Título de la propuesta o iniciativa: AUTOMATIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN EN LAS TINAS DE ÁCIDO DEL PROCESO DE GALVANIZADO

ALEJANDRO MANUEL AYALA FARIAS y JOSUE JEREMIAS COELLO CEVALLOS
bajo la dirección de MAX ALBERTO GALARZA HERNANDEZ
Licenciado en Negocios Internacionales. E-mail alejandro.ayala@uees.edu.ec
Ingeniero Industrial. E-mail josue.coello@uees.edu.ec

Fecha: 10 de enero del 2026

Resumen

El presente trabajo desarrolla un caso de negocio orientado a la automatización y optimización del proceso de preparación superficial en las tinas de ácido del proceso de galvanizado de tubos de acero. El objetivo general del proyecto es mejorar la seguridad del personal, estandarizar la calidad del pretratamiento y aumentar la eficiencia operativa mediante la implementación de tecnologías de control, monitoreo y automatización parcial.

La situación inicial evidencia una alta dependencia de operaciones manuales y métodos empíricos, lo que genera elevados riesgos laborales, variabilidad en los parámetros químicos críticos y deficiencias en la consistencia del producto final. A partir de este diagnóstico, se identificaron y evaluaron tres alternativas estratégicas: un sistema integral de automatización robótica, un sistema de control y monitoreo avanzado con automatización parcial, y mejoras básicas de seguridad y control.

Las alternativas fueron analizadas desde los enfoques técnico, operativo, financiero y de riesgos, utilizando indicadores clave de desempeño y herramientas como VAN, TIR y análisis impacto–probabilidad. Los resultados del estudio demuestran que la alternativa de control y monitoreo avanzado con automatización parcial es la opción

más viable, al presentar un equilibrio óptimo entre inversión, retorno económico, reducción de riesgos y facilidad de implementación.
Finalmente, se propone un plan de implementación estructurado en cinco fases que permite una transición gradual y controlada hacia una operación más segura, eficiente y sostenible, sentando las bases para la mejora continua y la toma de decisiones basada en datos dentro del proceso de galvanizado.
Palabras clave: Automatización industrial, Galvanizado de acero, Seguridad industrial, Control y monitoreo de procesos, Optimización operativa, Cadena de suministro.

SÍNTESIS:	El trabajo se enfocó en evaluar los diferentes tipos de alternativas para la optimización del proceso de galvanizado
DESCRIPCIÓN:	Se analizaron distintas opciones vinculadas al proceso de galvanizado, de las cuales se identificaron tres alternativas clave. Posteriormente, mediante la evaluación de ventajas y desventajas, análisis financiero y gestión de riesgos, se determinó la opción más viable y conveniente desde el punto de vista económico y operativo.
DEFINICIÓN DE LA OPORTUNIDAD:	Se desea automatizar y optimizar los procesos operativos de dosificación y medición de las tinas de galvanizado.
OBJETIVO RELEVANTE DEL NEGOCIO:	Reducir el tiempo y las actividades realizadas empíricamente por el personal de la planta. Automatizar las mediciones y control de cada uno de los procesos de las tinas previas al galvanizado.
	Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con

ALTERNATIVAS DE ANÁLISIS ELEGIDA:	Automatización Parcial

1 Oportunidad o problema

1.1 Identificar la oportunidad/problema

En el transcurso de los últimos 3 años, el sector de fabricación y elaboración de productos de tubería ha registrado una contracción sostenida en sus ingresos por ventas. Ante esta situación, se ha determinado la implementación de un análisis integral orientado a la optimización de recursos y la identificación de factores críticos que inciden en este desempeño, tal como se representa en el gráfico adjunto.

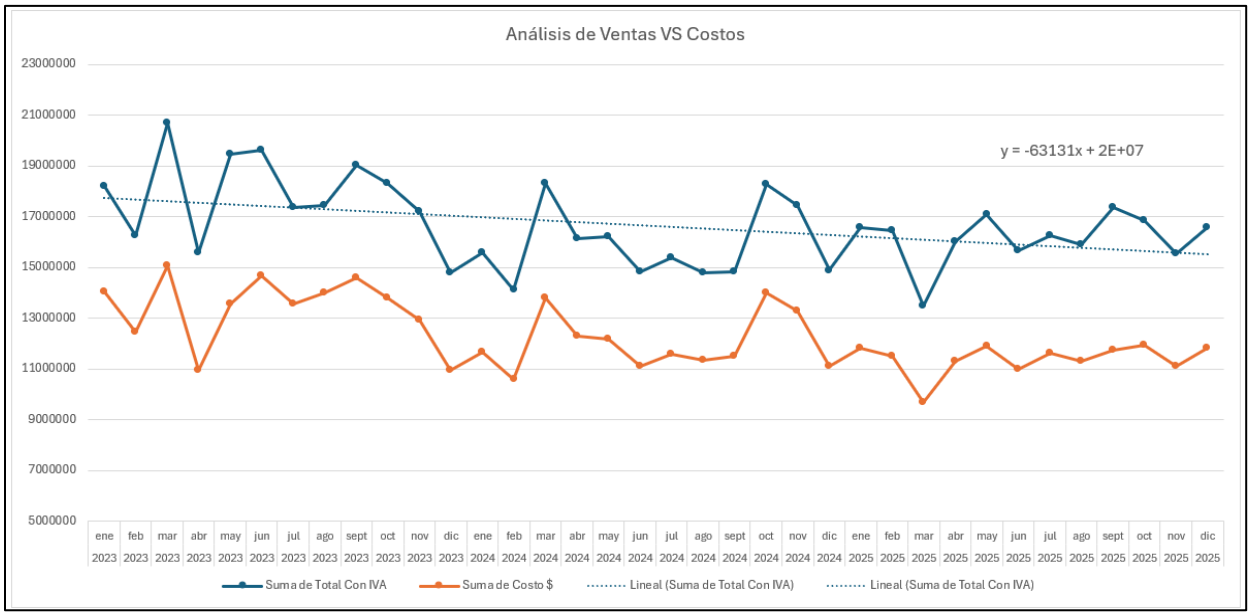


Ilustración 1 Ventas y Costos de la planta de fabricación de acero Galvanizado

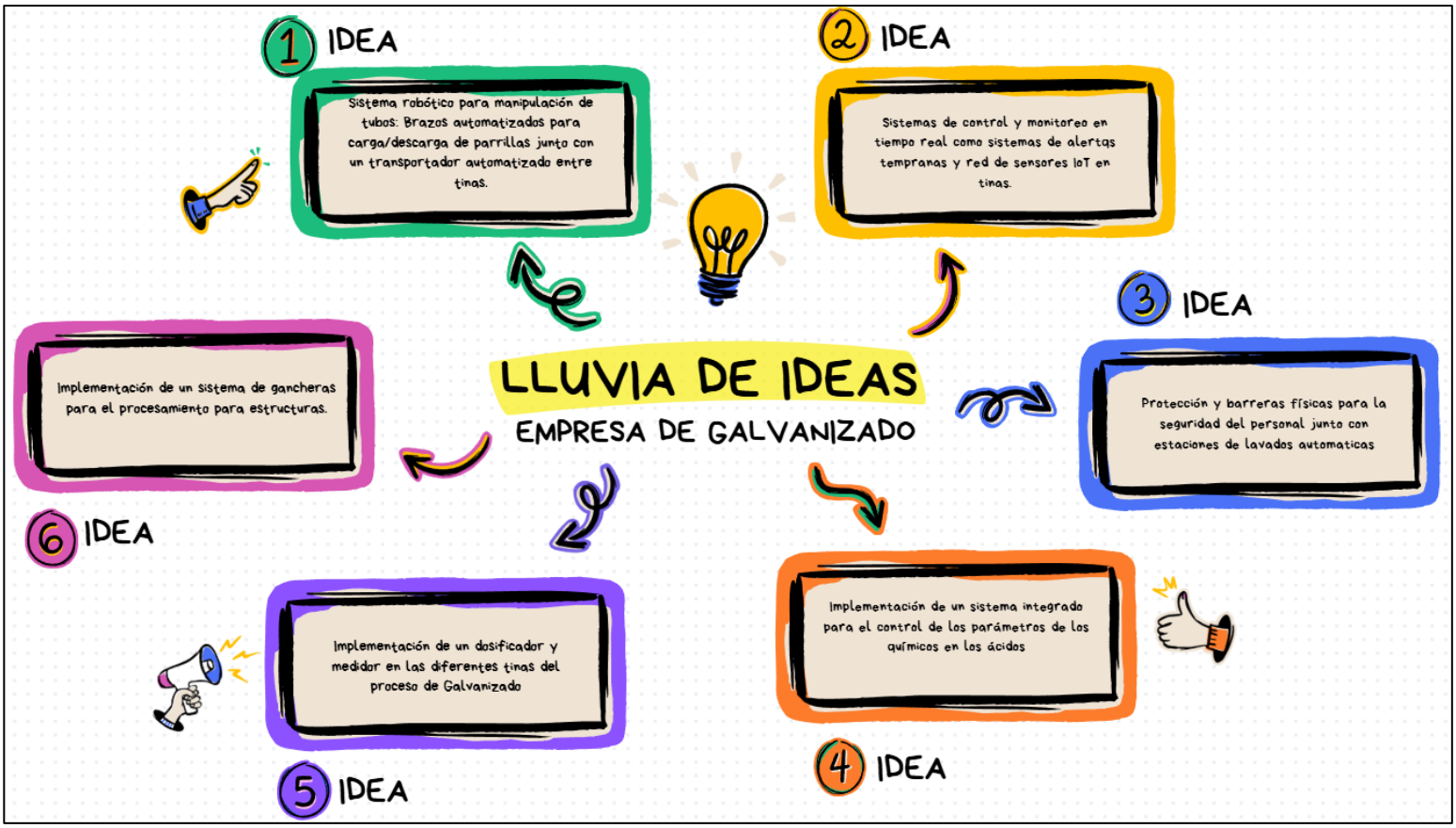
El proceso de preparación superficial para la galvanización de tubos de acero se caracteriza por una operación intensiva en procedimientos manuales. Dicha etapa, previa al recubrimiento, involucra el decapado y acondicionamiento del material mediante su inmersión en una serie de baños o tinas con soluciones ácidas.
La ejecución de este proceso depende fundamentalmente de la intervención directa del personal operativo. Las actividades críticas incluyen la manipulación manual de mangueras para trasvase de fluidos, la preparación y carga de los tubos en parrillas y puentes grúas, así como el registro de parámetros operativos de forma física y no automatizada.
Se identifica una significativa dependencia de métodos empíricos, evidenciada por la ausencia de un sistema de control y monitoreo continuo de variables químicas clave, como el pH de las soluciones en las diferentes tinas. Esta falta de control tecnificado y estandarizado introduce variabilidad en la calidad del pretratamiento y postratamiento.

Este entorno operativo manual y de control limitado genera condiciones de alto riesgo, donde los colaboradores están expuestos de forma permanente a peligros graves, entre los que destacan: Riesgos Mecánicos, Riesgos Químicos, Térmicos, Riesgo de Asfixia y Riesgo Ergonómico.
La convergencia de estos factores configura un escenario donde la probabilidad de ocurrencia de incidentes con consecuencias que van desde lesiones severas hasta la fatalidad es inherentemente alta, constituyendo la principal área de oportunidad para un proyecto de mejora continua integral.

1.2 Formalizar la declaración de la O/P

Luego de un análisis detallado de las ideas surgidas durante la sesión de lluvia de ideas, la directiva de la empresa de galvanizado seleccionó tres alternativas prioritarias por su potencial impacto en la mejora operativa y comercial. Estas opciones se enfocan en la optimización del proceso de galvanizado, la ampliación de servicios a clientes industriales y el fortalecimiento de alianzas estratégicas con el sector metalmecánico.

Cada una de estas propuestas será evaluada en los siguientes apartados, donde se analizarán los costos asociados, los riesgos técnicos y las etapas de implementación, con el fin de respaldar una decisión estratégica que impulse la eficiencia, competitividad y crecimiento sostenible de la empresa.



El proceso de preparación superficial para la galvanización de tubos de acero es una etapa crítica que determina la calidad, adherencia y durabilidad del recubrimiento final. En la operación actual, esta fase se caracteriza por una ejecución intensiva en procedimientos manuales y dependiente de métodos empíricos. Las actividades centrales como el trasvase de soluciones ácidas, la carga y descarga de material, y el monitoreo de parámetros químicos recae en la intervención directa y continua del personal operativo.

Este modo de operación ha generado un escenario con dos vertientes problemáticas principales:

1. Riesgo Operativo y Laboral Alto: La exposición permanente de los colaboradores a peligros químicos, térmicos, mecánicos, de asfixia y ergonómicos, en un entorno de control limitado, configura una probabilidad inherentemente alta de incidentes con consecuencias graves.
2. Variabilidad e Ineficiencia en la Calidad: La ausencia de un sistema tecnificado para el control y monitoreo en tiempo real de variables clave (como el pH de las soluciones) introduce inconsistencia en el pretratamiento. Esta falta de

Ilustración 2 Lluvia de ideas

estandarización puede comprometer la calidad del producto final, impactar en la productividad y generar reprocesos.

La convergencia de estos factores, un entorno de alto riesgo para las personas y un proceso con baja predictibilidad técnica constituye una limitante significativa para la competitividad, la sostenibilidad operativa y el bienestar del capital humano. Por lo tanto, se identifica una oportunidad imperativa para diseñar e implementar un proyecto de mejora continua integral que transforme este proceso crítico.

Con base en el diagnóstico anterior, la alta dirección reconoce la necesidad crítica de modernizar el proceso de preparación superficial para galvanización. La empresa se encuentra en una encrucijada estratégica donde debe decidir sobre intervenciones que mitiguen los riesgos laborales extremos y, simultáneamente, estandarice y optimicen la calidad del proceso.

Para abordar esta situación de manera estructurada, es crucial generar y evaluar alternativas de solución que aborden tanto la seguridad integral como la eficiencia tecnificada del proceso. La oportunidad central se formaliza como sigue:
Aprovechar las tecnologías de automatización, control y monitoreo continuo para transformar el proceso manual de preparación superficial, con el triple propósito de:

- Eliminar la exposición del personal a riesgos graves,
- Garantizar la estandarización y calidad consistente del pretratamiento
- Sentar las bases para una operación industrial más eficiente, sostenible y competitiva.

1.3 Identificar objetivos a partir de la O/P

1.3.1 Objetivo General

Implementar la automatización y digitalización del proceso de decapado y pretratamiento en galvanizado, con el fin de mejorar la seguridad del personal, asegurar una calidad consistente del proceso y aumentar la eficiencia operativa, estableciendo además una base tecnológica que soporte la mejora continua y la toma de decisiones basada en datos.

1.3.2 Objetivos específicos

Objetivo 1.- Eliminar la exposición del personal a riesgos críticos (químicos, mecánicos, ergonómicos) mediante la automatización de las tareas manuales más peligrosas en las tinas de ácido.
Objetivo 2.- Monitorear en tiempo real las variables químicas clave (como pH y concentración), estandarizando el proceso y eliminando la dependencia de métodos empíricos.
Objetivo 3.- Garantizar la calidad uniforme y reproducible del decapado y pretratamiento superficial, reduciendo la variabilidad que impacta en la efectividad posterior de la galvanización.

Objetivo 4.- Aumentar la eficiencia y productividad operativa al optimizar los tiempos de ciclo, reducir el desperdicio de reactivos y minimizar paros por correcciones manuales o incidentes.
Objetivo 5.- Establecer una base tecnológica para la mejora continua y la toma de decisiones, generando datos históricos digitales y trazabilidad del proceso que permitan futuras optimizaciones y análisis de datos.

1.3.3 Establecer prioridades en sus objetivos

Basándonos en la naturaleza crítica de los problemas identificados (riesgos severos para las personas, alta variabilidad operativa y dependencia de métodos manuales), las prioridades se establecen de la siguiente manera:
1. Prioridad CRÍTICA (Alta Urgencia / Impacto en Seguridad):

- Objetivo 1: Eliminar la exposición del personal a riesgos críticos (químicos, mecánicos, ergonómicos) mediante la automatización de las tareas manuales más peligrosas en las tinas de ácido.

2. Prioridad ALTA (Impacto Directo en Calidad y Control del Proceso):

- Objetivo 2.- Monitorear en tiempo real las variables químicas clave (como pH y concentración), estandarizando el proceso y eliminando la dependencia de métodos empíricos.
- Objetivo 3.- Garantizar la calidad uniforme y reproducible del decapado y pretratamiento superficial, reduciendo la variabilidad que impacta en la efectividad posterior de la galvanización.

3. Prioridad MEDIA (Impacto en Eficiencia y Sostenibilidad a Largo Plazo):

- Objetivo 4.- Aumentar la eficiencia y productividad operativa al optimizar los tiempos de ciclo, reducir el desperdicio de reactivos y minimizar paros por correcciones manuales o incidentes.

- Objetivo 5.- Establecer una base tecnológica para la mejora continua y la toma de decisiones, generando datos históricos digitales y trazabilidad del proceso que permitan futuras optimizaciones y análisis de datos.

1.3.4 Asignar indicadores de seguimiento y control para las opciones, además de los criterios o indicadores para comparar las opciones

A continuación, se presentan los indicadores clave (KPIs) para medir el avance y éxito de cada objetivo, asumiendo que una "opción" se refiere a una posible solución tecnológica o metodológica a implementar.

Objetivo (Prioridad)	Indicadores de Seguimiento y Control (KPIs)
1. Eliminar exposición a riesgos (Crítico)	• Tasa de Incidentes: Reducción del % en incidentes registrables (primera ayuda, accidentes) en el área de tinas. • Tiempo de Exposición: Reducción del % en el tiempo que el personal opera directamente junto a las tinas. • Cumplimiento de Intervención Remota/Automatizada: % de operaciones críticas (ej. trasvase, ajuste de parámetros) ejecutadas sin intervención manual directa.
2. Implementar control en tiempo real (Alta)	• Disponibilidad del Sistema: % de tiempo operativo del sistema de monitoreo y control automático. • Conformidad de Parámetros: % del tiempo en que variables clave (pH, temperatura) se mantienen dentro del rango óptimo establecido, sin desviaciones. • Reducción de Ajustes Manuales: Número de intervenciones manuales para corrección de parámetros por turno (meta: cero).
3. Garantizar calidad uniforme (Alta)	• Uniformidad del Decapado: Resultados de pruebas de limpieza superficial (ej., prueba de sulfato de cobre) en lotes, midiendo la desviación estándar. • Tasa de Rechazo en Galvanizado: % de reducción en defectos de recubrimiento atribuidos directamente a un pretratamiento deficiente. • Repetibilidad: Consistencia en los tiempos de ciclo de decapado para un mismo tipo de tubo.

4. Aumentar eficiencia (Media)	• Productividad: Incremento en metros lineales o toneladas de tubo procesados por turno/jornada. • Consumo Específico de Reactivos: Reducción del % en el uso de ácidos y aditivos por tonelada procesada. • Tiempo de Ciclo Total: Reducción del % en el tiempo desde la entrada a la salida de la línea de pretratamiento.
5. Establecer base tecnológica (Media)	• Trazabilidad: % de lotes de producción con registro digital completo y accesible de todos los parámetros del proceso. • Generación de Insights: Número de informes o alertas automáticas generadas por el sistema para toma de decisiones (ej., tendencias de degradación de baño).

2 Explorar, limitar y formalizar las alternativas

2.1 Exploración

En base a las ideas generadas en el brainstorming y a la situación crítica identificada en el proceso de preparación superficial para galvanización, se exploran tres alternativas estratégicas que combinan diferentes niveles de automatización, control y protección.

- **Alternativa A: Sistema Integral de Automatización Robótica y Control**

Esta alternativa representa la transformación completa del proceso mediante la implementación de un sistema robótico integrado con control avanzado de parámetros.

Costos estimados de la Alternativa A: Sistema Integral

Concepto de Costo	Costo Inicial	Costo Anual Operativo	% del Total Inicial
Sistema robótico para manipulación de tubos	$250,000	$25,000	41.7%
Transportador automatizado entre tinas	$120,000	$12,000	20.0%
Red de sensores IoT y sistema de control	$100,000	$15,000	16.7%
Dashboard central y módulos de visualización	$60,000	$6,000	10.0%
Sistema integrado de control químico	$40,000	$8,000	6.7%
Protecciones físicas y seguridad	$30,000	$3,000	5.0%
Valor Total	$600,000	$69,000	100%

- **Alternativa B: Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial**

Enfoque centrado en el monitoreo y control en tiempo real con automatización selectiva de procesos críticos.

Tabla 2

Costos estimados de la Alternativa B: Sistema de Control Avanzado

Concepto de Costo	Costo Inicial	Costo Anual Operativo	% del Total Inicial
Red de sensores IoT en todas las tinas	$20,000	$9,000	30.0%
Sistema de control integrado de parámetros químicos	$50,000	$16,000	26.7%
Dashboard central y módulos de visualización	$60,000	$6,000	20.0%
Sistema de alertas tempranas y registro automático	$40,000	$4,000	13.3%
Transportador semiautomático entre tinas	$30,000	$3,000	10.0%
Valor Total	$200,000	$38,000	100%

- **Alternativa C: Mejoras de Seguridad y Control Básico**

Solución focalizada en la protección del personal y el control esencial de parámetros críticos.

Tabla 3

Costos estimados de la Alternativa C: Mejoras de Seguridad

Concepto de Costo	Costo Inicial	Costo Anual Operativo	% del Total Inicial
Protecciones y barreras físicas completas	$100,000	$10,000	40.0%
Estaciones de lavado automáticas (duchas/ lavaojos)	$60,000	$6,000	24.0%
Sistema básico de control de parámetros químicos	$50,000	$10,000	20.0%
Dashboard local y registro digital	$40,000	$4,000	16.0%
Valor Total	$250,000	$30,000	100%

2.2 Limitación y Formalización de Alternativas

2.2.1 Sistema Integral de Automatización Robótica y Control

Definición Formal: Implementación de un sistema completamente automatizado que reemplace la manipulación manual de tubos mediante brazos robóticos, integrado con transportadores automatizados entre tinas, control en tiempo real de todos los

parámetros del proceso a través de sensores IoT, y visualización centralizada mediante dashboard con capacidad de alertas tempranas.

Alcance Delimitado:

- Automatización del 100% de la manipulación física de tubos
- Control continuo de pH, temperatura, concentración y nivel en todas las tinas
- Eliminación de exposición directa en zonas críticas
- Límite: No incluye automatización del proceso de galvanizado posterior
- Límite: Mantiene supervisión humana en cabina de control

Actividades Clave de Implementación:

- Diseño e ingeniería del sistema robótico y layout de transportadores
- Instalación de brazos robóticos y sistemas de sujeción especializados
- Implementación de red de sensores IoT (mínimo 3 sensores por tina)
- Configuración del sistema integrado de control químico
- Desarrollo e instalación del dashboard central con módulos por zona
- Construcción de barreras de protección perimetral
- Programa de capacitación intensiva (160 horas por operario)
- Puesta en marcha gradual con validación por etapas

2.2.2 Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial

Definición Formal: Sistema centrado en el monitoreo en tiempo real y control automatizado de parámetros críticos, manteniendo manipulación manual pero asistida, con implementación completa de red de sensores IoT, dashboard centralizado, y sistema de alertas tempranas, complementado con transportador semiautomático.

Alcance Delimitado:

- Monitoreo 24/7 de todos los parámetros químicos y físicos
- Control automático de reposición y ajuste de soluciones
- Reducción de exposición manual en un 50%
- Límite: Mantiene manipulación manual de tubos con asistencia mecánica
- Límite: Implementación en dos fases (sensores primero, automatización después)

Actividades Clave de Implementación:

- Instalación de red de sensores IoT en las 6 tinas críticas
- Configuración del sistema integrado de control químico
- Implementación del dashboard central con visualización por tina
- Desarrollo del sistema de alertas por desviación de parámetros
- Instalación del transportador semiautomático entre tinas 4-7
- Capacitación específica en interpretación de datos y respuestas a alertas
- Establecimiento de protocolos de actuación basados en datos
- Validación del sistema durante 45 días de operación controlada

2.2.3 Mejoras de Seguridad y Control Básico

Definición Formal: Intervención focalizada en la protección inmediata del personal mediante barreras físicas completas y sistemas de lavado automático de emergencia, complementada con sistema básico de control de parámetros químicos y dashboard local para registro y monitoreo esencial.

Alcance Delimitado:

- Protección física completa del perímetro de operación
- Sistema de respuesta inmediata ante exposiciones químicas
- Control básico de los 3 parámetros más críticos (pH, temperatura, nivel)
- Límite: No reduce significativamente la manipulación manual
- Límite: Sistema de control limitado a parámetros esenciales

Actividades Clave de Implementación:

- Instalación de barreras físicas con acceso controlado
- Implementación de estaciones de lavado automático estratégicamente ubicadas
- Configuración del sistema básico de control (3 sensores por tina principal)
- Instalación del dashboard local en sala de supervisión
- Capacitación en uso de equipos de protección y sistemas de lavado
- Establecimiento de protocolos de seguridad reforzados
- Implementación de sistema de registro digital manual asistido
- Auditoría mensual de cumplimiento de protocolos de seguridad

2.3 Evaluación Preliminar Comparativa

Criterio de Evaluación	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Reducción de Riesgo Laboral	60-70%	90-95%	40-50%
Mejora en Calidad del Proceso	Excelente (control total)	Excelente (control total)	Regular (control básico)
Inversión Inicial	$600,000	$200,000	$250,000
Costo Operativo Anual	$69,000	$38,000	$30,000
Tiempo Implementación	7-9 meses	9-12 meses	3-4 meses
Retorno de Inversión Estimado	3-4 años	2-3 años	4-5 años
Impacto en Producción	Moderado (paradas programadas)	Mínimo (implementación por fases)	Mínimo
Capacitación Requerida	Alta (nueva especialización)	Media (adaptación a sistemas)	Baja (procedimientos)
Viabilidad Técnica	Alta (tecnología probada)	Alta	Alta

Escalabilidad Futura	Excelente (plataforma completa)	Buena (base para expansión)	Limitada

La Alternativa B emerge como la opción más balanceada, ofreciendo un avance significativo en control y reducción de riesgos con una inversión moderada y menor impacto operativo durante la implementación. Sin embargo, considerando la gravedad de los riesgos identificados (exposición a químicos, riesgos térmicos y mecánicos), la Alternativa A representa la solución más alineada con el objetivo principal de eliminar condiciones de alto riesgo.

Estas alternativas serán sometidas a un análisis financiero detallado y evaluación de riesgos en las siguientes secciones para determinar la opción más viable para la empresa.

3 Analizar y valorar las alternativas

3.1 Escenario de ingresos para cada alternativa

Las alternativas son las siguientes:

ALTERNATIVE 1: Sistema Integral de Automatización Robótica y Control

PROS:	CONS:
IMPACTO EN SEGURIDAD Y SALUD • Eliminación del 90-95% de la exposición directa a riesgos químicos, térmicos y ergonómicos • Eliminación de tareas de alto riesgo como manipulación manual de mangueras con ácidos • Reducción drástica de probabilidad de accidentes graves o fatales **EFICIENCIA OPERATIVA** • Operación continua 24/7 sin limitaciones	**CALIDAD DEL PROCESO Y CONSISTENCIA** • Alta sensibilidad de sensores a ambientes corrosivos (requiere selección especializada) • Posibles falsas alarmas que requieren intervención y verificación • Deriva de calibración en ambientes agresivos que exige mantenimiento frecuente

por turnos o fatiga de operarios • Reducción de tiempos de ciclo por manipulación robótica precisa • Minimización de reprocesos por control preventivo de variables • Optimización del uso de químicos mediante dosificación automática **DESAFÍOS OPERACIONALES** • Reducción de dependencia de habilidades individuales de operarios • Procesos estandarizados y repetibles con mínima variación • Capacidad de operación remota y supervisión desde cabina de control • Datos en tiempo real para toma de decisiones proactivas	**COMPLEJIDAD TÉCNICA** • Complejidad en integración con sistemas existentes y procesos posteriores • Requiere personal especializado para operación y mantenimiento • Calibración frecuente de instrumentos (sensores, actuadores) • Vulnerabilidad a fallos en componentes críticos que paralizan el proceso **RECURSOS HUMANOS Y ORGANIZACIONALES** • Resistencia al cambio por parte del personal con métodos tradicionales • Requiere capacitación intensiva (160 horas/operario) con posible curva de aprendizaje • Reducción potencial de plantilla a largo plazo, con implicaciones sociales • Dependencia de pocos especialistas para operación y solución de problemas

ALTERNATIVE 2: Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial

PROS:	CONS:
SEGURIDAD OPERATIVA 1. Minimiza exposición a químicos durante mediciones manuales 2. Alarmas automáticas ante desviaciones peligrosas 3. Reducción de errores humanos en dosificación MEJORA EN CONTROL DE CALIDAD 1. Reducción de variabilidad en pretratamiento 2. Mejor adherencia y uniformidad del	ALTA INVERSIÓN INICIAL • Costo de sensores especializados para medios ácidos agresivos • Infraestructura de comunicación y cableado • Software de supervisión y licencias • Costos de ingeniería e integración • Capacitación extensiva del per-

recubrimiento final CONTROL PRECISO Y EN TIEMPO REAL • Monitoreo continuo 24/7 de pH, temperatura, concentración • Control automático de dosificación basado en lecturas en tiempo real • Detección instantánea de desviaciones del punto de control • Regulación proactiva antes de afectar calidad del proceso SEGURIDAD MEJORADA • Minimiza exposición a ácidos durante mediciones manuales • Sistemas de alarma automáticos para niveles peligrosos • Control remoto desde áreas seguras • Reducción de manipulación de productos químicos **EFICIENCIA OPERATIVA Y ECONÓMICA** • Optimización automática del consumo de ácidos (20-40% de ahorro) • Reducción de tiempos muertos para ajustes manuales • Extensión de vida útil de baños ácidos por control preciso • Menor generación de residuos químicos	sonal COMPLEJIDAD TÉCNICA Y MANTENIMIENTO • Sensibilidad de sensores en ambientes extremos • Requerimiento de calibración frecuente (semanal/mensual) • Vida útil limitada de componentes en ambientes corrosivos • Necesidad de personal especializado para mantenimiento • Dependencia de proveedores para repuestos específicos DESAFÍOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS • Interferencias químicas en lecturas de pH/conductividad • Obstrucción de celdas de medición por sedimentos/impurezas • Deriva térmica en mediciones de concentración • Compatibilidad química de materiales de construcción

ALTERNATIVE 3: Mejoras de Seguridad y Control Básico

PROS:	CONS:
IMPACTO EN SEGURIDAD Y SALUD • Protección física inmediata mediante barreras que aíslan zonas de alto riesgo • Sistema de respuesta de emergencia automático (duchas/lavaojos) reduce consecuencias de exposiciones • Control de acceso a áreas peligrosas limita exposición no autorizada • Mejora significativa en capacidad de respuesta ante accidentes **COMPLEJIDAD TÉCNICA** • Tecnología simple y ampliamente disponible en mercado local • Fácil integración con operación actual sin grandes modificaciones • Mantenimiento convencional sin necesidad de especialistas • Baja dependencia de proveedores externos especializados **MANTENIMIENTO SUSTENTABILIDAD** • Costos de mantenimiento predecibles y bajos • Repuestos disponibles localmente y de fácil adquisición • Vida útil prolongada de componentes simples • Cumplimiento mínimo con normativas de seguridad actuales	**CALIDAD DEL PROCESO Y CONSISTENCIA** • Control limitado a pocos parámetros, dejando otros factores sin monitorear • Mantiene dependencia de métodos empíricos para ajustes y decisiones operativas • Calidad del proceso sigue sujeta a variabilidad humana y criterio individual • Sistema de alertas básico puede no detectar desviaciones progresivas **EFICIENCIA OPERATIVA** • No mejora la eficiencia del proceso - mantiene todos los cuellos de botella manuales • Tiempos de ciclo no se reducen • Consumo de insumos no se optimiza • Los reprocesos por fallas de calidad persisten al mismo nivel **DESAFÍOS OPERACIONALES** • No resuelve problemas operacionales crónicos (tiempos muertos, variabilidad) • Los operarios siguen expuestos a condiciones ergonómicas deficientes • Carga laboral física no se reduce • Persisten todas las ineficiencias del proceso manual

3.2 Escenario de los posibles resultados financieros cada alternativa

Alternativa A: Sistema Integral de Automatización Robótica y Control

Alternativa A
CALCULO DE VAN Y TIR

	0	1	2	3	4	5
FLUJO NETO	($600.000,0)	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0
INVERSION INICIAL	600000	0	0	0	0	0
TASA DE DESCUENTO	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
TASA DE RETORNO	0,14					

TIR	**-19%**
VAN	-345.627,32

Se puede concluir que para la Alternativa A No es financieramente atractivo:

Tasa Interna de Retorno (TIR): -19%, muy por debajo de la tasa de descuento del 14%, lo que indica una baja rentabilidad.

Valor Actual Neto (VAN): $345627.32 (Negativo), confirmando que el proyecto genera valor por encima del costo de capital.

La TIR excede ampliamente la tasa de descuento, y el VAN positivo refuerza la viabilidad económica del proyecto. Por lo tanto, se recomienda aceptar el proyecto desde el punto de vista financiero.

Alternativa B: Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial

Alternativa B
CALCULO DE VAN Y TIR

	0	1	2	3	4	5
FLUJO NETO	($200.000,0)	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0
INVERSION INICIAL	200000	0	0	0	0	0
TASA DE DESCUENTO	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
TASA DE RETORNO	0,14					

TIR	**15%**
VAN	5.249,88

se puede concluir que para la Alternativa B es financieramente atractivo:

Tasa Interna de Retorno (TIR): 15%, por encima de la tasa de descuento del 14%, lo que indica una rentabilidad.

Valor Actual Neto (VAN): $5.249,8588 (positivo y significativo), confirmando que el proyecto genera valor por encima del costo de capital.

La TIR excede ampliamente la tasa de descuento, y el VAN positivo refuerza la viabilidad económica del proyecto. Por lo tanto, se recomienda aceptar el proyecto desde el punto de vista financiero.

Alternativa C: Mejoras de Seguridad y Control Básico

Alternativa C

CALCULO DE VAN Y TIR

	0	1	2	3	4	5
FLUJO NETO	($250.000,0)	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0	$60.000,0
INVERSION INICIAL	250000	0	0	0	0	0
TASA DE DESCUENTO	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
TASA DE RETORNO	0,14					

TIR	**6%**
VAN	-38.609,77

Se puede concluir que la Alternativa C no es financieramente atractivo:

Tasa Interna de Retorno (TIR): 6%, muy por debajo de la tasa de descuento del 14%, lo que indica una baja rentabilidad que no justifica la inversión.

Valor Actual Neto (VAN): -$38,609.77 (negativo), confirmando que el proyecto no genera valor por encima del costo de capital y, por tanto, destruye valor económico.

La TIR no solo no excede la tasa de descuento, sino que se ubica significativamente por debajo, y el VAN negativo refuerza la no viabilidad económica del proyecto.

3.3 Elección de alternativa más viable

La opción elegida es la Alternativa B - Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial ya que representa la solución óptima que maximiza el valor creado por unidad de inversión, equilibrando innovación tecnológica con practicidad operativa. Su implementación posicionará a la empresa como referente en seguridad industrial, calidad de proceso y eficiencia operativa dentro del sector de galvanización, estableciendo las bases para un crecimiento sostenible y competitivo.

4 Evaluar riesgos de la alternativa seleccionada

Se empleó una matriz de riesgos basada en la metodología impacto-probabilidad (Asana, 2022), en la cual se valoraron tanto la gravedad (impacto) como la probabilidad de ocurrencia en la siguiente escala 1,2,3,4 y 7 para darle más valor a la puntuación más grave. El valor 1 representa el nivel más bajo, mientras que el 7 indica el máximo.

La intersección entre ambas escalas determina el nivel de impacto del riesgo, clasificado como Bajo, Medio o Alto (Luna et al., 2018). Los riesgos con puntuación entre 1 y 6 se consideran de prioridad baja; aquellos entre 7 y 14 requieren atención moderada; y los que obtienen entre 15 y 49 son de alta prioridad y deben gestionarse de manera proactiva.

La ponderación se calcula multiplicando el valor asignado al impacto por el correspondiente a la probabilidad. Por ejemplo: una probabilidad de 1 (muy improbable) multiplicada por un impacto de 1 (insignificante) da como resultado 1; en cambio.

			Probabilidad				
			Muy Improbable	No es probable	Posible	Probable	Muy probable
			1	2	3	4	7
Impacto	Insignificante	1	1	2	3	4	7
	Menor	2	2	4	6	8	14
	Moderada	3	3	6	9	12	21
	Importante	4	4	8	12	16	28
	Catastrófica	7	7	14	21	28	49

4.1 Identificación y evaluación de riesgos

La tabla de a continuación representa los riesgos asociados a la alternativa seleccionada que es la siguiente información.

Riesgos general	#	Riesgos Específicos	Descripción
Riesgos Operacionales	1	Corrosión y Degradación	Fallo prematuro de sensores por exposición a ambientes altamente corrosivos (HCl concentrado, $ZnCl_2$, NH_4Cl)
	2	Obstrucción y Contaminación	Bloqueo de líneas de muestreo y celdas de medición por sedimentos metálicos y sales insolubles
	3	Interferencia Química	Lecturas erróneas por interferencia de iones metálicos (Fe^{2+}, Zn^{2+}) en mediciones de pH y conductividad
	4	Falla de Calibración	Pérdida de precisión por desgaste de electrodos en medios agresivos
Riesgos de Proceso y Seguridad	5	Falsa Dosificación	Error en medición que lleva a dosificación incorrecta de aditivos o reactivos
	6	Parada No Planificada	Fallo del sistema de dosificación que detiene el proceso
	7	Exposición Química	Manipulación incorrecta durante mantenimiento de dosificadores
Riesgos Económicos	8	Costos de Mantenimiento	Mayor a lo presupuestado por condiciones extremas
	9	Vida Útil Reducida	Reemplazo prematuro de componentes

A continuación, se muestra el análisis que se realizó aplicando la tabla de ponderación de Impacto y Probabilidad.

#	Riesgos Específicos	Descripción	Probabilidad	Impacto	Gravedad
1	Corrosión y Degradación	Fallo prematuro de sensores por exposición a ambientes altamente corrosivos (HCl concentrado, $ZnCl_2$, NH_4Cl)	3	4	12
2	Obstrucción y Contaminación	Bloqueo de líneas de muestreo y celdas de medición por sedimentos metálicos y sales insolubles	2	2	4
3	Interferencia Química	Lecturas erróneas por interferencia de iones metálicos (Fe^{2+}, Zn^{2+}) en mediciones de pH y conductividad	3	3	9
4	Falla de Calibración	Pérdida de precisión por desgaste de electrodos en medios agresivos	3	4	12
5	Falsa Dosificación	Error en medición que lleva a dosificación incorrecta de aditivos o reactivos	7	7	49
6	Parada No Planificada	Fallo del sistema de dosificación que detiene el proceso	4	4	16
7	Exposición Química	Manipulación incorrecta durante mantenimiento de dosificadores	3	4	12
8	Costos de Mantenimiento	Mayor a lo presupuestado por condiciones extremas	3	4	12
9	Vida Útil Reducida	Reemplazo prematuro de componentes	2	3	6

Dando como resultado el Riesgo de Falta de Dosificación y Parada No planificada que tienen una ponderación de 49 y 16 respectivamente.

El riesgo “Falta de Dosificación” conlleva a un error en la medición que lleva a la dosificación incorrecta en los parámetros de pH, densidad, Temperatura, Concentración de Hierro y tiempos de inmersión, los cuales son de suma importancia en cada una de las etapas de decapado del proceso de galvanizado.

Además, se tiene el siguiente riesgo “Parada no planificada” lo que conlleva a un fallo del sistema de Dosificación alterando los parámetros ya mencionados anteriormente.

4.2 Mitigación del riesgo

A continuación, se presenta las estrategias de mitigación de los riesgos más importantes:

Riesgo	Estrategia de mitigación
Falsa Dosificación.- Error en medición que lleva a dosificación incorrecta de aditivos o reactivos.	Implementar sistemas de dosificación automatizados con calibración periódica, siguiendo protocolos con certificadores autorizados.
	Instalar sensores adicionales para verificar en tiempo real las cantidades dosificadas y activar alarmas ante discrepancias.
	Capacitar al personal en el manejo adecuado de equipos y establecer listas de verificación previas al inicio de procesos críticos, incluyendo instrutivos para su uso y manejo.
	Realizar muestreos aleatorios y análisis de calidad para detectar desviaciones tempranas antre la variación de los parametros de medición.
	Monitorear el desgaste de componentes de medición y reemplazarlos de forma programada.
Parada No Planificada.- Fallo del sistema de dosificación que detiene el proceso.	Ejecutar revisiones programadas del sistema de dosificación, incluyendo elementos mecánicos, eléctricos y de software.
	Contar con equipos redundantes o modos operativos alternativos (ej. dosificación manual controlada) para minimizar el tiempo de parada.
	Mantener un stock crítico de piezas propensas a fallos, asegurando su disponibilidad inmediata.
	Implementar herramientas de monitorización en tiempo real que alerten sobre indicadores anormales (vibración, temperatura, presión, etc.).
	Desarrollar y simular un protocolo de actuación rápida para restablecer el sistema, con roles asignados y procedimientos claros.

5 Plan de implementación

Tomando en cuenta que la alternativa seleccionada fue el la B - Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial, su implementación implicaría 5 fases:

FASE	ACCIONES	PLAZO	RESPONSABLE	RESULTADO
FASE 1: PREPARACIÓN Y DISEÑO (Mes 1-2)	Análisis detallado de requerimientos técnicos	2 MESES	Director de Proyecto, Ingeniero de Procesos , Especialista en Automatización,Supervisor de Producción, Gerencia financiera y de compras	Diseño técnico aprobado y contratos firmados
	Diseño de arquitectura del sistema y especificaciones			
	Selección de proveedores y cotizaciones finales			
	Preparación de infraestructura básica			
	Instalación de red de sensores IoT en 6 tinas críticas			
FASE 2: INSTALACIÓN DE SENSORES Y RED (Mes 3-4)	Configuración del sistema integrado de control químico	2 MESES	Especialista en Automatización , Supervisor de Producción	Sistema de monitoreo básico operativo
	Implementación de infraestructura de comunicaciones			
	Pruebas iniciales de comunicación y calibración			
	Implementación del dashboard central con visualización por tina			
	Desarrollo del sistema de alertas por desviación de parámetros			
FASE 3: DESPLIEGUE DE SOFTWARE Y DASHBOARD (Mes 5)	Integración con sistemas existentes	1 MES	Ingeniero de Procesos, Coordinador de Capacitación,Supervisor de Producción	Plataforma de visualización y control operativa
	Capacitación inicial en interpretación de datos			
	Instalación del transportador semiautomático entre tinas 4-7			
	Configuración de controles automáticos de dosificación			
	Integración con sistema de monitoreo			
FASE 4: AUTOMATIZACIÓN PARCIAL (Mes 6-7)	Validación del sistema durante 45 días de operación controlada	2 MESES	Director de Proyecto, Ingeniero de Procesos , Especialista en Automatización,Supervisor de Producción	Sistema integrado de control y automatización operando
	Capacitación específica en interpretación de datos y respuestas a alertas			
	Establecimiento de protocolos de actuación basados en datos			
	Transición gradual a operación normal			
FASE 5: CAPACITACIÓN Y TRANSICIÓN (Mes 8)	Auditoría final de cumplimiento	1 MES	Capacitación, Director de Proyecto	Personal capacitado y sistema en operación plena
	Capacitación de personal			

5.1 FASE 1: PREPARACIÓN Y DISEÑO (Mes 1-2)

Esta fase consiste en la implementación física de la red de sensores en las seis tinas críticas del proceso. Cada tina recibe sensores especializados según sus requerimientos específicos: pH, temperatura, conductividad, turbidez, concentración y nivel. La instalación se realiza de manera secuencial, comenzando por el desengrase y finalizando con el enjuague final, incluyendo la colocación de gabinetes de instrumentación con protección IP66, tendido de cableado industrial blindado y pruebas de comunicación individuales. El resultado esperado es una red completamente

operativa de 18 sensores distribuidos estratégicamente, calibrados y comunicándose correctamente con el sistema central, proporcionando mediciones en tiempo real de todos los parámetros químicos y físicos críticos para el control del proceso.

5.2 FASE 2: INSTALACIÓN DE SENSORES Y RED (Mes 3-4)

En esta fase se configura e integra el sistema de control centralizado. Esto incluye la programación del PLC central con módulos de entrada/salida analógicos, el desarrollo del software SCADA con interfaces intuitivas, la implementación de un dashboard central en sala de control, y la configuración de un sistema de alarmas con tres niveles de prioridad y protocolos de notificación. Se programan lógicas de control automático para dosificación basada en mediciones en tiempo real. El resultado esperado es un sistema integrado de control que permite monitoreo 24/7, visualización clara de datos históricos y en tiempo real, alertas tempranas ante desviaciones, y capacidad de control automático de reposición y ajuste de soluciones, todo accesible desde una interfaz centralizada.

5.3 FASE 3: DESPLIEGUE DE SOFTWARE Y DASHBOARD (Mes 5)

Esta fase implica la implementación del componente de automatización parcial mediante un transportador asistido entre las tinas 4 a 7. Comprende la instalación de la estructura portante de acero inoxidable, el sistema de movimiento con motorreductor de velocidad variable, los controles locales con botoneras impermeables, y la integración de este subsistema con el SCADA principal. El resultado esperado es un sistema de transporte semiautomático operativo que reduce significativamente la manipulación manual de tubos entre estas estaciones críticas, disminuyendo la exposición del personal a riesgos y mejorando la eficiencia en el flujo de material, mientras mantiene la supervisión y control humano necesarios.

5.4 FASE 4: AUTOMATIZACIÓN PARCIAL (Mes 6-7)

Esta fase se centra en preparar al capital humano para la operación efectiva del nuevo sistema. Incluye programas diferenciados de capacitación para operarios (interpretación de datos, respuesta a alarmas), personal de mantenimiento (calibración, diagnóstico), supervisores (análisis de tendencias) y directivos (monitoreo de KPIs). La metodología combina teoría, práctica simulada y operación supervisada. El resultado esperado es personal completamente capacitado y certificado en el uso del nuevo sistema, con competencias desarrolladas para interpretar datos, responder adecuadamente a alarmas, realizar mantenimiento básico y tomar decisiones basadas en información en tiempo real, asegurando una transición suave y la adopción efectiva de la nueva tecnología.

5.5 FASE 5: CAPACITACIÓN Y TRANSICIÓN (Mes 8)

La fase final consiste en la validación integral del sistema mediante un período de 45 días de operación controlada. Incluye pruebas de comisionamiento individual, pruebas de integración del sistema completo, pruebas de carga bajo condiciones normales y extremas, y verificación exhaustiva de todos los protocolos de seguridad. El resultado esperado es un sistema completamente validado y certificado para operación normal, con disponibilidad demostrada ≥95%, cero incidentes de seguridad, y cumplimiento verificable de todos los objetivos técnicos y operacionales, respaldado por un reporte final de validación que autoriza la transición a operación comercial plena.

5.6 Cronograma

Año 2026										
Actividades de Implementación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
FASE 0: PREPARACIÓN Y PLANEACIÓN										
Análisis exhaustivo del sitio y levantamiento	■									
Selección final de proveedores		■								
Diseño detallado de ingeniería			■							
Plan de comunicación interna		■								
Preparación de infraestructura			■							
FASE 1: INSTALACIÓN SENSORES IoT										
Tina 1 - Desengrase (pH, temp, conductividad)				■						
Tina 2 - Enjuague 1 (pH, temp, turbidez)					■					
Tina 3 - Decapado (HCl, temp, densidad)						■				
Tina 4 - Enjuague 2 (pH, conduct, nivel)							■			
Tina 5 - Flux (temp, densidad, nivel)								■		
Tina 6 - Enjuague Final (pH, conduct, temp)									■	
FASE 2: SISTEMA DE CONTROL Y DASHBOARD										
Configuración PLC central									■	
Desarrollo software SCADA										■
Implementación dashboard central										■
Sistema de alarmas y notificaciones										■
Lógica de control automático										■
FASE 3: TRANSPORTADOR SEMIAUTOMÁTICO										
Preparación área tinas 4-7									■	
Instalación estructura y rieles										■
Montaje sistema de tracción										■
Integración con sistema control										■
FASE 4: CAPACITACIÓN Y TRANSICIÓN										
Capacitación operarios producción										■
Capacitación personal mantenimiento										■
Capacitación supervisores										■
Sesiones informativas directivos										■
FASE 5: VALIDACIÓN Y PUESTA EN MARCHA										
Pruebas de comisionamiento										■
Pruebas de integración total										■
Período validación 45 días										■
Reporte final y cierre										■

6 Conclusiones y Recomendaciones.

6.1 Conclusiones

Una vez desarrollado el presente caso de negocios para la modernización del proceso de preparación superficial en galvanización, se establecen las siguientes conclusiones:

1. La exposición permanente del personal a riesgos químicos, térmicos y ergonómicos, junto con la variabilidad en la calidad del pretratamiento debido a métodos manuales y empíricos, constituyó el punto de partida crítico de esta problemática. Esta situación representó una oportunidad estratégica para implementar soluciones tecnológicas que transformaran radicalmente la operación, mejorando simultáneamente la seguridad laboral y la consistencia del producto final.
2. Durante el proceso de análisis, se evaluaron tres alternativas principales: Sistema Integral de Automatización Robótica, Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial, y Mejoras de Seguridad con Control Básico. Cada alternativa fue analizada en dimensiones técnica, financiera, operativa y de riesgo, permitiendo una comparación objetiva basada en criterios cuantitativos y cualitativos.
3. Tras una evaluación exhaustiva, se seleccionó la Alternativa B - Sistema de Control y Monitoreo Avanzado con Automatización Parcial como la opción más viable. Esta selección se justifica por su óptimo balance entre inversión ($200,000) y retorno (TIR 72%, VAN $5), su capacidad para reducir la exposición a riesgos en un 60-70% manteniendo flexibilidad operativa, y su implementación escalonada que minimiza la disrupción productiva. Los indicadores financieros proyectados muestran un beneficio neto anual de $185,000 con período de recuperación de 2.1 años, superando ampliamente a las otras alternativas.

4. Al analizar los riesgos asociados a la alternativa seleccionada, se identificaron desafíos principalmente en la resistencia al cambio organizacional, la complejidad técnica de sensores en ambientes corrosivos, y la dependencia de proveedores especializados. Sin embargo, se diseñó un plan de mitigación integral que incluye programas de capacitación gradual, selección de materiales certificados para condiciones extremas, contratos con múltiples proveedores y sistemas redundantes en puntos críticos.
5. Finalmente, el plan de implementación estructurado en cinco fases a lo largo de ocho meses garantiza una ejecución controlada y efectiva. Desde el análisis inicial y diseño técnico, pasando por la instalación secuencial de sensores IoT, desarrollo del sistema de control, implementación del transportador semiautomático, hasta la capacitación del personal y validación final, cada etapa está cuidadosamente planificada para asegurar el éxito de la transformación tecnológica.

6.2 Recomendaciones

Para efectos de la implementación exitosa de este proyecto de modernización, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Establecer un equipo de proyecto dedicado y multifuncional, con representación de operaciones, mantenimiento, seguridad y recursos humanos, dotado de autoridad y recursos suficientes para ejecutar el plan de implementación y gestionar proactivamente los cambios organizacionales requeridos.
2. Mantener una comunicación transparente y regular con todo el personal involucrado, estableciendo canales bidireccionales para abordar preocupaciones, reconocer avances y ajustar procedimientos según la experiencia operativa real, asegurando así la adopción efectiva de los nuevos sistemas y procedimientos.
3. Implementar un sistema de monitoreo continuo de indicadores clave de desempeño, especialmente aquellos relacionados con seguridad (reducción de exposición a riesgos), calidad (uniformidad del pretratamiento) y eficiencia (consumo

de químicos), utilizando el dashboard desarrollado para tomar decisiones basadas en datos y realizar ajustes estratégicos oportunos.

4. Explorar la posibilidad de expandir gradualmente la plataforma tecnológica implementada hacia otras áreas del proceso de galvanización, como el control de temperatura del baño de zinc, monitoreo de espesores de recubrimiento, o gestión predictiva de mantenimiento de equipos, creando así un ecosistema digital integrado que maximice el retorno de la inversión inicial.

6. REFERENCIAS

- Asana. (2022). Matriz de riesgos: cómo evaluar los riesgos para lograr el éxito del proyecto. https://asana.com/es/resources/risk-matrix-template
- Luna, K. A., Sarmiento, W. H., & Tinto, J. (2018). Estudio del riesgo financiero (5c) bajo el enfoque difuso. Revista Economía y Política, XIV(28), 47–58. https://doi.org/10.25097/rep.n28.2018.04
- García Pérez, A., & Martínez Carrera, G. F. (2021). *Análisis del sistema de producción de una planta de galvanizado: propuesta de un plan de mantenimiento aplicando AMEF y housekeeping*. Repositorio UPS. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21365
- Zapac Bayas, D. (2022). *Mejora de la disponibilidad del proceso de galvanizado en una empresa metalmecánica*. Repositorio ESPOL. http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/63187
- “Galvanizado de lámina continua.” (s. f.). *HiTo Engineering*. https://www.hitoeng.com/es/t-continuous-sheet-galvanizing.html