



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

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

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRESENTA:

PÉREZ MORA NALLELYN

ASESOR:

DR. JOSÉ MANUEL CERVANTES VÁZQUEZ

APIZACO, TLAX; ABRIL 2026



Tzompantepec, Tlaxcala, **06/febrero/2025**

Oficio No. MM-148/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUÍN 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):	NALLELYN PÉREZ MORA
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	21370698
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®

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



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLOGICO NACIONAL
DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA

DR. JOSÉ MANUEL CERVANTES VÁZQUEZ
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2026
año de
Margarita
Maza





Tzompantepec, Tlaxcala, **17/Marzo/2026**

NALLELYN PÉREZ MORA
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 21370698.
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



ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026
año de
Margarita
Maza



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico de Apizaco por brindar la formación académica necesaria y las herramientas teóricas que permitieron la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecatrónica, la orientación del doctor José Manuel Cervantes Vázquez por su asesoría técnica y observaciones, las cuales fueron fundamentales para la correcta estructuración del proyecto y cumplimiento de los objetivos planteados.

Asimismo, agradezco al director general Lic. Gil Cesar Sánchez Jiménez de la empresa Proyectos y Servicios Industriales MIH S. de R.L de C.V en donde me brindaron la oportunidad de realizar la residencia profesional, para desarrollar el proyecto de automatización.

De igual manera, agradezco a dios, a mis padres Antonia Mora Valdéz y Pedro Pérez Sánchez quienes son un pilar fundamental en mi vida y en formación como persona su presencia ha sido clave en todo momento, brindándome su apoyo incondicional, esfuerzo constante, sacrificio, acompañamiento y motivación para superarme día a día y hacer posible esta etapa tan importante en mi vida. Así como también agradezco a mis hermanas por el apoyo que me brindaron durante este tiempo para salir adelante. Este logro no me pertenece únicamente a mí, sino también a ustedes.

Con todo mi cariño y sincero agradecimiento, dedico este trabajo a ustedes.

INDICE

1 INTRODUCCION

1.1 Descripción de la empresa	12
1.2 Planteamiento.....	12

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.....	12
2.2 Objetivos específicos	12
2.3 Delimitación.....	13

3. JUSTIFICACIÓN

4. MARCO TEÓRICO

4.1 La Automatización como estrategia operacional	13
4.1.1 Fundamentos Conceptuales y Propósito Central	14
4.1.2 De la Mecanización a la Producción en Masa (Industria 1.0 y 2.0)	14
4.1.3 La Era de la Digitalización (Industria 3.0).....	15
4.1.4 La Conectividad Cognitiva (Industria 4.0)	15
4.2 Clasificación Operacional de los Sistemas de Automatización Industrial	16
4.2.1 Sistemas de Automatización Fija (Fixed Automation)	16
4.2.2 Sistemas de Automatización Programable (Programmable Automation).....	16
4.2.3 Sistemas de Automatización Flexible e Integrada (Flexible/Integrated).....	17
4.3 Arquitectura Tecnológica y Jerarquía de Control.....	18
4.3.1 Nivel de Campo (Nivel 0): Sensores y Actuadores	18
4.3.2 Nivel de Control (Nivel 1): Controladores Lógicos Programables (PLC) ...	18
4.3.3 Nivel de Supervisión (Nivel 2): HMI y SCADA.....	18

4.3.4	Integración	de	Sistemas
.....			19
4.4	Beneficios Principales de la Automatización Industrial		19
4.4.1	Aumento de la Productividad		20
4.4.2	Mayor Precisión y Calidad del Producto		20
4.4.3	Reducción de Costos Operativos		20
4.4.4	Mayor Seguridad Industrial		20
4.4.5	Monitoreo y Control en Tiempo Real		21
4.4.6	Flexibilidad y Adaptabilidad		21
4.4.7	Trazabilidad y Registro de Datos		21
4.5	Proceso de Fabricación del Plastisol		21
4.5.1	Proceso de Fabricación por Lotes		23
4.5.2	Formulación, Pesaje y Dosificación		23
4.5.3	Dispersión, Homogeneización y Desaireación		23
4.5.4	Control de Calidad y Filtrado Intermedio		23
4.5.5	Almacenamiento en Tanques		24
4.5.6	Diseño y Materiales de Construcción del Tanque		24
4.5.7	Gestión Reológica mediante Agitación		24
4.5.8	Control de Temperatura y Variables Ambientales		24
4.5.9	Procedimientos de Seguridad No Automatizados		25
4.5.10	Aplicación y Curado Térmico		25
4.5.11	Enfriamiento y Control de Calidad Final		25
5.	COMPONENTES PRINCIPALES DE LA AUTOMATIZACIÓN		28
5.1	Tubería de Acero al Carbón de 1 ½” Cédula 40		28

5.2	Aislamiento de elastómero flexible	29
5.3	Recubrimiento con Lámina de Aluminio Calibre 26	30
5.4	Válvulas de esfera Worcester de 1 ½”	30
5.5	Válvulas de esfera con Actuador Neumático	31
5.6	Controlador Lógico Programable PLC Siemens S7-1200F	32
5.7	Variadores de Frecuencia (VFD)	33
5.8	Panel táctil HMI KTP700 Siemens	34
5.9	Motor Agitador Trifásico de 5 HP	34
5.10	Sensor Capacitivo Ecolab CA30CAN25PA	35
5.11	Conector Industrial de 32 A, 4 polos	36
6.	Procedimiento Esperado	36
6.1	Actividades de Planeación, Seguridad y Logística	37
6.1.1	Protocolos de Seguridad y Gestión de Riesgos	37
6.2	Instalación de Tubería de Proceso	38
6.2.1	Preparación y Trazado de la Ruta	38
6.3	Proceso de Fabricación y Montaje de Tubería Soldada	38
6.4	Funcionalidad de las Líneas de Proceso	40
6.5	Aseguramiento de la Calidad y Protección Térmica	40
6.5.1	Pruebas Hidrostáticas y Ajustes (Verificación Mecánica)	40
6.5.2	Pruebas Operacionales con Plastisol (Ajuste de Flujo y Reología)	41
6.5.3	Colocación de Aislamiento Térmico (Protección Crítica)	41
6.6	Habilitación Electromecánica y Canalización de Fuerza	42
6.6.1	Montaje de Gabinete y Equipos de Potencia	42

6.6.2	Instalación de Canalización Eléctrica (Durabilidad Industrial).	42
6.7	Instrumentación de Proceso y Actuación Neumática.	43
6.7.1	Detección de Nivel y Conectividad	43
6.7.2	Actuación de Flujo Automatizada	44
6.7.3	Elementos de Seguridad y Visualización.	44
6.8	Ingeniería de Control y Puesta en Marcha Final.	44
6.8.1	Integración de Hardware y Programación de Interfaz	45
6.8.2	Lógica de Seguridad y Optimización Reológica	45
6.8.3	Ajuste Fino y Documentación.	46
7	Resultados del proyecto: análisis de normativa, cotización y conexiones eléctricas ...	46
7.1	Normativa, certificaciones y estándares de calidad	46
7.2	Normativa Mexicana de Instalaciones Eléctricas, Mantenimiento y Eficiencia....	46
7.2.1	La NOM-001-SEDE-2012: Requisitos de Seguridad en Instalaciones Eléctricas	46
7.2.2	NOM-029-STPS-2011: Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas.	48
7.2.3	NOM-016-ENER-2016: Eficiencia Energética para Motores.	49
7.2.4	NOM-009-ENER-2014: Eficiencia Energética en Sistemas de Aislamiento Térmico.	49
7.3	Normativa de Seguridad y Salud en el Trabajo (STPS) y Ambiente	50
7.3.1	NOM-017-STPS-2008: Equipo de Protección Personal (EPP).	50
7.3.2	NOM-018-STPS-2015: Sistema Armonizado para la Identificación de Riesgos Químicos.	50
7.3.3	NOM-019-STPS-2011: Comisiones de Seguridad e Higiene	50

7.3.4 NOM-022-STPS-2015: Electricidad Estática y Puesta a Tierra	51
7.3.5 NOM-052-SEMARNAT-2005: Residuos Peligrosos.....	51
7.4 Estándares de Ingeniería y Calidad Internacional (IEC, ISO, ASME)	51
7.4.1 NOM-004-SEDG-2004: Sistemas de Control Automático con Funciones de Seguridad.	52
7.4.2 IEC 61131-3: Lenguajes de Programación Estandarizados.	52
7.4.3 ISO 9001:2015: Gestión de Calidad y Trazabilidad	52
7.4.4 ASME B31.3: Tuberías de Proceso.....	52
7.4.5 UNE-EN 60309-1-2: Conexiones Eléctricas Industriales (Seguridad).	53
8 Cotización Desglosada: Suministros (Materiales y Equipos).	53
8.1 Cotización Desglosada: suministro de material.	53
8.1.1 Cotización Desglosada: Servicios.	57
8.1.2 Resumen Consolidado y Ajuste al Presupuesto Máximo	59
8.2 Fundamentos técnicos del sistema de distribución de tuberías.....	60
8.2.1 Análisis de la lógica del control de sistema	61
8.2.2 Justificación del diseño de distribución de tubería	61
8.2.3 Cumplimiento técnico, normativo y de diseño	62
9 . Procedimiento y descripción de las actividades.....	62
9.1 Función del sistema de distribución de tuberías	63
9.1.1 Importancia de Aislamiento Térmico.....	63
9.1.2 Elementos principales del diagrama	63
9.2 Programas utilizados	64
9.2.1 AutoCad	64

9.2.2 Relación del diagrama con los PID.....	65
9.3 Calculo y distribución de la tubería	65
9.3.1 Elaboración del diagrama en AutoCAD	65
9.4 Descripción del funcionamiento del diagrama de rutas de distribución de tubería ..	66
9.4.1 Funcionamiento estructural de los tanques de mezclado... ..	67
9.4.2 Ruta superior de tubería e interconexión entre tanques	67
9.4.3 Integración del Padder al sistema	68
9.4.4 Sensores de nivel capacitivo	68
9.4.5 Sensor de temperatura.....	68
9.4.6 Bombas de transferencia	69
9.4.7 Válvulas de esfera	69
9.4.8 Válvulas check (retención).....	69
9.4.9 Secuencia típica de operación del sistema y ventajas	70
CONCLUSIONES	71
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	72
REFERENCIAS	73-75

RESUMEN

El presente proyecto desarrolla el diseño y la automatización de un sistema para el control del llenado, almacenamiento y transferencia de plastisol mediante un arreglo de tanques elevados interconectados por un sistema de distribución de tuberías. El objetivo principal del proyecto es mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y el control del proceso productivo, integrando principios de ingeniería mecánica, hidráulica y de automatización industrial.

El sistema está conformado por dos tanques de mezclado elevados a una altura aproximada de 3.50 m, los cuales permiten el almacenamiento y la homogenización del plastisol. La disposición elevada de los tanques facilita el drenaje por gravedad, reduce la carga hidráulica sobre las bombas y contribuye a una operación más segura y eficiente.

El diseño considera las características físicas del plastisol, un fluido de alta viscosidad y sensible a la temperatura, lo que obliga a mantener condiciones de flujo continuo y control térmico durante todo el proceso.

La distribución de tuberías fue diseñada para garantizar un transporte adecuado del plastisol entre los tanques y hacia los equipos del proceso, empleando aproximadamente 160 m de tubería de acero al carbón de 1 ½" cédula 40. La selección de este material y diámetro se fundamenta en su resistencia mecánica, compatibilidad con el fluido y disponibilidad comercial. La disposición de los tramos horizontales y verticales se realizó de forma ordenada, minimizando recorridos innecesarios, pérdidas de carga y zonas muertas que pudieran afectar la calidad del producto.

El sistema incorpora bombas de transferencia ubicadas en la parte inferior del arreglo, las cuales permiten el envío del plastisol hacia las diferentes etapas del proceso productivo. Estas bombas trabajan en conjunto con válvulas de esfera de paso completo y válvulas de retención, las cuales garantizan el control del flujo, el aislamiento de equipos y la prevención de retornos indeseados de material.

La automatización del sistema se logra mediante la integración de sensores de nivel alto y bajo, sensores de temperatura, conectados a un controlador lógico programable (PLC). A través de la lógica de control implementada, el sistema es capaz de operar de manera automática, realizando secuencias de llenado, transferencia y protección sin la intervención constante del operador. La programación del PLC incluye interbloques de seguridad que evitan sobrellenados, protegen las bombas y garantizan la operación dentro de parámetros seguros.

El diseño del sistema considera también la aplicación de aislamiento térmico en las tuberías, con el objetivo de mantener estable la temperatura del plastisol y conservar su viscosidad. Este aislamiento contribuye a la eficiencia energética del sistema y al cumplimiento de normativas aplicables, mejorando además la seguridad del personal al reducir superficies calientes expuestas.

Para la elaboración de la documentación técnica, se utilizó el software AutoCAD, el cual permitió desarrollar el diagrama de rutas de distribución de tuberías con precisión

dimensional y claridad visual. El uso de capas, bloques y simbología estandarizada facilitó la interpretación del sistema y sentó las bases para la elaboración de diagramas P&ID, planos isométricos y planos constructivos necesarios para la implementación del proyecto.

En conclusión, el proyecto demuestra que un diseño adecuado del sistema de tuberías, combinado con la automatización del proceso y una correcta documentación técnica, permite mejorar significativamente el control, la eficiencia y la seguridad en el manejo de plastisol. Asimismo, el desarrollo del proyecto permitió aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos durante la formación académica, fortaleciendo las competencias profesionales en el área de ingeniería industrial y automatización.

INTRODUCCION

La automatización de procesos industriales representa una herramienta clave para mejorar la eficiencia, la calidad del producto y la seguridad operativa dentro de las plantas de producción. En este contexto, el diseño y la correcta distribución de las rutas de tuberías adquieren una importancia fundamental, ya que permiten el transporte adecuado de los fluidos de proceso, garantizando continuidad, control y estabilidad de las variables críticas.

El presente documento tiene como finalidad explicar de manera detallada el diagrama de rutas de distribución de tuberías correspondiente al sistema de mezclado y almacenamiento de plastisol. Dicho diagrama forma parte del proyecto de “Automatización del control del llenado y monitoreo de niveles en tanques de almacenamiento”, desarrollado en el marco de residencias profesionales en la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

La explicación se fundamenta en la información técnica del proyecto, considerando criterios de diseño mecánico, automatización industrial, normativas aplicables y el uso de herramientas de dibujo asistido por computadora (AutoCAD). El objetivo principal es proporcionar un soporte técnico-académico que permita comprender la función, operación y justificación de cada elemento representado en el diagrama, sirviendo como base para la elaboración de diagramas P&ID, planos constructivos y documentación final del sistema.

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.

1.1 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 (tabla 1), 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.

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

Tabla 1 Contexto Histórico: Etapas de la Automatización Industrial

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 (tabla 2). 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).

4.2.2 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.

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.

Tipo de Sistema	de Volumen de Producción	de Flexibilidad de Cambio	al 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

Tabla 2. Comparativa de Sistemas de Automatización Industrial

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 (tabla 3), la Industria 4.0 exige que esta estructura se aplane. 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.

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

Tabla 2 Componentes Esenciales del Control de Procesos

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 (throughput). 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), (diagrama 1) 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.

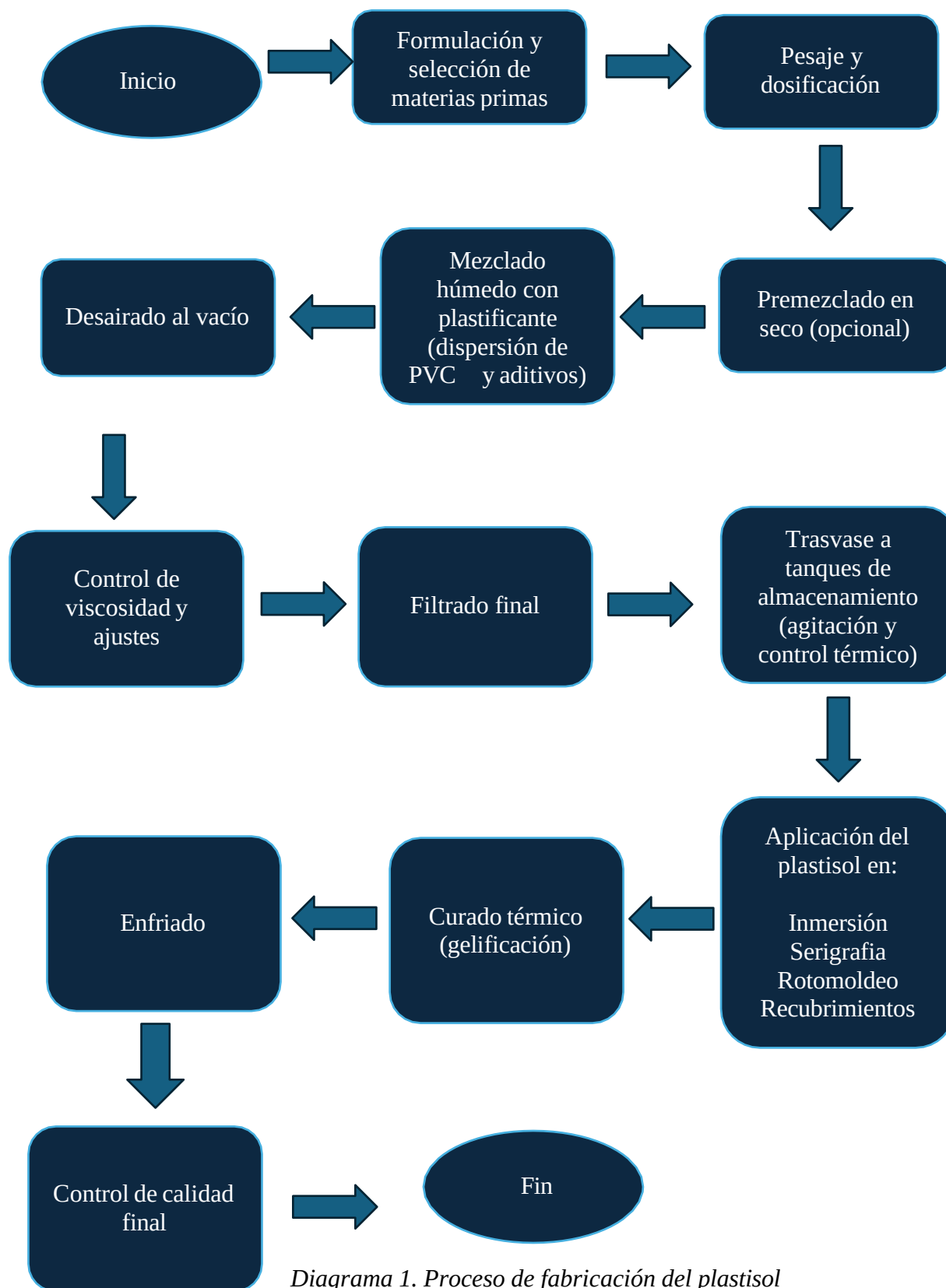


Diagrama 1. Proceso de fabricación del plastisol

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 (tabla 4).

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") (tabla 5), 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 (tabla 6):

- **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.

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 <i>regulación de velocidad manual</i> 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.

Tabla 3. Mejora en la Gestión Reológica y Homogeneización (De Manual a Control de Cizallamiento)

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 <i>controlada</i> 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.

Tabla 4 Mejora en la Precisión de Dosificación y Estabilidad de Flujo (De Peso a Tiempo Controlado)

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	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

protecciones avanzadas, lo que dificulta el diagnóstico de fallas y la aplicación de seguridad.

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.

Tabla 5. Mejora en Seguridad y Protección de Contención (De Alarma Audible a Interlock Failsafe)

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" (Sch 40) se refiere al espesor de la pared del tubo, lo que influye en la presión de trabajo máxima que puede soportar (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 Carbon de 1 1/2" Cedula 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 (figura 2), resistente al vapor de agua, y tiene una baja conductividad térmica.
- 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 (figura 3) con un espesor indicado por el Calibre 26 (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 lamina 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 (Fig. 411T / 4211T)

- Descripción: Una válvula de cierre rápido que utiliza una esfera perforada y giratoria para controlar el flujo (figura 4). 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 (e.g., figura 411-T o 4211T) 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 (slurries). 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 (plugging) 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 (figura 5) 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 (con sus ventajas de paso completo) 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 (figura 6) el modelo S7-1200 es de gama media. 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 121FC

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.

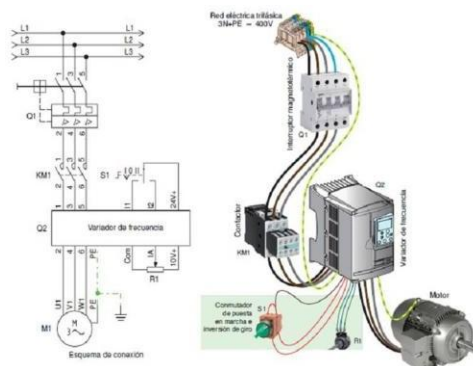


Figura 7. Variadores de Frecuencia (VFDs)

os 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 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.

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.



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

5.9 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.

5.10 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.

5.11 Conector Industrial De 32 A 4 Polos

- Este es un kit de conexión eléctrica industrial (figura 11) Macho/Hembra diseñado para operar con una corriente nominal de 32 Amperios y una configuración de 4 Polos (típicamente 3 fases más tierra).
- 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 mas 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 (*tie-ins*). 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 (*icicles*). 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 (*fouling*), 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 1/2" 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 CONEXIONES ELECTRICAS.

NORMATIVA, CERTIFICACIONES Y ESTÁNDARES DE CALIDAD: Análisis de Cumplimiento e Integridad Operacional

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 Plástisol. 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.

7.1 Normativa Mexicana de Instalaciones Eléctricas, Mantenimiento y Eficiencia

7.2.1 NOM-001-SEDE-2012: 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 agitadores 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: 1) 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. 2) 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: 1) 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. 2) 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: 1) El nombre de la sustancia química peligrosa o mezcla; 2) 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: 1) 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. 2) Prevención: Determinar las medidas para prevenir riesgos de trabajo, con base en el Reglamento y las normas aplicables. 3) 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: 1) La caracterización del residuo de Plastisol; 2) El almacenamiento temporal seguro y etiquetado; y 3) 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 NOM-004-SEDG-2004: Sistemas de Control Automático con Funciones de Seguridad

La NOM-004-SEDG-2004 establece requisitos para Sistemas de Control Automático con Funciones de Seguridad. El requisito de fondo en el contexto del proyecto es la validación del software de seguridad y la garantía de que las secuencias críticas de control y los paros de emergencia operen de manera confiable. Esta norma, a través de sus Artículos 12 y 15 (en el contexto de sistemas de control), requiere la validación del software del PLC. Esta exigencia se satisface mediante la implementación del marco de Seguridad Funcional (SIL), donde la CPU Siemens S7-1200F CPU 1215FC se utiliza como *logic solver* certificado. La naturaleza *failsafe* de la CPU garantiza que el diseño del PLC cumple con los requisitos de

la normativa para la seguridad en la automatización, asegurando la respuesta confiable y predecible ante eventos críticos (Paro de Emergencia, interlocks de nivel).

7.4.2 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. Garantiza: 1) Portabilidad y Mantenibilidad: Un código estandarizado facilita la comprensión por parte de cualquier ingeniero de automatización calificado, reduciendo el tiempo de diagnóstico y mantenimiento. 2) 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.

7.4.3 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.

7.4.4 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).

7.4.5 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.

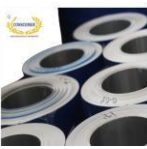
8 Cotización Desglosada: Suministros (Materiales y Equipos)

Conforme a la solicitud se realizó las cotizaciones pertinentes respecto al suministro de material mecánico y aislamientos (tabla 7), los suministros de equipo de control así como también los de potencia e instrumentación (tabla 8), mano de obra (tabla 9) y se implementa el 10% de contingencia para imprevistos (tabla 10), 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.

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

Elemento o Servicio	Acción Que Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Suministro: Tubería Acero al Carbón 1 1/2" Céd. 40	Suministro (160 ML)	160 ML	\$157.20  Tubo De Acero Al Carbón Sin Costura De 1/2" Cédula De 2.77 Mm \$ 157.20 MXN	\$12,576.00
Suministro: Válvulas de Esfera Worcester 411-T 1 1/2" Bronce	Suministro	8 Pzas	\$5,700.00  Worcester 411-T Válvula De Bola Inye Con Actuador Simple \$ 5,700 Se incluye con instrucciones de instalación Se incluye con piezas de repuesto Llévase gratis entre el jueves y el viernes	\$45,600.00
Suministro: Codos 90° Acero Carbón 1 1/2" Céd. 40	Suministro	40 Pzas	\$74.82  Codo De 1 1/2" X 90° Solda Cédula 40 \$ 74.82 MXN 100% DISPONIBLE	\$2,992.80
Suministro: Coples, Tees y Conexiones Rosadas 1 1/2"	Suministro	20 Pzas	\$180.00	\$3,600.00
Suministro: Abrazaderas U-Bolt y Soportes/Antivibración 1 1/2"	Suministro para 160 ML	80 Pzas	\$67.25  U-bolt Unsell 4 Paquete de Abrazaderas U-bolt Muffler para Diámetro de 38mm(1 1/2") Abrazadera de tubo de escape en for Abrazaderas tipo silla U para conectar tubos \$269.00	\$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: 18201-00008364 \$49.76	\$4,229.60
Suministro: Recubrimiento Lámina Aluminio Cal. 26	Suministro	160 ML	\$11,000.00  Lamina de aluminio CAL. 26 con vinil \$ 11,000.00 MXN Unsell Unsell Unsell Unsell	\$22,000.00

Elemento o Servicio	Acción Que Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
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

Tabla 7. Suministro de Componentes Mecánicos y Aislamiento

Suministro de Equipos

Elemento o Servicio	Acción Realizar	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
Suministro: PLC Siemens 6ES7215-1AF40-0XB0 S7-1200F CPU 1215FC	Suministro	1 Pza	\$8,086.11 	\$8,086.11
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

Elemento Servicio	Acción Realizar	Por	Piezas (Unidades)	Precio (MXN)	Unitario	Precio Total (MXN)
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 unidades requeridas)	(5	5 Pzas	\$1,865.00		\$9,325.00
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

Elemento Servicio	Acción Realizar	Por	Piezas (Unidades)	Precio (MXN)	Unitario	Precio Total (MXN)
					Nuevo 1 + 125 vendidos Conector Industrial D Polos Para Exterior R 4.5 ★★★★★ \$ 780 3 meses sin intereses de \$ NA INCLUIDO Ver los detalles de pago Lo que tienes que saber de este p • Voltaje: 480V • Tipo de puerto: americano • Tipo de polos: americano • Con 4 puertos	
Suministro: Contactos Auxiliares 127V y Transformador	Suministro Instalación	e	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, ML)	100	100 ML	\$245.94		\$24,594.00
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 Material	de	1 Lote	\$8,000.00		\$8,000.00
SUBTOTAL EQUIPOS Y ELÉCTRICO						\$152,585.11

Tabla 8. Suministro de Equipos de Control, Potencia e Instrumentación

Costo Total de Suministros (T1 + T2): \$ 327,982.99MXN

8.1.1. Cotización Desglosada: Servicios (Mano de Obra Especializada)

Esta sección 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.

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
Servicio: Montaje y de Habilitación de 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	10 Jornales	\$4,500.00	\$45,000.00

Elemento o Servicio	Acción Realizar Por	Piezas (Unidades)	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)
	(Lógica de control y seguridad)			
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
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

Tabla 9: Mano de Obra y Servicios de Ingeniería

8.1.2 Resumen Consolidado y Ajuste al Presupuesto Máximo

El resumen consolida los costos directos de materiales y mano de obra, e incluye una contingencia del 10% para cubrir imprevistos sin exceder el límite de \$900,000 MXN.

Fase del Proyecto	Costo de Suministros (MXN)	Costo de Mano de Obra (MXN)	Subtotal Directo (MXN)
I. Suministros (Mecánica, Motores, Eléctrica, Instrumentación)	\$496,606.31	\$0.00	\$307,958.51

Fase del Proyecto	Costo de Suministros (MXN)	Costo de Mano de Obra (MXN)	Subtotal Directo (MXN)
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

Tabla 10. Ajuste al presupuesto máximo.

8. 2 Fundamento técnico del sistema de distribución de tuberías

El diseño del sistema de distribución de tuberías para el manejo de plastisol se fundamenta en principios de la ingeniería mecánica, hidráulica e ingeniería de control, considerando las propiedades físicas del fluido, los requerimientos operativos del proceso y la necesidad de automatización industrial.

El plastisol es un material de alta viscosidad, sensible a variaciones de temperatura y con tendencia a la sedimentación cuando no se mantiene bajo condiciones controladas. Por esta razón, el sistema de tuberías debe garantizar un flujo continuo, estable y sin restricciones, evitando pérdidas de carga excesivas, zonas muertas y acumulaciones de material que puedan afectar la calidad del producto.

La selección de tubería de acero al carbón de 1 ½" (DN40) se basa en criterios de resistencia mecánica, compatibilidad química con el plastisol, disponibilidad comercial y facilidad de fabricación e instalación. El diámetro seleccionado permite manejar el caudal requerido manteniendo velocidades de flujo adecuadas, reduciendo la turbulencia y el desgaste prematuro de los componentes.

La disposición de los tanques de mezclado a una altura aproximada de 3.50 m responde a criterios funcionales y de seguridad, ya que facilita el drenaje por gravedad, reduce la carga hidráulica requerida por las bombas, mejora la eficiencia del sistema y disminuye el riesgo de derrames.

El empleo de válvulas de esfera de paso completo y válvulas de retención (check) se fundamenta en la necesidad de controlar el flujo del plastisol, aislar equipos para mantenimiento y evitar retornos indeseados de material que puedan dañar las bombas o generar contaminación del proceso.

8.2.1 Análisis de la lógica de control del sistema

La lógica de control del sistema se basa en la integración entre la instrumentación de campo, el sistema de tuberías y el controlador lógico programable (PLC), con el objetivo de lograr una operación automática, segura y confiable del proceso de llenado, almacenamiento y transferencia de plastisol.

El sistema incorpora sensores capacitivos de nivel alto y bajo, sensores ultrasónicos para medición continua de nivel y sensores de temperatura instalados en los tanques de mezclado. Estos dispositivos envían señales al PLC, el cual procesa la información y ejecuta acciones sobre bombas y válvulas de acuerdo con la lógica programada.

Las principales variables controladas son el nivel de plastisol, la temperatura del producto y el estado operativo de las bombas y válvulas. Con base en estas variables, la lógica de control se desarrolla de la siguiente manera:

1. Condición inicial de seguridad
El sistema verifica que los niveles de plastisol se encuentren dentro de los rangos permitidos y que no existan alarmas activas antes de habilitar cualquier operación automática.
2. Control de llenado y transferencia
Cuando el nivel de un tanque alcanza el punto mínimo, el PLC autoriza la apertura de las válvulas correspondientes y el arranque de la bomba, permitiendo la transferencia de plastisol desde el tanque opuesto o hacia el equipo de proceso.
3. Protección por nivel alto
Al detectarse un nivel alto, el sistema detiene automáticamente la bomba y cierra las válvulas de entrada, evitando el sobrellenado del tanque y posibles derrames.
4. Supervisión de temperatura
El monitoreo de temperatura permite generar alarmas o acciones correctivas para mantener el plastisol dentro de las condiciones óptimas, garantizando la calidad del producto.

Esta lógica de control reduce la intervención manual, minimiza errores humanos y mejora la confiabilidad del sistema automatizado.

8.2.2 Justificación del diseño del sistema de distribución de tuberías

El diseño del sistema de distribución de tuberías se justifica técnica y operativamente por su capacidad para cumplir con los requerimientos del proceso productivo, la automatización industrial y las condiciones de seguridad.

Desde el punto de vista hidráulico y mecánico, la distribución aproximada de 160 m de tubería se realizó siguiendo rutas directas y ordenadas, evitando recorridos innecesarios y reduciendo el número de accesorios, lo cual disminuye las pérdidas de carga y mejora la eficiencia del bombeo.

La ubicación de las bombas en la parte inferior del sistema permite aprovechar la altura de los tanques, asegurando una succión adecuada, reduciendo el riesgo de cavitación y prolongando la vida útil de los equipos.

La configuración simétrica del sistema, con dos tanques interconectados, facilita una operación balanceada, permite redundancia operativa y simplifica las tareas de mantenimiento sin necesidad de detener completamente el proceso productivo.

8.2.3 Cumplimiento técnico, normativo y de diseño

El sistema de distribución de tuberías cumple con criterios técnicos y normativos ampliamente aceptados en la industria, garantizando su correcta operación y seguridad.

El diseño considera buenas prácticas de ingeniería mecánica, en cuanto a selección de materiales, soportes, disposición de tuberías y control de esfuerzos mecánicos. Asimismo, cumple con principios de automatización industrial, integrando adecuadamente sensores, actuadores y sistemas de control.

El aislamiento térmico aplicado a las tuberías contribuye al cumplimiento de la NOM-009-ENER-2014, mejorando la eficiencia energética y manteniendo la estabilidad térmica del plastisol. Adicionalmente, se consideran criterios de seguridad industrial, evitando sobrepresiones, retornos de flujo y riesgos para el personal.

El uso de AutoCAD como herramienta de diseño asegura precisión dimensional, estandarización de símbolos y compatibilidad con diagramas P&ID, planos isométricos para la implementación y validación del proyecto.

9. Procedimiento y descripción de las actividades.

El diagrama de rutas de distribución de tuberías muestra un sistema compuesto por dos tanques elevados de mezclado de plastisol, montados sobre estructuras metálicas con una altura aproximada de 3.50 metros. Estos tanques se encuentran interconectados mediante un sistema de tuberías que permite la transferencia del fluido entre ambos, así como su envío hacia otros equipos del proceso, como el padder textil o tanques de almacenamiento. El sistema presenta una configuración simétrica, lo cual facilita la operación, el balance de cargas y el mantenimiento. En la parte superior de los tanques se observa una línea horizontal de interconexión, mientras que en la parte inferior se encuentran las salidas hacia las bombas

de transferencia, válvulas de control y líneas de retorno. El diagrama no solo representa la trayectoria física del fluido, sino que también establece la lógica funcional del sistema, integrando elementos mecánicos, instrumentación y control, lo que lo convierte en un documento base para la automatización del proceso.

9.1 Función del sistema de distribución de tuberías

La función principal del sistema de tuberías es conducir el plastisol de manera segura, controlada y eficiente entre los distintos equipos del proceso productivo. Este sistema debe garantizar:

- Continuidad del flujo sin interrupciones.
- Conservación de la viscosidad del plastisol.
- Prevención de contaminación o sedimentación.
- Seguridad operativa para el personal y los equipos.
- Compatibilidad con el sistema de automatización y control.

Dado que el plastisol es un fluido de alta viscosidad, el diseño de las tuberías debe minimizar pérdidas de carga, zonas muertas y cambios bruscos de dirección. Por esta razón, se selecciona tubería de acero al carbón de 1 ½" cédula 40, soldada, con válvulas de paso completo, lo cual permite un flujo uniforme y reduce la necesidad de mantenimiento correctivo.

9.1.1 Importancia del Aislamiento Térmico.

El aislamiento térmico de las tuberías es un elemento crítico para mantener la viscosidad del plastisol. Variaciones de temperatura durante el transporte pueden afectar la calidad del producto final.

Por ello, se utiliza aislamiento de elastómero flexible con recubrimiento de lámina de aluminio calibre 26, cumpliendo con la NOM-009-ENER-2014. Este aislamiento contribuye a la eficiencia energética del sistema y protege las tuberías contra daños mecánicos y ambientales.

9.1.2 Elementos principales del diagrama.

1. Tanques de mezclado

Los tanques elevados tienen la función de almacenar y homogenizar el plastisol. Están equipados con sistemas de agitación controlados por variadores de frecuencia, lo que permite regular la velocidad de mezcla según la formulación del producto. Su instalación elevada

facilita el drenaje por gravedad, reduce la carga de trabajo de las bombas y mejora la seguridad del sistema. Además, cuentan con instrumentación de nivel y temperatura que permite un monitoreo continuo del proceso.

2. Tuberías

Las tuberías representan las rutas de transporte del plastisol. De acuerdo con el proyecto, se utilizan aproximadamente 160 metros lineales de tubería de acero al carbón de 1 ½" cédula 40. Estas líneas incluyen:

- Tramos horizontales.
- Tramos verticales. Codos de 90°.
- Conexiones a válvulas y bombas.

Las tuberías están soportadas mediante abrazaderas y estructuras metálicas, respetando separaciones adecuadas para evitar vibraciones y esfuerzos mecánicos excesivos.

3. Bombas de transferencia.

Las bombas están ubicadas en la parte inferior del sistema y tienen como función impulsar el plastisol desde los tanques hacia otros equipos del proceso. Su selección se realiza considerando la viscosidad del fluido, la longitud total de las tuberías y la altura de elevación requerida.

4. Válvulas.

El sistema incorpora válvulas de esfera manuales y automáticas, así como válvulas de retención (check). Estas válvulas permiten: Abrir o cerrar el paso del fluido. Aislar tramos de tubería para mantenimiento. Evitar el retorno del plastisol. Automatizar el proceso de transferencia. El uso de válvulas de paso completo es fundamental para evitar restricciones al flujo y acumulación de material.

5. Sensores e instrumentación.

El diagrama incluye sensores capacitivos para detección de nivel alto y bajo, sensores ultrasónicos para medición continua de nivel y sensores de temperatura. Estos dispositivos envían señales al PLC Siemens, el cual toma decisiones automáticas para el control del sistema. La instrumentación permite prevenir derrames, proteger los equipos y garantizar la calidad del producto.

9.2 Programas utilizados.

9.2.1 AutoCAD

Es un programa de diseño asistido por computadora (CAD) desarrollado por Autodesk, que se utiliza para crear y modificar dibujos técnicos en dos y tres dimensiones con alta precisión, ampliamente empleada en ingeniería, arquitectura y diseño industrial.

Sirve principalmente para elaborar planos técnicos, como planos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y de tuberías, permitiendo representar de forma clara y exacta equipos, instalaciones y sistemas de proceso. El software trabaja con escalas reales, cotas y simbología estandarizada, lo que garantiza la correcta interpretación de los diseños.

En proyectos de ingeniería y automatización, facilita la documentación técnica, la organización del diseño mediante capas y bloques, y la comunicación entre las distintas áreas técnicas. Su uso permite detectar errores antes de la construcción, reducir tiempos de desarrollo y asegurar que los proyectos cumplan con los requerimientos técnicos y normativos.

9.2.2 Relación del diagrama con los p&id

El diagrama de rutas de distribución de tuberías es el antecedente directo del diagrama P&ID (Piping and Instrumentation Diagram), utiliza simbología normalizada para representar: Instrumentos de medición: Válvulas de control, lazos de control, señales eléctricas y neumáticas, elementos de seguridad.

Este diagrama sirve como base para la ingeniería de detalle, la programación del PLC y la elaboración de planos constructivos.

9.3 Calculo y distribución de la tubería

De acuerdo con el proyecto, la longitud total de tubería requerida es de 160 metros lineales, distribuidos aproximadamente de la siguiente manera:

- Tramos horizontales superiores entre tanques: 40 m
- Bajadas verticales hacia bombas: 30 m
- Tramos horizontales inferiores: 50 m
- Líneas de retorno y conexión a otros equipos: 40 m

Esta distribución considera la altura de 3.50 m de los tanques, la separación entre equipos y las rutas seguras dentro de la planta. Para garantizar la estabilidad mecánica, se emplean aproximadamente 80 soportes, manteniendo una separación promedio de 2 metros entre ellos.

9.3.1 Elaboración del diagrama en AutoCAD

El diagrama fue elaborado utilizando AutoCAD, empleando herramientas de dibujo en dos dimensiones 2D (figura 12). Para una correcta organización del plano, se utilizaron capas (layers) para diferenciar:

- Tuberías.
- Equipos mecánicos.
- Instrumentación.
- Texto y cotas.

Se emplearon bloques para representar bombas, válvulas y sensores, lo cual permite estandarización y facilidad de modificación. Las rutas de tubería se trazaron respetando proporciones, alturas reales y distancias entre equipos. AutoCAD permite generar posteriormente planos en planta, isométricos y diagramas P&ID (Figura 13), compatibles con los procesos de eléctrica y de automatización.

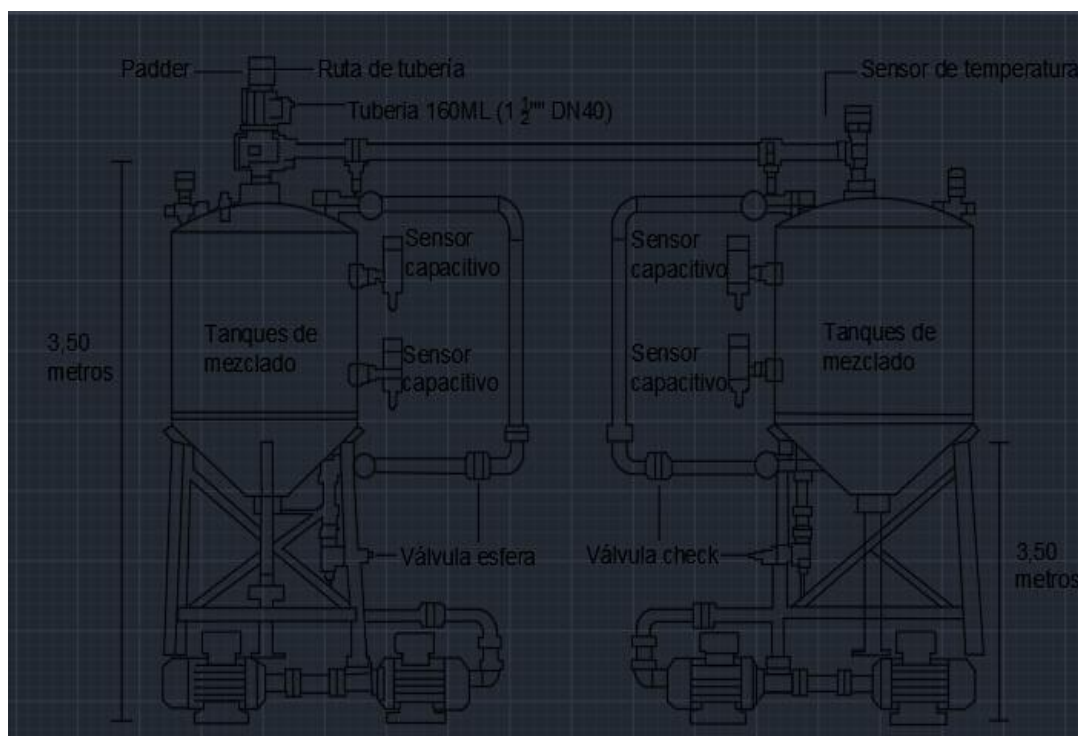


Figura 12. Diagrama de Rutas de Distribución de tuberías.

9.4 Descripción del funcionamiento del diagrama de rutas de distribución de tuberías.

El diagrama representa un sistema automatizado de mezclado, almacenamiento y distribución de plastisol, compuesto por dos tanques de mezclado elevados, interconectados mediante una red de tuberías, válvulas, bombas y sensores de instrumentación.

El objetivo principal del sistema es asegurar el manejo controlado del plastisol, manteniendo condiciones estables de nivel, temperatura y flujo durante todo el proceso.

El sistema está diseñado para operar de forma continua y segura, permitiendo tanto la recirculación interna del material como su envío hacia un equipo externo denominado Padder, el cual forma parte del proceso productivo final.

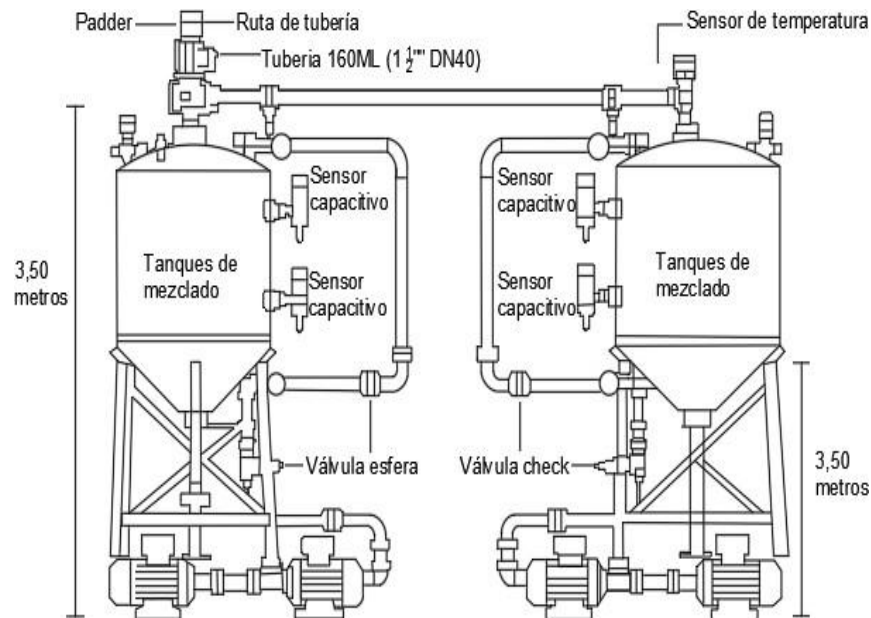


Figura 13. Diagrama PID de distribución de tuberías

9.4.1 Funcionamiento estructural de los tanques de mezclado

Cada tanque de mezclado se encuentra montado sobre una estructura metálica elevada a 3.50 metros, lo cual cumple varias funciones operativas:

- Facilita el drenaje por gravedad.
- Reduce la carga hidráulica requerida por las bombas.
- Mejora la seguridad y el orden en la instalación.
- Permite una distribución eficiente de las tuberías inferiores.

Los tanques almacenan el plastisol y permiten su homogenización, evitando la sedimentación del material. En la parte superior de cada tanque se localizan conexiones para entrada y salida de fluido, así como sensores de temperatura y conexiones a la tubería principal.

9.4.2 Ruta superior de tubería e interconexión entre tanques

En la parte superior del sistema se observa una ruta horizontal de tubería, identificada como: Tubería 160 ML (1 ½" DN40)

Esta línea cumple una función crítica dentro del sistema:

- Permite la interconexión entre ambos tanques
- Facilita la transferencia de plastisol de un tanque a otro.
- Permite el envío del material hacia el Padder.

El diámetro DN40 (1 ½") ha sido seleccionado para manejar un fluido de alta viscosidad como el plastisol, manteniendo velocidades de flujo adecuadas y reduciendo pérdidas de presión.

Esta tubería actúa como una línea principal de distribución, controlada indirectamente por válvulas y bombas ubicadas en la parte inferior del sistema.

9.4.3 Integración del Padder al sistema

En el extremo superior izquierdo del diagrama se encuentra el Padder, que representa el equipo consumidor del plastisol dentro del proceso productivo. El funcionamiento es el siguiente:

1. El plastisol es impulsado desde uno de los tanques.
2. El fluido circula a través de la línea superior DN40.
3. El material es entregado al Padder bajo condiciones controladas de flujo y temperatura.

Este diseño permite alimentar el Padder desde cualquiera de los dos tanques, otorgando flexibilidad operativa y continuidad del proceso en caso de mantenimiento o falla de uno de los tanques.

9.4.4 Sensores de nivel capacitivos

Cada tanque cuenta con sensores capacitivos de nivel, instalados a distintas alturas. Estos sensores cumplen funciones fundamentales dentro de la automatización:

- Detección de nivel alto: evita el sobrellenado del tanque.
- Detección de nivel bajo: protege a las bombas contra trabajo en seco.
- Proporcionan señales digitales al PLC, permitiendo decisiones automáticas.

El funcionamiento es continuo: los sensores detectan la presencia del plastisol y envían señales que habilitan o inhiben el arranque de bombas y la apertura de válvulas.

9.4.5 Sensor de temperatura

En la parte superior de uno de los tanques se identifica un sensor de temperatura, el cual permite:

- Monitorear la temperatura del plastisol.
- Garantizar que el material se mantenga dentro del rango óptimo de viscosidad.
- Activar alarmas o estrategias de control si se detectan desviaciones térmicas.

Este sensor es esencial debido a que el plastisol es altamente sensible a cambios de temperatura, los cuales pueden afectar directamente la calidad del producto final.

9.4.6 Bombas de transferencia

Cada tanque cuenta con una bomba de transferencia, cuya función es:

- Extraer el plastisol desde el fondo del tanque.
- Impulsarlo hacia la línea superior o hacia otro tanque.
- Garantizar caudal constante y controlado.

Las bombas trabajan en conjunto con la lógica de control y solo se activan cuando los sensores indican condiciones seguras de operación.

9.4.7 Válvulas de esfera

Las válvulas de esfera cumplen funciones con el control básico del flujo en este caso responde a criterios operativos, de mantenimiento y de seguridad nos permiten:

- Abrir o cerrar manual o automáticamente el paso del plastisol.
- Aislar secciones del sistema para mantenimiento.
- Aumentan la seguridad operativa.
- Seleccionar rutas de flujo.

Al ser de paso completo, estas válvulas minimizan la restricción al flujo, lo cual es esencial para un fluido viscoso ya que son elementos básicos de operación y seguridad, no de un control fino del proceso.

9.4.8 Válvulas check (retención)

Las válvulas check cumplen una función de seguridad crítica:

- Evitan el retorno del plastisol.
- Protegen las bombas de flujo inverso.
- Mantienen la dirección correcta del proceso.

Su presencia asegura que el material fluya únicamente en la dirección prevista por el diseño.

9.4.9 Secuencia típica de operación del sistema y ventajas.

El funcionamiento general del sistema puede describirse en la siguiente secuencia:

1. El plastisol es almacenado y mezclado en los tanques elevados.
2. Los sensores de nivel verifican que exista suficiente material.
3. El PLC habilita la bomba correspondiente.
4. El fluido es impulsado por la red inferior de tuberías.
5. A través de válvulas y líneas verticales, el plastisol asciende hacia la línea superior.
6. El material se distribuye hacia el Padder o hacia el tanque opuesto.
7. El sistema se detiene automáticamente si se alcanza nivel alto, nivel bajo o una condición de alarma.

Esta secuencia permite una operación automática, segura y repetible. El funcionamiento del sistema presenta múltiples ventajas:

- Operación continua sin intervención manual constante.
- Protección de equipos mediante sensores e interbloques.
- Flexibilidad para alimentar procesos desde cualquiera de los tanques.
- Reducción de riesgos de derrames y sobrepresión.
- Facilidad de mantenimiento y expansión futura.

Conclusiones.

El desarrollo del proyecto de automatización del sistema de mezclado y almacenamiento de plastisol permitió integrar de manera efectiva principios de ingeniería mecánica, eléctrica, hidráulica y de control, logrando un diseño funcional, seguro y acorde a los requerimientos del proceso productivo.

El diseño del sistema de distribución de tuberías demostró ser un elemento clave para garantizar el transporte eficiente del plastisol, considerando sus propiedades de alta viscosidad y sensibilidad a la temperatura. La correcta selección del diámetro, material y disposición de las tuberías permitió minimizar pérdidas de carga, evitar zonas muertas y asegurar la continuidad del flujo, contribuyendo a la estabilidad del proceso.

La implementación de tanques elevados a una altura de 3.50 m facilitó el aprovechamiento de la gravedad, redujo la carga hidráulica sobre las bombas y mejoró las condiciones de seguridad y mantenimiento del sistema. Asimismo, la configuración simétrica de los tanques proporcionó flexibilidad operativa y la posibilidad de redundancia, lo cual incrementa la confiabilidad del proceso.

La integración de sensores de nivel y temperatura, junto con la programación de una lógica de control basada en PLC, permitió automatizar las operaciones de llenado, transferencia y protección del sistema. Esto redujo la intervención manual, minimizó errores humanos y aumentó la seguridad operativa mediante interbloqueos y alarmas.

El uso de AutoCAD como herramienta de diseño facilitó la elaboración del diagrama de rutas de distribución de tuberías, asegurando precisión dimensional, claridad en la interpretación del sistema y compatibilidad con diagramas P&ID y planos constructivos. Esta documentación técnica es fundamental para la correcta implementación, operación y mantenimiento del sistema.

Finalmente, el proyecto cumple con criterios técnicos, normativos y de eficiencia energética, demostrando que la automatización y el diseño adecuado de sistemas de tuberías representan una mejora significativa en la productividad, calidad del producto y seguridad industrial. El desarrollo de este proyecto permitió aplicar conocimientos adquiridos durante la formación académica, fortaleciendo las competencias profesionales necesarias para el ejercicio de la ingeniería en el ámbito industrial.

Competencias desarrolladas.

Durante el desarrollo del proyecto fortalecí competencias técnicas relacionadas con el diseño, análisis e implementación de sistemas industriales automatizados. Se adquirió la capacidad para interpretar y diseñar diagramas de rutas de distribución de tuberías, considerando las propiedades físicas del plastisol, la selección de materiales, el dimensionamiento de tuberías y la disposición adecuada de equipos como tanques, bombas y válvulas.

Asimismo, se desarrolló la competencia para aplicar principios de hidráulica y mecánica de fluidos en el diseño de sistemas de transporte de fluidos viscosos, evaluando pérdidas de carga, rutas de flujo y criterios de seguridad operativa. Se fortaleció el conocimiento en la integración de instrumentación industrial, incluyendo sensores de nivel y temperatura, y su correcta ubicación dentro del sistema de proceso

El proyecto permitió desarrollar habilidades en automatización industrial, particularmente en el análisis de la lógica de control basada en PLC, la definición de secuencias de operación, interbloqueos de seguridad y condiciones de paro, garantizando una operación automática, confiable y segura del sistema..

Además, se desarrolló la capacidad para interpretar planos técnicos, comunicar información de manera gráfica y documentar adecuadamente sistemas industriales, facilitando la comunicación entre áreas de ingeniería, operación y mantenimiento.

Se adquirieron competencias relacionadas con la gestión de proyectos de ingeniería, tales como la planificación de actividades, el cumplimiento de objetivos y la organización de la información técnica. El trabajo permitió fortalecer la capacidad de trabajo en equipo, comunicación efectiva con asesores académicos e industriales y adaptación a un entorno industrial real.

El proyecto contribuyó al desarrollo de la competencia para analizar procesos industriales, identificar problemáticas operativas y proponer soluciones técnicas viables. Se fortaleció la capacidad para evaluar alternativas de diseño, justificar decisiones técnicas y verificar el cumplimiento de criterios normativos y de seguridad.

Asimismo, se desarrolló la habilidad para tomar decisiones basadas en criterios técnicos, considerando restricciones del proceso, seguridad industrial y eficiencia operativa

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_=fplfs&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/>
- 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&srsId=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&srsId=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_

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

Mariano. (Miercoles de Noviembre de 2011). *tecnologiadelosplasticos.blogspot.com*. Obtenido de *tecnologiadelosplasticos.blogspot.com*: <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

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&matt_tool=28238160&utm_source=google_shopping

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/>

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>

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=0AAA AAC2XDKBIEAM8ypeT8EhAzgWcQhLxD&gclid=Cj0KCQiA6NTJBhDEARIsAB7

Autodesk, Inc. (s. f.). *AutoCAD for mechanical design*.
<https://www.autodesk.com/solutions/mechanical-design-software>

Crane Co. (s. f.). *Flow of fluids technical information*.
<https://www.cranecpe.com/resources/technical-resources>

Engineering ToolBox. (s. f.). *Pipes and tubing*.
https://www.engineeringtoolbox.com/pipes-tubes-d_95.html

