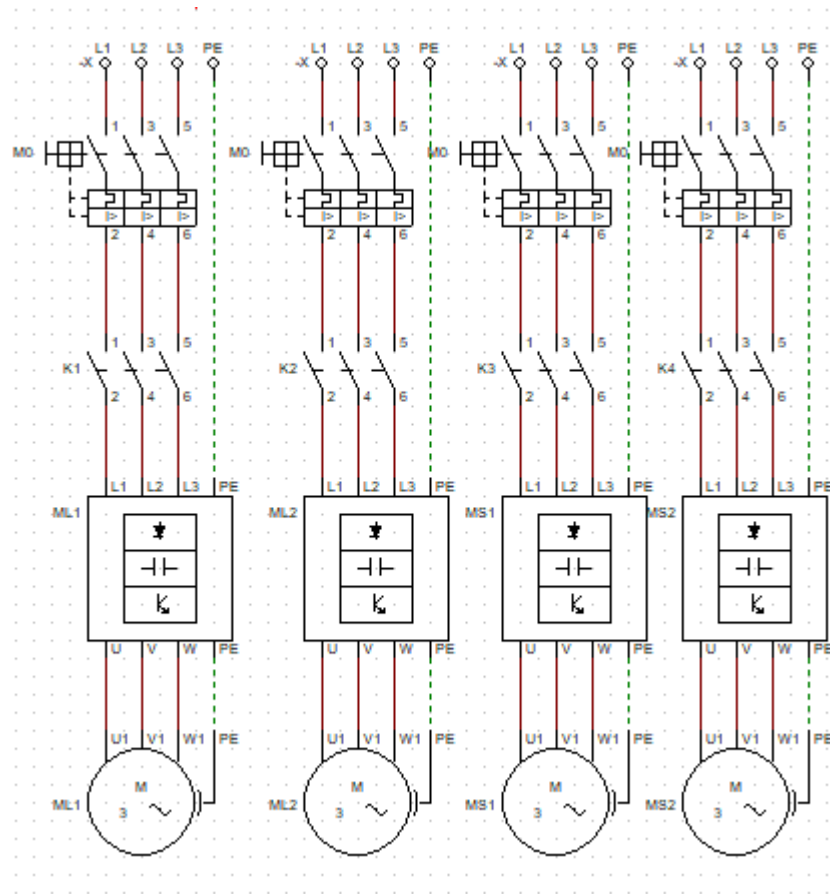


Figura 16 Diagrama de motores trifasicos

- Control Fino de Velocidad Reológico: La Imagen 6 muestra que la Referencia de Velocidad del VFD no es digital, sino Analógica (AI), controlada por un Potenciómetro Analógico. Esta característica es fundamental para el Control Reológico. El potenciómetro permite al ingeniero de instrumentación realizar el Ajuste Fino (*Tuning*) de la frecuencia de salida (Hz) del VFD, garantizando que el *shear rate* aplicado al Plastisol sea el óptimo. El PLC gestiona la secuencia, mientras que el potenciómetro establece el límite de velocidad para el proceso (Paso 27), maximizando la Eficiencia Energética (NOM-016-ENER-2016) y la calidad del producto.

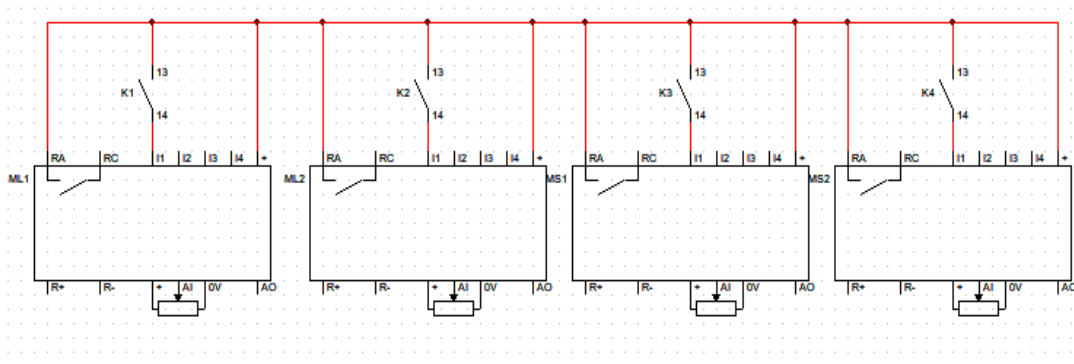


Figura 17 Conexiones a los variadores de frecuencia

- **Lógica de Retroalimentación (*Feedback*):** El contacto auxiliar Kx (13-14 NO) del contactor de potencia se utiliza para enviar una señal de Feedback al PLC. Cuando el PLC ordena RUN (Q0.x), espera recibir este feedback. Si no lo recibe, la lógica del PLC puede diagnosticar una falla (e.g., contactor atascado, falla de fusible), iniciando una alarma en el HMI, lo que es esencial para el Diagnóstico de Fallas (NOM-029-STPS-2011).

8.2.4 JUSTIFICACIÓN INTEGRADA DEL DISEÑO Y CUMPLIMIENTO REOLÓGICO

La lógica de escalera y el *hardware* seleccionado validan el enfoque de ingeniería para el manejo de Plastisol, un fluido sensible.

- **Seguridad Funcional y NOMs:** La interlock de dirección cruzada (ML1 bloqueado por MF1) y la segmentación del control entre el PLC y los contactores cumplen con el Artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012 para la protección de motores. La separación del circuito de control (M0/Kx) de la potencia es esencial para la aplicación segura de los procedimientos de Bloqueo/Etiquetado (LOTO), en cumplimiento con la NOM-029-STPS-2011. La propia CPU S7-1200F garantiza que la lógica de seguridad (incluyendo el RESET por nivel alto de los sensores capacitivos) cumpla con los estándares SIL, asegurando la confiabilidad ante condiciones de riesgo.
- **Precisión de la Dosis y el Flujo:** La Lógica Secuencial (MS1/T3) garantiza que la dosificación de Plastisol, al ser medida por tiempo, sea precisa. Las Válvulas de Esfera minimizan la restricción y el cizallamiento durante el trasvase.
- **Arranque Suave y Control Reológico:** El VFD, habilitado por el PLC, es el componente tecnológico más importante para el control de calidad. Implementa la rampa de aceleración para aplicar par gradualmente al Motor Agitador de 5 HP sin

picos de corriente o golpes mecánicos, evitando el cizallamiento excesivo que podría comprometer la viscosidad del Plastisol.

La simulación de Cadesimu muestra la naturaleza del circuito propuesto para la implementación que se quiere dar de esta automatización de manera clara y que puede ser interpretada fácilmente.

9 Proceso de instalación del tablero eléctrico

La instalación del Tablero Eléctrico Principal es la fase de convergencia de la ingeniería de control, la potencia electromecánica y la seguridad funcional. Este proceso no es una simple tarea de montaje, sino una implementación meticulosa de la arquitectura diseñada en el *software* (Lógica de Escalera, Imágenes 11,12 y 13) dentro de un recinto de protección física (Gabinete Metálico), cumpliendo con los estándares de robustez industrial y la NOM-001-SEDE-2012 (Instalaciones Eléctricas).

El Tablero Principal, o Gabinete Metálico de 2000x1000x600 mm c/Platina (adquirido por \$27,447.40 MXN), debe albergar la CPU Siemens S7-1200F CPU 1215FC, los 4 Inversores de Frecuencia (VFDs) de 5 HP, y todos los dispositivos de protección y conexión. El proceso de instalación se divide en tres fases críticas: Montaje Mecánico y Protección (Paso 13), Habilitación de Potencia y VFDs (Paso 14), y Canalización de Control e Instrumentación (Paso 19).

9.1 MONTAJE MECÁNICO Y ESTRUCTURAL DEL GABINETE (PASO 13)

La primera etapa, ejecutada por el equipo eléctrico (5 Jornales a \$3,200.00 MXN, sumando \$16,000.00 MXN), consiste en la preparación física del gabinete para alojar la compleja arquitectura de control.

9.1.1 Preparación del Gabinete y Disipación Térmica

El Gabinete Metálico se instala en una ubicación de fácil acceso para mantenimiento, pero segregado de las zonas de mayor riesgo químico. El dimensionamiento (2000x1000x600 mm) se justifica por la necesidad de alojar la CPU Failsafe, el Panel Táctil HMI KTP700 y, críticamente, los 4 VFDs con espacio suficiente para el disipamiento térmico. Los VFDs son dispositivos de electrónica de potencia que generan calor significativo, y la NOM-001-SEDE-2012 exige que los gabinetes permitan la ventilación o disipación adecuada (Artículo 110-3), evitando el sobrecalentamiento que reduciría la vida útil del equipo e induciría fallas.

9.1.2 Organización Interna y Segregación de Circuitos

Dentro del gabinete, la instalación se organiza en dos zonas estrictamente separadas para mitigar la Interferencia Electromagnética (EMI), un riesgo inherente cuando los VFDs conmutan a alta frecuencia:

- **Zona de Potencia (Superior/Lateral):** Destinada al Interruptor Termomagnético 3P 80A (\$2,304.72 MXN), los Guardamotores y los 4 VFDs. Esta zona maneja el Cable Armado 4 X 8 AWG (líneas de alta corriente).
- **Zona de Control (Inferior/Central):** Montaje de la CPU S7-1200F y los Relés Auxiliares (K1-K4) en rieles DIN. Esta zona maneja el Cable de Control Calibre 18-20 (baja tensión y señales sensibles).

9.1.3 Implementación de la Red de Puesta a Tierra

El montaje del gabinete incluye la conexión a la Red de Puesta a Tierra. Este paso es crítico para la seguridad electromecánica y cumple con la NOM-022-STPS-2015 (Electricidad Estática), ya que el Plastisol, al ser un fluido no conductivo, puede generar cargas estáticas.

- **Requisito de Puesta a Tierra:** La norma exige que la resistencia a tierra de la red sea menor o igual a 25 ohms (S_R5). La platina metálica del gabinete, las estructuras de montaje (rieles DIN) y las carcasas de los VFDs deben estar interconectadas al bus de tierra principal del gabinete.
- **Interconexión (NOM-022-STPS-2015):** La red de puesta a tierra del gabinete debe interconectarse con otras redes, incluidas las de los motores agitadores de 5 HP. Esto asegura que cualquier corriente de falla o carga estática acumulada en el sistema (motores, tubería, gabinete) se drene a tierra de forma segura.

9.2 ARQUITECTURA DE POTENCIA Y MONTAJE DE VFDs (PASO 14)

Esta fase se enfoca en el suministro y la conexión de la alimentación trifásica a los VFDs que controlan los 4 Motores Agitadores Trifásicos de 5 HP.

9.2.1 Instalación del Tablero de Distribución y Protección

La acometida de fuerza trifásica ingresa al gabinete y se conecta al Interruptor Termomagnético 3P 80A (\$2,304.72 MXN). Este interruptor actúa como el dispositivo de desconexión y protección contra sobrecorriente principal del sistema.

- **Protección por Circuito:** La potencia se distribuye a los Guardamotores y las protecciones térmicas (Módulos de Relay SIMENS, costo total \$3,926.66 MXN), que se ajustan a la Corriente a Plena Carga (FLA) de los motores de 5 HP. La NOM-001-SEDE-2012 (Art. 430-250) exige que esta protección sea adecuada a la FLA del motor (aproximadamente 7.6 A a 460 V para un motor de 5 HP, S_R14).

9.2.2 Montaje y Cableado de los 4 Variadores de Frecuencia (VFDs)

Los 4 VFDs (\$11,348.00 MXN total) se montan rígidamente en la Zona de Potencia. Su conexión sigue un protocolo estricto para mitigar el ruido electromagnético que puede degradar las señales de control (S_R38).

- **Cableado de Entrada (Input, L1/L2/L3):** La energía trifásica se alimenta a la entrada de los VFDs desde el Interruptor Termomagnético/Guardamotores.
- **Cableado de Salida (Output, U/V/W):** La salida de los VFDs (frecuencia y voltaje variable) se cablea hacia el campo (motores) utilizando Cable Armado 4 X 8 AWG (\$24,594.00 MXN material; \$19,200.00 MXN MOD).
 - **Blindaje EMI:** El Cable Armado (MC o BX), junto con la Tubería Conduit Pared Gruesa (PG) (\$22,447.26 MXN material; \$48,000.00 MXN MOD de instalación), es fundamental para el Blindaje EMI. La Canalización Conduit PG se utiliza porque proporciona una excelente protección física y una trayectoria de tierra continua, que es crucial para drenar el ruido de conmutación generado por los transistores IGBT del VFD.

9.2.3 Conexiones Auxiliares de Fuerza (Conectores Industriales)

El Cableado Auxiliar incluye la instalación de los Contactos Auxiliares de 127V con su transformador (\$3,500.00 MXN) y las 4 Clavijas Macho-Hembra de 4 Polos (Conector Industrial De 32 A 4 Polos) (\$3,120.00 MXN). Estos conectores se montan en el exterior del gabinete y en la periferia de la planta para la conexión segura de equipos auxiliares (como herramientas de mantenimiento o sistemas de iluminación portátil).

- **Seguridad por Normalización:** El cumplimiento con la norma UNE-EN 60309-1-2 garantiza que estos conectores sean incompatibles con clavijas de diferentes voltajes o amperajes, previniendo errores de conexión y sobrecargas eléctricas, lo que es un requisito de seguridad clave (Paso 14).

9.4 ARQUITECTURA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN (PASOS 17, 19, 23)

Esta fase, ejecutada por el equipo de instrumentación (12 Jornales a \$3,200.00 MXN, sumando \$38,400.00 MXN), conecta la inteligencia de la lógica de escalera (Imágenes 11 y 12) con el campo.

9.4.1 Montaje del PLC y Cableado de Entradas (DI)

La CPU Siemens S7-1200F CPU 1215FC se monta en el riel DIN de la Zona de Control. Su instalación requiere la conexión de la alimentación de 24 VDC y la correcta terminación de los cables de señal para las entradas digitales (DI) (Imagen 4).

- **Entradas de Nivel (I0.0 a I0.3):** Estas entradas reciben las señales de los 4 Sensores Capacitivos ECOLAB (S1, S2, S3, S4). El cableado de 500 ML de Cable de Control Calibre 18-20 (\$12,500.00 MXN) debe entrar al gabinete a través de la Canalización Conduit PG, manteniendo una separación estricta (o cruzando a 90°) de las líneas de potencia de los VFDs para evitar la inducción de ruido EMI. La integridad de estas señales es fundamental para la Interlock Antiderrames (S2/S4 RESET de MLx) y el Control Failsafe.
- **Entradas de Proceso/Temperatura (I0.4 a I0.5):** Las señales de los Sensores de Temperatura (S5, S6), que activan los ciclos de agitación temporizados (MS1/MS2), se conectan a I0.4 e I0.5. Si las señales son analógicas, deben conectarse a los terminales de entrada analógica de la CPU (o un módulo de expansión), garantizando que el cable de control sea blindado (Shielded Twisted Pair) para mantener la precisión del valor reológico.
- **Entradas de Seguridad (I/O Failsafe):** La entrada del STOP maestro (Rama 0) y las 2 Botoneras de Paro de Emergencia se conectan a los módulos de seguridad de la CPU S7-1200F (o a las entradas *failsafe* integradas). El cableado de seguridad sigue un protocolo de redundancia y debe ser terminada en la CPU para que la lógica SIL pueda monitorear la integridad de la línea y responder a un nivel de PFD.

9.4.2 Mapeo de Salidas y Actuación (DQ a Kx)

Las salidas de relé (DQ) del PLC ejecutan los comandos de la lógica (MLx, MFx, MSx) hacia los actuadores (Imagen 14).

- **Relés Auxiliares K1 a K4 (Control de VFDs):** Las salidas Q0.0 a Q0.3 del PLC se conectan a las bobinas de los relés intermedios K1, K2, K3, y K4. Estos relés son el punto de Aislamiento Galvánico (Paso 23).
 - **Q0.0 / Q0.2:** Controlan los circuitos de llenado (ML1 / ML2), que activan la bomba o válvula de transferencia (asociadas a K1 y K2).
 - **Q0.1 / Q0.3:** Controlan los circuitos de agitación (MF1 / MF2), que activan los VFDs de los *shakers* (asociados a K3 y K4).
- **Control de Actuación Neumática (Q0.4/Q0.5):** Las salidas restantes del PLC (Q0.4 y Q0.5) se conectan directamente a las bobinas de las solenoides en el Bloque de Electrovalvulas Neumáticas (\$4,930.00 MXN). Esta conexión es de bajo voltaje (24VDC), pero la solenoide traduce la señal eléctrica a la fuerza neumática que mueve las 5 Válvulas de Esfera con Actuador Neumático (Paso 20 & 21), garantizando un cierre rápido para la precisión de la dosificación.

9.4.3 Control Fino de Velocidad y Retroalimentación

La instalación del tablero finaliza con la conexión de los lazos de control de los VFDs, que son la clave de la Optimización Reológica.

- **Habilitación de Marcha VFD (Terminal I1):** Los contactos NO de los relés K1 a K4 se cablean a la entrada digital I1 (RUN Command) de los 4 VFDs (ML1, ML2,

MS1, MS2). Este es el Interlock Secuencial Final: el motor solo recibe la señal de marcha si la lógica del PLC ha dado la orden Q0.x.

- **Referencia de Velocidad (Terminal AI):** El Potenciómetro Analógico (que representa el setpoint de velocidad) se instala en el tablero o en la puerta del HMI KTP700 y se cablea a la entrada analógica AI (Analog Input) del VFD. Esta señal (típicamente 0-10V o 4-20mA) define la velocidad del motor y permite al operador realizar el Ajuste Fino (Tuning) de la velocidad del agitador para el Plastisol.
- **Lógica de Retroalimentación (Feedback):** Los contactos auxiliares (13-14 NO) de los contactores de potencia (K1-K4) se cablean de vuelta a las entradas digitales del PLC (DI). Esta Retroalimentación de Estado permite al PLC confirmar que, una vez emitida la orden Q0.x, el contactor se cerró y la energía llegó al VFD, lo que es esencial para el Diagnóstico de Fallas (NOM-029-STPS-2011).

9.5 VERIFICACIÓN POST-INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA (PASOS 26, 27)

La instalación física del tablero es seguida por la fase de Integración de Lazo y Calibración (Paso 26) y la Puesta en Marcha (Paso 27), con un costo total de \$28,000.00 MXN en MOD especializada.

- **Calibración Capacitiva Crítica:** El instrumentista verifica la conexión de los 4 Sensores Capacitivos y ejecuta el protocolo de "aprendizaje directo" (teach-in). Esta es una fase de software crítica para la seguridad, ya que ajusta el sensor para que discrimine la película residual de Plastisol adherida al tanque, asegurando que la interlock Failsafe sea precisa y confiable (Paso 26).
- **Ajuste Fino de VFDs:** El ingeniero de instrumentación configura los parámetros del VFD (tiempos de rampa de aceleración y desaceleración) utilizando el potenciómetro analógico como referencia de velocidad máxima. Este Ajuste Fino garantiza que el Arranque Suave proteja el Motor Agitador de 5 HP del estrés mecánico severo durante el arranque en el fluido viscoso, optimizando la Eficiencia Energética (NOM-016-ENER-2016) y la durabilidad del sistema.

10 conclusiones

La implementación del sistema de automatización para el manejo del Plastisol representa una exponencial mejora, superando de manera significativa el proceso manual y artesanal que se describe, que es lo que se busca en la industria. El proyecto demostró que la integración adecuada de la ingeniería mecánica, eléctrica y de control puede transformar un proceso crítico en una operación confiable, segura y repetible.

Desde la perspectiva de seguridad funcional, la arquitectura de control failsafe eliminó la dependencia de la intervención humana en escenarios de alto riesgo. La lógica programada en el PLC Siemens S7-1200F Failsafe, en conjunto con sensores capacitivos de nivel alto con tecnología de calibración directa, permitió implementar un interlock automático antiderrames altamente confiable. Esta solución garantiza que el sistema responda únicamente al nivel real del fluido, evitando falsos disparos y reduciendo de forma efectiva el riesgo de sobrellenado. Asimismo, el diseño del tablero eléctrico y la canalización, ejecutados conforme a la NOM-001-SEDE-2012, junto con la integración del protocolo de Bloqueo y Etiquetado (LOTO) de la NOM-029-STPS-2011, fortalecieron la protección del personal durante las labores de operación y mantenimiento.

La integración de variadores de frecuencia permitió regular la velocidad de los motores agitadores de 5 HP, logrando una agitación controlada que mantiene la homogeneidad del Plastisol sin inducir calor excesivo. El uso de rampas de aceleración y arranque suave redujo el desgaste mecánico y protegió la inversión en equipos. De igual forma, la automatización del trasvase mediante válvulas neumáticas aseguró una dosificación repetible y confiable, mientras que la interfaz HMI facilitó la trazabilidad y el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos por la norma ISO 9001:2015.

A nivel estratégico, el proyecto representa un avance tangible hacia la Industria 4.0, al sustituir un proceso manual de alto riesgo por un sistema automatizado, trazable y basado en datos. La inversión total de \$753,674.36 MXN se justifica no solo por la mejora en la calidad del producto y la reducción de riesgos operativos, sino también por la disminución de costos operativos a largo plazo, derivados de la reducción de desperdicios, el mantenimiento correctivo y las fallas de equipo. El uso de un PLC Failsafe, así como de canalización robusta con cable armado, evidenció un compromiso con el rigor normativo y la confiabilidad operativa.

Finalmente, la ejecución estructurada del proyecto, desarrollada en 28 etapas, principalmente para que el cliente tenga un entendimiento general y claro del trabajo a realizar que abarcaron desde el diseño e instalación hasta las pruebas, programación y capacitación del personal, validó la capacidad de la Ingeniería Mecatrónica para integrar de forma efectiva sistemas mecánicos, eléctricos y de control en una solución integral. Y conforme al personal del cliente, la capacidad de tener un mejor equipo y capacitación de este tiene como meta la sostenibilidad de la inversión y la continuidad de las mejoras en seguridad, productividad y calidad. En conjunto, el proyecto logró transformar el manejo del Plastisol en un proceso automatizado, eficiente y seguro.

11 Competencias desarrolladas

- Consolida un protocolo de investigación aplicada para el desarrollo de proyectos de automatización industrial, orientado a la obtención y presentación de resultados técnicos.
- Aplica la investigación documental para la elaboración de informe, mediante el análisis de normas, códigos de ingeniería y documentación especializada.
- Elabora propuestas de solución para cuestiones del sector industrial, relacionadas con la automatización y control de procesos.
- Analiza, calcula y selecciona materiales y componentes mecánicos considerando criterios de seguridad en sistemas industriales.
- Analiza, simula e implementa circuitos eléctricos industriales de corriente directa y alterna, aplicados a sistemas de potencia y control.
- Aplica los principios de análisis de circuitos para la solución de problemas eléctricos en entornos industriales.
- Aplicación lenguajes de programación de controladores lógicos programables (PLC) para la automatización y supervisión de procesos industriales.
- Diseña e implementa lógica de control secuencial y de seguridad funcional en sistemas automatizados.
- Aplica métodos de arranque y control de velocidad de motores eléctricos mediante variadores de frecuencia en procesos industriales.
- Selecciona, sensores, actuadores e instrumentos de control para la automatización de procesos industriales.
- Aplica metodologías de evaluación técnica y económica para la justificación de proyectos de inversión en automatización industrial.

Referencias

- Alberto, M. P. (22 de Febrero de 2023). *studocu.com*. Obtenido de studocu.com:
<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/historia-de-los-polimeros/practica-4-obtencion-del-plastisol/76137506>
- aliexpress.com*. (2025). Obtenido de aliexpress.com:
<https://es.aliexpress.com/item/1005001495973144.html?gatewayAdapt=glo2esp>
- amazon.com.mx*. (2025). Obtenido de amazon.com.mx:
https://www.amazon.com.mx/CNweiken-5-5KW-frecuencia-7-5CV-Convertidor/dp/B0D5D36W59?source=ps-sl-shoppingads-lpcontext&ref_=fp_lfs&smid=A2HWA383DROEF8&th=1
- amazon.com.mx*. (2025). Obtenido de amazon.com.mx:
https://www.amazon.com.mx/Baomain-Interruptor-bot%C3%B3n-emergencia-color/dp/B00NTT91Y0/ref=asc_df_B00NTT91Y0?mcid=cba782ba5b5939bd8395268f8dbeaed9&tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=709861761522&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=9942167904646743425&hvpone=&hvp
- articulo.mercadolibre.com.mx*. (2025). Obtenido de articulo.mercadolibre.com.mx:
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2056503445-valvula-de-bola-inox-de-1-12-con-actuador-simple-efecto-_JM#polycard_client=search-nordic&search_layout=grid&position=1&type=item&tracking_id=43f0acea-1945-4824-bcd9-1cb0835e05d9&wid=MLM2056503445&sid=se
- atriainnovation.com*. (2025). Obtenido de atriainnovation.com:
<https://atriainnovation.com/blog/7-beneficios-de-la-automatizacion-industrial/#:~:text=Mejora%20en%20producci%C3%B3n>
- beniteztp.com*. (17 de Enero de 2024). Obtenido de beniteztp.com:
<https://beniteztp.com/mx/fundamentos-del-plastisol-su-composicion-sus-propiedades-y-aplicaciones/>
- Cadena, E. (10 de Octubre de 2020). *Simulación de variador de frecuencia en CAdE SIMU Parte 1*. Obtenido de youtube.com:
<https://www.youtube.com/watch?v=uCZ2M5gOCeg>
- Cadena, E. (10 de Octubre de 2020). *Simulación de Variador de Frecuencia en CAdE SIMU Parte 2*. Obtenido de youtube.com:
<https://www.youtube.com/watch?v=TQNvOQEdX8Q>

Cadena, E. (10 de Octubre de 2020). *Simulación de Variador de Frecuencia en CADe SIMU Parte 3*. Obtenido de youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=YWCZfWEpYxQ>

cuevas, P. (16 de Mayo de 2020). *Simulación en CadeSimu de un sistema básico electroneumatico con un PLC*. Obtenido de youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=CGE4_QgY2M4

dimeint.com. (2025). Obtenido de dimeint.com: https://dimeint.com/products/rymco-tubo-conduit-pg-1-3-mts-c-cople?variant=50141278863607&country=MX¤cy=MXN&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&srsltid=AfmBOoprbg4S7uICAcaKjujWaL1Gz4ldWACq6tYMby

dimeint.com. (2025). Obtenido de dimeint.com: https://dimeint.com/products/urlac4x8-mto?variant=35898761150618&country=MX¤cy=MXN&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&srsltid=AfmBOOpDAoNxU4zFm0h41LC1Jlqkl6xMDZmb40l6DEXH3vMdMxsmCM2_mZc

eibabo.com. (2025). Obtenido de eibabo.com: https://www.eibabo.com/es/pepperl-fuchs/sensor-ultrasonico-detector-de-proximidad-ultrasonico-200...-4000mm-ub4000-30gm-e5-v15-eb16304484?country=MX¤cy=MXN&utm_source=Portals&utm_medium=CPC&utm_campaign=eibabo-COM_GoogleShopping_MX&gad_source=4&gad_

ELECTROTECNIA. (29 de Marzo de 2017). *PLC S7-1200 SIEMENS EN CADE SIMU simulación, programacion y funcionamiento*. Obtenido de youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=IASCPYWZAT8>

ENERGIA, S. D. (8 de Agosto de 2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos*. Obtenido de platiica.economia.gob.mx: https://platiica.economia.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/009ener2014.pdf

ENERGIA, S. D. (15 de Noviembre de 2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2016, Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos*,. Obtenido de gob.mx: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181656/NOM_016_ENER_2016.pdf

Faletti, P. (20 de Octubre de 2025). *PC SIMU CLASE 26: LLENADO TANQUE DE AGUA*. Obtenido de youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=dLH_HcLfZBY

Federación, D. O. (s.f.).

Federación, D. O. (02 de Diciembre de 2004). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEDG-2004, Instalaciones de aprovechamiento de Gas L.P. Diseño y construcción*. Obtenido de [dof.gob.mx: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717183&fecha=02/12/2004#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717183&fecha=02/12/2004#gsc.tab=0)

Federación, D. O. (15 de Diciembre de 2005). *NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Obtenido de [dof.gob.mx: https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm](https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm)

Federación, D. O. (13 de Abril de 2011). *NORMA Oficial Mexicana NOM-019-STPS-2011, Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene*. Obtenido de [dof.gob.mx: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5185903&fecha=13/04/2011#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5185903&fecha=13/04/2011#gsc.tab=0)

Federación, D. O. (29 de Diciembre de 2011). *NORMA Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2011*. Obtenido de [gob.mx: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680135/NOM-029-STPS-2011.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680135/NOM-029-STPS-2011.pdf)

Federación, D. O. (01 de Abril de 2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad*. Obtenido de [dof.gob.mx: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5435581&fecha=01/04/2016#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5435581&fecha=01/04/2016#gsc.tab=0)

grupocoresa.com. (2025). Obtenido de [grupocoresa.com: https://www.grupocoresa.com/armaflex-1-2-x-1-2-4638?srsId=AfmBOoqnLkaPThL-dX_haXOxk0jSCyX0JwCAbcLWoXxGxGWusR53gquwmB0](https://www.grupocoresa.com/armaflex-1-2-x-1-2-4638?srsId=AfmBOoqnLkaPThL-dX_haXOxk0jSCyX0JwCAbcLWoXxGxGWusR53gquwmB0)

Introducción al estándar IEC 61131-3. (s.f.). Obtenido de [instrumentacionycontrol.net: https://instrumentacionycontrol.net/wp-content/uploads/2017/11/IyCnet_Intro_estandar_IEC_61131-3.pdf](https://instrumentacionycontrol.net/wp-content/uploads/2017/11/IyCnet_Intro_estandar_IEC_61131-3.pdf)

Mariano. (Miercoles de Noviembre de 2011). *tecnologiadelosplasticos.blogspot.com*. Obtenido de [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com: https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/plastisol.html](https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/plastisol.html)

mercadolibre.com.mx. (2025). Obtenido de [mercadolibre.com.mx: https://www.mercadolibre.com.mx/motor-weg-trifasico-5-hp-3550-rpm-alta-220440v-arm184tw/up/MLMU721528431?matt_tool=28238160&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&pdp_filters=item_id:MLM729157113](https://www.mercadolibre.com.mx/motor-weg-trifasico-5-hp-3550-rpm-alta-220440v-arm184tw/up/MLMU721528431?matt_tool=28238160&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&pdp_filters=item_id:MLM729157113)

- mercadolibre.com.mx*. (2025). Obtenido de *mercadolibre.com.mx*:
https://www.mercadolibre.com.mx/conector-industrial-de-32-a-4-polos-para-exterior-kit-mh/up/MLMU943742595?pdp_filters=item_id%3AAML2142799754&utm_medium=organic&utm_source=google_shopping
- NORMA INTERNACIONAL Traducción oficial ISO 9001*. (2015). Obtenido de repositorio.buap.mx:
https://repositorio.buap.mx/rcontraloria/public/inf_public/2019/0/NOM_ISO_9001-2015.pdf
- Oficial, D. (9 de Octubre de 2015). *NORMA Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015*. Obtenido de *gob.mx*:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680180/NOM-018-STPS-2015_09oct15.pdf
- PINTO, M. A. (03 de Agosto de 2016). *ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PLASTISOL PARA*. Obtenido de repository.uamerica.edu.co:
<https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/7cbcc7ee-04b9-4bb6-99cb-3dde3bdd3ac9/content>
- plastisol-inks.com*. (s.f.). *plastisol-inks.com*. Obtenido de *plastisol-inks.com*:
<https://plastisol-inks.com/es/formulacion-de-tinta-de-plastisol-de-pvc/>
- Quesada, J. C. (1996). *Estudio reológico y morfológico de los procesos de gelificación y fisión de plastisoles comerciales de PVC*. Obtenido de file:///C:/Users/ianf6/Downloads/Garcia-Quesada-Juan-Carlos.pdf
- SENER. (19 de Noviembre de 2019). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION)*. Obtenido de *gob.mx*:
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>
- SOCIAL, S. D. (9 de Diciembre de 2008). *NORMA Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los*. Obtenido de *stps.gob.mx*:
<https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-017.pdf>
- somewang.com*. (11 de Febrero de 2024). Obtenido de *somewang.com*:
<https://somewang.com/es/blog/what-is-a-plastisol-understanding-this-versatile-material/>
- Terán, M. (10 de Noviembre de 2022). *Simulación Control Automático tratamiento de agua residual con CadeSimu y PC Simu*. Obtenido de Youtube.com:
<https://www.youtube.com/watch?v=ibvijYkOhKc>

tienda.risoul.com.mx. (2025). Obtenido de *tienda.risoul.com.mx*:
<https://tienda.risoul.com.mx/gabinete-acero-al-carbon-iec-autosoportado-nema-12-ip55-color-gris-de-2000-x-1000-x-600-mm>

toolferreterias.com. (2025). Obtenido de *toolferreterias.com*:
<https://www.toolferreterias.com/products/tubo-de-acero-al-carbon-sin-costura-de-1-2-cedula-de-2-77-mm>

Tuberías de proceso Código ASME para tuberías a presión, B31 . (31 de Marzo de 2011). Obtenido de *files.asme.org*:
<https://files.asme.org/Catalog/Codes/PrintBook/33021.pdf>

us.rs-online.com. (2025). Obtenido de *us.rs-online.com*: <https://us.rs-online.com/product/carlo-gavazzi-inc-/ca30can25pa/70620571/>

ventalanamineral.com. (2025). Obtenido de *ventalanamineral.com*:
<https://ventalanamineral.com/products/lamina-de-aluminio-cal-26>

walmart.com.mx. (2025). Obtenido de *walmart.com.mx*:
<https://www.walmart.com.mx/ip/uxcell-4-paquete-de-abrazaderas-u-bolt-para-muffler-para-diametro-de-38mm-1-1-2-abrazadera-de-tubo-de-escape-en-forma-de-u-abrazaderas-tipo-silla-u-para-conexion-de-tubos/00061966856894?selectedSellerId=07095177E2CF4A769181AC>

wiautomation.com. (2025). Obtenido de *wiautomation.com*:
https://mx.wiautomation.com/siemens/hmi-pc-industriales/simatic-hmi/6AV21232GB030AX0?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=MX_pmax_full&gad_source=1&gad_campaignid=17347445687&gbraid=0AAAC2XDKBIEAM8ypeT8EhAzgWcQhLxD&gclid=Cj0KCQiA6NTJBhDEARIsAB7



ASUNTO: **CARTA DE NO INCONVENIENCIA**

DRA. YESICA IMELDA SAAVEDRA BENÍTEZ
DIRECTORA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
PRESENTE

Se hace constar que el estudiante **Ian Fernández Torres**, con número de control **21370647**, de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Apizaco, quien realizó su Residencia Profesional en nuestra empresa, en el área de Gestión de Proyectos, desarrollando el proyecto titulado "Automatización del control de llenado y monitoreo de niveles en tanques de almacenamiento", no cuenta con información que resulte perjudicial para la empresa, de acuerdo con la documentación revisada y el desempeño observado. La información generada durante el desarrollo de la residencia se considera de carácter académico y ha sido tratada con el debido cuidado, sin que se tenga conocimiento de un uso inadecuado o con fines distintos a los correspondientes.

La presente se expide para los fines académicos y administrativos que al interesado convengan.

Atentamente

Xaloztoc, Tlax a 18 de diciembre del 2025

Lic. Gil Cesar Sánchez Jiménez
Director General y comercial
Proyectos y Servicios Industriales MIH S. de R.L. de C.V.

