

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES



COORDINACIÓN DE INGENIERÍAS

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.

“**TEMA:** DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN, PARA LA PLANTA SALINERA NICASAL S.A. KM 65 DE LA CARRETERA NUEVA A LEÓN, EMPALME IZAPA – MANAGUA. DURANTE EL PERÍODO COMPRENDIDO DE JUNIO A NOVIEMBRE 2025.”

ELABORADO POR

Br. Maryan José Mercado Arguello Ingeniería Industrial

Br. Amílcar Osmar Moraga Miranda Ingeniería Industrial

Br. Marcos José Estrada Caballero Ingeniería Industrial

TUTOR TECNICO y METODOLÓGICO:

Ing. Altamirano Ramos Maxwell Enrique

LEÓN, NOVIEMBRE DE 2025.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES



COORDINACIÓN DE INGENIERÍAS

Proyecto de graduación para optar al título de grado en ingeniería industrial.

AVAL DEL TUTOR

Grado Académico, Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos tiene a bien:

CERTIFICAR

Que: El proyecto de graduación con título “**DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN, PARA LA PLANTA SALINERA NICASAL S.A. KM 65 DE LA CARRETERA NUEVA A LEÓN, EMPALME IZAPA – MANAGUA. DURANTE EL PERÍODO COMPRENDIDO DE JUNIO A NOVIEMBRE 2025.**”, elaborado por los estudiantes Br. Maryan José Mercado; Br. Amílcar Osmar Moraga Miranda; Br. Marcos José Estrada Caballero Ingeniería, ha sido dirigido por el suscrito.

Al haber cumplido con los requerimientos académicos y metodológicos del proyecto de graduación, damos de conformidad a la presentación de dicho trabajo de culminación de estudios para proceder a su lectura y defensa, de acuerdo con la normativa vigente del Regimiento de Régimen Académico Estudiantil y Reglamento de Investigación, Innovación y Transferencia.

Para que se conste donde proceda, se firma la presente en UCC LEON a los 9 días del mes de noviembre del año 2025.

Fdo.: Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos

Tutor Técnico Y metodológico

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*



DEDICATORIA

Este trabajo con profunda gratitud a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica. A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y su constante apoyo moral y espiritual, pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.

A nuestros docentes de la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC-León), quienes con paciencia y dedicación sembraron en mí el compromiso por la excelencia ingenieril y el pensamiento crítico. Su guía ha sido esencial para desarrollar este proyecto con responsabilidad y rigor.

También el esfuerzo de mis compañeros de estudio y colegas de trabajo, con quienes compartí experiencias, aprendizajes y desafíos que enriquecieron mi camino académico. Su colaboración y amistad han sido valiosas en cada paso de este proceso.

Finalmente, a todas las personas que creen en la transformación industrial de Nicaragua, y que apuestan por la innovación como motor de desarrollo. Este proyecto es un pequeño aporte a esa visión de futuro.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por permitirme culminar este proyecto con dedicación y perseverancia.

Agradecimiento a Universidad de Ciencias Comerciales (UCC), por brindarnos la formación ingenieril y técnica y académica que ha sido base fundamental en el desarrollo de este trabajo. A los docentes del área ingeniera industrial, por compartir sus conocimientos, fomentar el pensamiento crítico y acompañarme con orientación constante durante mi proceso formativo.

Extendemos la gratitud a la empresa NICASAL S.A., por facilitar información técnica relevante y permitir el análisis de sus procesos productivos, lo cual fue esencial para la elaboración de esta propuesta de automatización.

A nuestros compañeros de clase y colegas de profesión, por su colaboración, ideas y apoyo en los momentos de mayor exigencia. Su compromiso y compañerismo han sido parte integral de este logro.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*



INDICE

Índice de Contenido

Contenido	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	3
1.1.- Antecedentes y Contexto del Problema.....	3
1.1.1 Antecedentes Internacionales	3
1.1.2 Antecedentes Nacionales.....	4
1.1.3 Antecedentes locales	5
1.1.4 Contexto del Problema.....	5
1.2.- Objetivos.....	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
1.3.- Descripción del Problema.....	8
1.4.- Justificación	8
1.5.- Alcance y limitaciones	9
1.5.1 Alcances.....	9
1.5.2 Limitaciones	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1.- Marco conceptual	11
2.2.- Marco legal	17
2.3.- Marco contextual, institucional.....	25
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	34
3.1.- Tipo de Proyecto	34
3.1.1-Según la procedencia del capital, según el sector, según el ámbito o perfil profesional, según su orientación o según su área de influencia.	35
3.2.- Métodos de estudio y unidades de análisis	36
3.3.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3.4.- Confiabilidad y validez de los instrumentos	43
CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO SITUACIONAL	45
4.1 Diagnóstico	45
4.1.1-Macro y Micro localización	47
4.1.2-Characterización del Entorno (natural o construido)	48
Infraestructura, área construida, área verde.	48



4.1.3-Aspectos socioeconómicos / Aspecto económico: actividad de la empresa/ Actividades económicas.....	50
CAPÍTULO V: ESTUDIOS DE INGENIERIA	53
Estudio de mejora en operaciones.	53
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS (Estructura de acuerdo al tipo de proyecto y fases del mismo).....	66
1. Introducción	66
1.1 Propósito y Alcance.....	66
1.2 Objetivos	66
Optimización de Procesos	67
2.1 Reducción de Desperdicios y Pérdidas	67
2.2 Mejora de Eficiencia Energética	67
2.3 Uso Eficiente de Materias Primas	68
Cambio de Tecnologías	69
3.1 Investigación y Adopción de Tecnologías Limpias	69
3.2 Reemplazo de Equipos Contaminantes	71
6.2Análisis de Riesgos (según los identificados)	73
6.3Presupuesto.....	76
6.4 Cronograma de ejecución.....	77
6.5 Propuesta	78
Sistema de Automatización.....	78
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	82
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
ANEXOS O APENDICES	88

Índice de Tablas

Tabla 1 Marco legal.....	17
Tabla 2 Diagrama de Pareto	55
Tabla 3 datos permitirán crear gráficos de control	57
Tabla 4 Datos Realistas y Estadísticas Clave	60
Tabla 5 muestra representativa del dataset sintético generado para reflejar el comportamiento real del proceso de secado en la planta salinera	61
Tabla 6 Resultados del Análisis de Correlación	62
Tabla 7 operación en la planta, basados en los parámetros reales del proceso:	63
Tabla 8 Aplicación en las siete zonas operativas de NICASAL S.A.	65
Tabla 9 Datos de Consumo Energético.....	67
Tabla 10 Riesgos Identificados y Mitigación	73



Tabla 11 Resumen de Mejoras	76
Tabla 12 Resumen de Inversión (USD).....	76
Tabla 13 cronograma	77
Tabla 14 Beneficios Técnicos Esperados	80

Índice de Figuras

Figura 1 Logo IPSA.....	26
Figura 2 Logo MARENA	29
Figura 3 Logo NICASAL S.A.	30
Figura 4 Organigrama funcional empresa NICASAL S.A	32
Figura 5 Logo UCC	33
Figura 6 Macro localización.....	47
Figura 7 Micro localización (Empalme Izapa 150 mts al norte. León)	48
Figura 8 Diagrama causa-efecto (Ishikawa).....	54
Figura 9 Gráfico de Pareto de fallas en equipos críticos de NICASAL S.A.	55
Figura 10 Gráficos de control X y R para Temperatura, Humedad y Concentración en el proceso de NICASAL S.A.....	58
Figura 11 Histogramas de consumo energético en secado y calderas: comparación entre operación manual y automatizada.	59
Figura 12 Comparación directa de la distribución de consumo energético en secado y calderas.....	60
Figura 13 Análisis de correlación entre temperatura, humedad final y tiempo de secado en el proceso de secado de sal de NICASAL S.A.....	62
Figura 14 Proceso Manual con Cuellos de Botella.....	64
Figura 15 Diagrama de proceso automatizado de NICASAL S.A. (automatización con PLC y sensores, cuellos de botella eliminados).	74
Figura 16 Análisis comparativo de parámetros operacionales, eficiencia, intervención manual, personal requerido y retorno de inversión (ROI).....	75
Figura 17 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 2	79
Figura 18 Diagrama de Flujo	81
Figura 19 Diagrama de Flujo del Proceso de Producción Sal Seca Código: SGIA-PHACCP-01-01 Versión: 02.....	95

Índice de Anexos

Anexo 1 light off de Nicasal S.A. planta industrial	88
Anexo 2 light off de Nicasal S.A. áreas de estudios	89
Anexo 3 Almacenamiento de Sal de Campo (Toriles).....	90
Anexo 4 Tolva de recepción de materia Prima.....	90
Anexo 5 Alimentador Vibrante de la tolva de recepción	91
Anexo 6 Representación del Sistema de Limpieza	91
Anexo 7 Pila N° 1 y Bomba Centrifuga.....	92
Anexo 8 Celdas de Prelavado	92
Anexo 9 Celdas de lavado	93
Anexo 10 Fotografía del Imán	93



Anexo 11 Fotografía del Lavador	94
Anexo 12 Centrifuga.....	94
Anexo 13 Molino de martillo	95
Anexo 14 Fotografía interna del molin.....	95
Anexo 15 Representación del flujo de boquillas interno del dosificador.....	95
Anexo 16 Tanques dosificadores	95
Anexo 17 Conductos de flujo de aire.....	95
Anexo 18 Representación de válvulas	95
Anexo 19 flujo de entrada al secador	95
Anexo 20 Limpieza del imán	95
Anexo 21 Imán Magnético.....	95
Anexo 22 Bocas superiores para salida de vapor y partículas finas	95
Anexo 23 Tubería de salida de vapor.....	95
Anexo 24 Representación del ciclón	95
Anexo 25 Silos de almacenamiento	95
Anexo 26 Vibradores Excéntrico	95
Anexo 27 Almacenamiento en silos de sal gruesa y fina.	95
Anexo 28 Mezclador de doble Helicoide	95
Anexo 29 Cintas internas y externas.....	95
Anexo 30 Área de bodega.....	95
Anexo 31 Depósito de sal	95
Anexo 32 Calidad	95
Anexo 33 Dirección del modulo.....	95
Anexo 34 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 2	95
Anexo 35 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 3	95
Anexo 36 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 4	95
Anexo 37 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 5	95
Anexo 38 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 11	95



RESUMEN

Este proyecto de graduación, titulado "Diseño del Sistema de Automatización en el Área de Producción, para la Planta Salinera NICASAL S.A.", tiene como objetivo principal diseñar un sistema automatizado que permita optimizar el proceso de producción de sal, mejorando su trazabilidad y eficiencia.

Actualmente, la planta de producción de NICASAL S.A. presenta una serie de problemas, incluyendo la dependencia de procesos manuales, la falta de un sistema de control y monitoreo, un consumo energético elevado y la variabilidad en la calidad del producto final.

Para solucionar estos problemas, se propone la implementación de un sistema de automatización que integra sensores, Controladores Lógicos Programables (PLC), un sistema SCADA y variadores de frecuencia. Esta solución busca mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y elevar la calidad del producto.

Se proyecta que la implementación de este sistema resultará en un aumento del 25% en la eficiencia global de la planta y una reducción del 60% en la cantidad de personal necesario para la operación. Además, se espera una mejora significativa en la trazabilidad del producto, un ahorro energético anual de más del 45% y un retorno de la inversión (ROI) en 2.75 años.



ABSTRACT

This graduation project, titled "Design of the Automation System in the Production Area, for the Salt Plant NICASAL S.A.", has as its main objective to design an automated system that will optimize the salt production process, improving its traceability and efficiency.

Currently, the production plant at NICASAL S.A. presents a series of problems, including dependence on manual processes, the lack of a control and monitoring system, high energy consumption, and variability in the final product's quality.

To solve these issues, the implementation of an automation system is proposed, which integrates sensors, Programmable Logic Controllers (PLC), a SCADA system, and frequency drives. This solution aims to improve operational efficiency, reduce costs, and enhance product quality.

The implementation of this system is projected to result in a 25% increase in the plant's overall efficiency and a 60% reduction in the number of personnel required for operation. Additionally, a significant improvement in product traceability, an annual energy saving of over 45%, and a return on investment (ROI) within 2.75 years are expected.

INTRODUCCIÓN

La industria salinera en Nicaragua constituye un sector estratégico para el abastecimiento de productos derivados de la sal, tanto para el consumo humano como para aplicaciones industriales. En este contexto, la empresa NICASAL S.A., ubicada en el km 65 de la carretera nueva a León, empalme Izapa Managua, se ha consolidado como una de las principales productoras del país, cumpliendo con estándares de calidad y garantizando la seguridad alimentaria de sus productos.

No obstante, la creciente demanda del mercado y la necesidad de optimizar los recursos productivos plantean nuevos desafíos. La dependencia de procesos manuales y la limitada incorporación de sistemas de control restringen la capacidad de la empresa para alcanzar niveles superiores de productividad, eficiencia energética y trazabilidad. Estas limitaciones representan una oportunidad de mejora a través de la automatización de procesos.

El presente proyecto de graduación tiene como propósito diseñar un sistema de automatización en el área de producción de NICASAL S.A., con el fin de optimizar los flujos de trabajo, mejorar la eficiencia operativa, fortalecer la trazabilidad de datos y garantizar un uso racional de los recursos energéticos. Para ello, se plantea un enfoque metodológico basado en el diagnóstico de la situación actual, el análisis de tiempos y movimientos, el estudio de ingeniería y la propuesta de soluciones tecnológicas viables.

La investigación no solo responde a una necesidad empresarial, sino que también constituye un aporte académico e industrial al desarrollo del país, al promover la innovación tecnológica en la producción de sal y alinear a NICASAL S.A. con las exigencias de competitividad nacional e internacional.

Organiza en ocho capítulos:

- **Capítulo I:** Planteamiento de la investigación, donde se describen antecedentes, contexto del problema, objetivos, justificación, alcances y limitaciones.
- **Capítulo II:** Marco referencial, que fundamenta teórica, conceptual, legal e institucionalmente la propuesta.
- **Capítulo III:** Diseño metodológico, en el que se presentan los métodos, técnicas de recolección de datos y plan de análisis empleados.
- **Capítulo IV:** Diagnóstico situacional, que expone la caracterización de la industria, el análisis macro y microambiental y la evaluación interna de Nicasal S.A.
- **Capítulo V:** Estudios de ingeniería, donde se detalla el diseño técnico de la propuesta, la selección de componentes y sistemas, así como la estimación de costos y factibilidad.
- **Capítulo VI:** Análisis de resultados, que evalúa la viabilidad técnica y económica de la propuesta, así como su impacto operativo y ambiental.
- **Capítulo VII:** Conclusiones, en el que se sintetizan los hallazgos principales del estudio y se valoran sus aportes a la modernización de la planta.
- **Capítulo VIII:** Recomendaciones, que ofrece lineamientos prácticos para la implementación de la propuesta y proyecciones para futuras mejoras.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1.- Antecedentes y Contexto del Problema

1.1.1 Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, se encontró un primer trabajo titulado: Mejorando el rendimiento de una planta de producción de sal mediante nanofiltración en dos etapas con cristalización intermedia de yeso, realizado por Turek et al. (Polonia, 2022) y publicado en la revista MDPI. Su objetivo fue reducir el consumo energético y los costos operativos en una planta salinera de evaporación. Para ello, se rediseñó el proceso incorporando un sistema de nanofiltración doble con cristalización de yeso, evaluando su viabilidad técnico-económica. Los resultados mostraron una disminución significativa en el consumo de energía y una mejora en el rendimiento del sistema. La conclusión principal fue que la preconcentración del licor salino antes del evaporador permite mitigar cuellos de botella energéticos. Aunque se aplicó a aguas residuales mineras, sus hallazgos son extrapolables. En el caso de NICASAL S.A., se recomienda evaluar pretratamientos y sistemas de control en línea de conductividad e índice de ensuciamiento (SDI) para optimizar procesos y reducir costos.

Un segundo trabajo fue: Desempeño energético y de producción del proceso de secado de sal en Indonesia, realizado por Kusumah et al. (Indonesia, 2021) y publicado en la Revista Internacional de Tecnología, se enfocó en auditar el rendimiento energético del proceso de secado de sal. Mediante mediciones de consumo, análisis de balances de materia y energía, y evaluación de la eficiencia de los equipos, los autores identificaron pérdidas térmicas significativas y áreas de mejora en el control de temperatura y flujo de aire. Aunque se trata de una investigación de alcance local, sus resultados son relevantes para la planta NICASAL S.A., ya que respaldan la necesidad de incorporar sensores de temperatura, humedad y flujo, además de implementar lazos de control PID (Proporcional Integral Derivativo) para estabilizar la humedad final del producto. Estas acciones contribuirían directamente a la optimización del proceso, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo posibles desperdicios energéticos.

Se encontró como tercer antecedente una propuesta con título “Sistema automatizado para la obtención de sal en la región de Azuero, Panamá. Este estudio, desarrollado por Yessica Sáez, Paola Fuentes, Lissette Peña Batista y Omar Sánchez en la Universidad Tecnológica de Panamá en diciembre de 2020, aborda la necesidad de optimizar y mejorar la producción de sal en la región. La investigación se centra en la implementación de tecnologías que permitan automatizar el proceso de recolección y procesamiento de sal, buscando aumentar la eficiencia, reducir los costos y mejorar la calidad del producto final. Este proyecto representa una contribución significativa al sector productivo de Azuero, promoviendo la innovación tecnológica en la industria local.)

1.1.2 Antecedentes Nacionales

A nivel nacional se identificó el estudio Propuesta de un sistema automatizado para la obtención de sal en Azuero, desarrollado en 2020 por investigadores de la Universidad Tecnológica de Panamá, orientado a mejorar la eficiencia salinera mediante automatización. Paralelamente, un informe técnico de la UNI diagnosticó el desempeño energético de la planta NICASAL S.A., revelando ineficiencias en secadores, calderas y ventilación. Se propusieron mejoras en control y mantenimiento para reducir el consumo energético. Ambos antecedentes respaldan la viabilidad de aplicar automatización y control avanzado en contextos locales. En particular, justifican la incorporación de sensores de temperatura, humedad y flujo, así como lazos de control PID y estrategias de gestión energética en el diseño propuesto para NICASAL.

A nivel nacional se identificó el estudio Propuesta de un sistema automatizado para la obtención de sal en Azuero, desarrollado en 2020 por la Universidad Tecnológica de Panamá, enfocado en mejorar la eficiencia salinera mediante automatización. También se encontró un segundo trabajo institucional de 2007, disponible en el Repositorio de la UNAN, que evaluó las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en NICASAL S.A. Mediante revisión documental y entrevistas, se analizaron procesos, control higiénico-sanitario y cumplimiento normativo, destacando fortalezas en infraestructura y debilidades en trazabilidad. Este antecedente es clave, ya que el

sistema de automatización propuesto debe integrarse al marco BPM existente. En conjunto, ambos estudios respaldan la incorporación de sensores, lazos de control PID y sistemas SCADA para garantizar trazabilidad, eficiencia energética y cumplimiento regulatorio en NICASAL.

1.1.3 Antecedentes locales

En la búsqueda de antecedentes locales, se revisaron los repositorios de la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC) en León y Managua, sin encontrar estudios específicos sobre automatización industrial aplicada a procesos como los de NICASAL S.A. Esta ausencia se atribuye a limitaciones comunes en regiones en desarrollo, como escasez de recursos, infraestructura básica y baja especialización técnica. No obstante, el contexto agroindustrial de León presenta potencial para adoptar tecnologías de automatización. Aunque la documentación pública es limitada, existen experiencias nacionales incipientes en monitoreo, control automático y uso de PLC, que respaldan la viabilidad de implementar mejoras en la planta NICASAL.

1.1.4 Contexto del Problema

La planta salinera NICASAL S.A., ubicada en el kilómetro 65 de la carretera nueva a León, empalme Izapa Managua, desempeña un papel clave en la producción nacional de sal. No obstante, enfrenta limitaciones debido a la operación semi manual, para el área de producción, integrando sensores especializados, controladores lógicos programables y plataformas de monitoreo continuo. Esta condición genera ineficiencias en el uso de energía térmica y eléctrica, variabilidad en la humedad final del producto y escasa trazabilidad de los parámetros de operación, lo cual afecta la eleva los costos productivos.

La dependencia de la intervención manual, limita la capacidad de la empresa para responder con rapidez a las demandas del mercado. Además, la ausencia de sistemas automáticos de control en equipos como calderas, secadores y ventiladores ocasiona pérdidas energéticas significativas y restringe la posibilidad de implementar programas de mejora continua.

Los antecedentes internacionales y nacionales revisados muestran que la automatización de procesos salineros contribuye a optimizar recursos, reducir pérdidas y mejorar la calidad final del producto. Sin embargo, en el contexto local aún es incipiente la incorporación de tecnologías como sensores, controladores PID y sistemas SCADA. Por ello, resulta prioritario diseñar un sistema de automatización para NICASAL S.A. que permita integrar estas herramientas, fortalecer el cumplimiento de Buenas Prácticas de Manufactura y garantizar mayor eficiencia, calidad y sostenibilidad en la producción.

1.2.- Objetivos

Objetivo General

Diseñar el sistema de automatización en el área de producción, para la planta salinera NICASAL S.A. km 65 de la carretera nueva a León, empalme Izapa Managua. durante el período comprendido de junio a noviembre 2025.

Objetivos Específicos

- Valorar el estado actual de los procesos en cada uno de los sistemas de producción a través de un Diagnóstico.
- Realizar un estudio de ingeniería detallado, aplicando metodologías como el estudio de tiempos para analizar y optimizar los flujos de trabajo en el área de producción.
- Interpretar los resultados alcanzados a través de las distintas metodologías, de manera que permitan identificar cabalmente los problemas en el proceso, así como los niveles de rendimientos, mínimos y máximo.
- Presentar la propuesta del sistema de automatización para la planta Nicasal S.A.

1.3.- Descripción del Problema

La planta salinera NICASAL S.A., desarrolla sus operaciones de producción bajo lineamientos que cumplen con los estándares de calidad exigidos para el sector. Sin embargo, gran parte de sus procesos aún dependen de la intervención manual, lo que restringe la capacidad de alcanzar mayores niveles de productividad y eficiencia.

La falta de un sistema automatizado impide el monitoreo en tiempo real de variables críticas como temperatura, humedad y flujo, lo que dificulta optimizar los recursos energéticos y reducir los tiempos de operación. Del mismo modo, la ausencia de trazabilidad digital en los registros de producción limita la posibilidad de analizar datos históricos, implementar estrategias de mejora continua y responder de manera ágil a las exigencias del mercado.

En este sentido, aunque la empresa mantiene estándares de calidad aceptables, la dependencia de procesos manuales se convierte en el principal obstáculo para incrementar la competitividad. Por ello, se plantea la necesidad de diseñar un sistema de automatización que permita optimizar los flujos de trabajo, elevar la productividad y consolidar a NICASAL S.A. como un referente en innovación dentro de la industria salinera nacional.

1.4.- Justificación

El proyecto de diseño de automatización para el área de producción en la planta salinera NICASAL S.A, cumple con los estándares de calidad exigidos por la industria, sin embargo, enfrenta limitaciones que restringen su capacidad productiva. La dependencia de procesos manuales y la ausencia de un sistema automatizado integral reducen la eficiencia operativa, dificultan la trazabilidad de los registros y limitan el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos y humanos.

En este contexto, el diseño de un sistema de automatización en el área de producción se justifica por varias razones. En primer lugar, permitirá incrementar la productividad, optimizando los flujos de trabajo y reduciendo los tiempos de operación. En segundo

lugar, contribuirá a un uso más eficiente de la energía y de los equipos, disminuyendo desperdicios y favoreciendo la sostenibilidad. En tercer lugar, fortalecerá la trazabilidad y confiabilidad de los datos, lo cual es clave para la toma de decisiones, la mejora continua y el cumplimiento de normas nacionales e internacionales de calidad e inocuidad.

Desde la perspectiva académica, este proyecto representa una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial, aportando una propuesta innovadora con impacto directo en el sector productivo del país. Asimismo, a nivel empresarial, dotará a NICASAL S.A. de herramientas modernas para incrementar su competitividad, consolidando su posición en el mercado y contribuyendo al desarrollo industrial de Nicaragua.

1.5.- Alcance y limitaciones

1.5.1 Alcances

El alcance de este proyecto se define por los entregables y resultados esperados, los cuales se detallan a continuación:

- **Informe analítico y estratégico**, que incluye un Análisis FODA, un Análisis de la Ruta Crítica (CPM) y un Análisis de Pareto sobre las fallas de los equipos críticos.
- **Diagrama de Ishikawa (causa efecto)** para identificar las causas raíz de las fallas en bombas, sensores y secadores, estructurado bajo el modelo de las 6M (Mano de obra, Maquinaria, Medición, Medio ambiente, Material y Método).
- **Diseño del Sistema de Automatización**, a través de un documento técnico que presenta la propuesta de diseño del sistema, detallando su arquitectura, componentes clave y especificaciones técnicas, propias de los procesos analizados.

1.5.2 Limitaciones

Durante el desarrollo de los estudios el equipo de trabajo, se encontró con varios tipos de limitaciones, entre ellas, se encuentran:

- **Limitación de tiempo y acceso al personal:** El cronograma del proyecto es ajustado, lo que podría limitar el tiempo disponible para la recolección de datos. Además, la colaboración del personal de la planta está sujeta a sus responsabilidades operativas, lo que podría restringir el tiempo de entrevistas y encuestas necesarias para el diagnóstico.
- **Limitaciones logísticas y ambientales:** Acceso limitado o dificultoso a la planta para el equipo de trabajo, afectando la frecuencia y duración de visitas técnicas y las Condiciones climáticas adversas o eventos sociales que interrumpen el avance del proyecto.
- **Acceso a la información:** La disponibilidad de datos históricos y registros de fallas de los equipos (bombas, sensores y secadores) depende del sistema de gestión de la empresa. La falta de registros completos, datos inconsistentes o el acceso limitado a la información relevante podría afectar la precisión del diagnóstico y la validez del Análisis de Pareto y del Diagrama de Ishikawa.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.- Marco conceptual

Extracción de Sal

La extracción de sal es el proceso manual mediante el cual los trabajadores recolectan cristales de sal formados tras la evaporación del agua, utilizando herramientas básicas como rastrillos, palas o carretillas (FAO, 2021). Este método implica una alta dependencia de la fuerza humana, lo que introduce variabilidad en la calidad, cantidad y tiempo de recolección del producto, limitando la capacidad de escalamiento del proceso productivo. La automatización de las etapas posteriores a la cristalización en Nicasal permitirá optimizar el manejo del material recolectado, reduciendo la dependencia del trabajo manual, mejorando los tiempos de operación y elevando la consistencia del producto final.

Pozas de Evaporación

Las pozas de evaporación son infraestructuras construidas para contener salmuera o agua de mar con el fin de facilitar el proceso de evaporación solar. Generalmente se diseñan con materiales locales como arcilla o piedra, y forman parte del sistema artesanal de producción salinera (FAO, 2016). Aunque su diseño es económico y de bajo impacto ambiental, las pozas no permiten automatización directa sin modificaciones estructurales. No obstante, su uso puede mantenerse como etapa previa a procesos automatizados si se integran sensores y controles adecuados. La propuesta de automatización en Nicasal contempla conservar la infraestructura básica de las pozas, pero complementarlas con sensores de nivel, salinidad y temperatura que permitan monitorear el proceso en tiempo real, facilitando decisiones más informadas sin alterar el método base.

Calidad de la Sal

La calidad de la sal se refiere al conjunto de propiedades físicas y químicas que determinan la aptitud de la sal para el consumo humano o uso industrial, como pureza, tamaño de grano, contenido de humedad y minerales (Codex Alimentarius, 2020). La

producción artesanal puede ofrecer sal de alta calidad sensorial, pero con variabilidad en sus características físico-químicas, lo cual es una desventaja en mercados que exigen estandarización. La automatización en Nicasal permitirá controlar las variables críticas de proceso, asegurando una producción de sal uniforme y de alta calidad que cumpla con los estándares nacionales e internacionales.

Concentración Salina

La concentración salina se refiere a la cantidad de sal disuelta en un volumen de agua, expresada comúnmente en gramos por litro (g/L) o como porcentaje (%), que determina el punto de saturación y cristalización (Perry & Green, 2008). Controlar la concentración salina es esencial para optimizar la formación de cristales y maximizar el rendimiento productivo. En procesos manuales, esto se realiza de forma empírica, aumentando la variabilidad. Integrar sensores de salinidad en las pozas de evaporación permitirá a Nicasal controlar este parámetro de forma precisa, mejorando el rendimiento de cristalización y asegurando la calidad del producto final.

Métodos de Filtrado

Los métodos de filtrado se refieren al conjunto de técnicas utilizadas para remover impurezas sólidas o residuos orgánicos presentes en la salmuera antes de iniciar el proceso de evaporación (FAO, 2021). Un filtrado inadecuado puede afectar la calidad de la sal obtenida, introduciendo contaminantes o disminuyendo su pureza. La implementación de sistemas automatizados de filtrado en Nicasal garantizará una materia prima más limpia, incrementando la pureza de la sal producida y reduciendo pérdidas por impurezas.

Cristalización

La cristalización, un proceso físico-químico donde los iones disueltos en una solución saturada forman una estructura sólida ordenada al alcanzar la sobresaturación por evaporación o enfriamiento (Perry & Green, 2008), es fundamental en la producción de sal. En los procesos manuales, el control de este fenómeno se basa en la observación empírica, lo que genera variabilidad en la granulometría y pureza del

producto final. Para Nicasal, la automatización del monitoreo de la concentración salina y la temperatura es crucial, ya que permitirá controlar con mayor precisión las condiciones de cristalización, lo que se traduce en una reducción de pérdidas, una mejora significativa en la calidad del producto y una mayor repetibilidad en su proceso industrial.

Producción Artesanal de Sal

En contraste con la automatización, la producción artesanal de sal es un método ancestral que se basa en la extracción manual a partir de recursos como la salmuera y el agua de mar. Utiliza procesos simples como la evaporación solar, la cristalización y la recolección manual, sin intervención de maquinaria (FAO, 2021). Este método destaca por su sostenibilidad y por el uso de conocimientos tradicionales y recursos locales, aunque sus limitaciones técnicas afectan la eficiencia, la escalabilidad y la uniformidad del producto. Comparar la producción artesanal con la propuesta de automatización para Nicasal resalta los beneficios de incorporar tecnología industrial, lo que representa un paso hacia la modernización. A su vez, se busca mantener los principios sostenibles que caracterizan al método artesanal.

Automatización Industrial

La automatización industrial, definida por W. Bolton (2015) como el uso de sistemas de control como computadoras y robots para manejar procesos y maquinarias, busca incrementar la eficiencia, calidad y seguridad operativa. Este concepto, que enfatiza la integración de tecnologías para supervisar y controlar operaciones en tiempo real, se implementará en el presente estudio como un sistema integrado de sensores, actuadores, un controlador lógico programable (PLC) y software de supervisión (SCADA). Este sistema está diseñado para monitorear y regular de manera continua las variables físico-químicas críticas en las siete zonas de la planta NICASAL S.A., garantizando así un control preciso y continuo del proceso productivo.

Variables Físico Químicas Críticas

Las variables físico químicas críticas son parámetros que impactan directamente la calidad y consistencia del producto final, y cuya variación fuera de los límites aceptables puede afectar el proceso productivo (Montgomery, 2017). Para el proceso de producción de sal, los parámetros clave incluyen la concentración de salmuera, la temperatura, la granulometría y la humedad. En este estudio, la definición operacional se centra en medir y controlar el porcentaje de salinidad (%), la temperatura de secado (°C) y el tamaño de partícula para garantizar un producto final homogéneo y que cumpla con las normativas de calidad.

Sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)

Según John W. Webb y Ronald A. Reis (2013), un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es una herramienta de control industrial que permite supervisar y adquirir datos en tiempo real. Su función principal es facilitar la visualización, el control y el registro de procesos industriales complejos. En el marco de este proyecto, la implementación del SCADA irá más allá de la teoría. Se utilizará para permitir la visualización gráfica y el control remoto automatizado de las variables detectadas por los sensores de la planta. Esto no solo facilitará una toma de decisiones más rápida y precisa, sino que también permitirá un mantenimiento predictivo más eficiente.

Control de Procesos

El control de procesos es una disciplina que utiliza técnicas para regular automáticamente las variables de un proceso industrial, minimizando las desviaciones y mejorando la estabilidad del sistema (Seborg, Edgar & Mellichamp, 2010). Su implementación conlleva múltiples beneficios: reduce la variabilidad y los errores humanos a través del monitoreo y ajuste continuo, mejora la eficiencia y productividad al mantener las condiciones óptimas del proceso, incrementa la seguridad y confiabilidad al corregir anomalías rápidamente, y facilita el cumplimiento de normativas de calidad y ambientales gracias a un control riguroso y documentado. En el contexto de este estudio, el control de procesos se entenderá como el conjunto de

algoritmos y dispositivos que permitirán ajustar el flujo de materia prima, los tiempos de operación y el control de temperatura en la planta, garantizando así la calidad y estabilidad durante la producción.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una estrategia que se basa en la monitorización continua del estado y desempeño de los equipos para anticipar fallas y planificar intervenciones antes de que ocurran averías (Mobley, 2002). Esta estrategia ofrece múltiples beneficios, como una mayor disponibilidad operativa, lo que se refleja en indicadores como la alta disponibilidad de equipos clave. También ayuda a reducir los tiempos muertos y las fallas inesperadas, ya que se pueden predecir los problemas mediante el monitoreo y análisis continuos. En consecuencia, mejoran los indicadores MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo medio para reparar), lo que no solo extiende la vida útil de los equipos, sino que también garantiza una respuesta más rápida y eficiente en caso de ser necesaria una reparación.

Optimizar OEE

El mantenimiento predictivo no solo mejora la disponibilidad operativa y reduce los tiempos muertos, sino que también tiene un impacto directo en la rentabilidad, al optimizar la OEE (Eficiencia General del Equipo), lo que refleja una operación más eficiente y con un control de la productividad más efectivo. Además, esta estrategia disminuye significativamente las interrupciones y los costos de mantenimiento correctivo, al pasar de un enfoque reactivo a uno planificado y basado en datos reales. En el caso de Nicasal S.A., se propone la aplicación del mantenimiento predictivo, apoyado en el análisis de los datos recogidos por sensores, con el objetivo de reducir los paros no programados en equipos críticos como bombas y sistemas de filtrado.

Normas ISO de Calidad, Medio Ambiente e Inocuidad

Definición teórica: Estos estándares internacionales (ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000) establecen requisitos para sistemas de gestión que aseguran calidad,

protección ambiental y seguridad alimentaria en procesos industriales (Organización Internacional de Normalización, 2015).

Definición operacional: Se contempla que el diseño y propuesta de automatización cumplan con estos estándares, facilitando la implementación de manuales de calidad, ambiental e inocuidad, que garantizan procesos conformes y auditables en la planta. Los logros obtenidos en NICASAL S.A. mediante la implementación de las normas ISO de Calidad, Medio Ambiente e Inocuidad son los siguientes:

Mejora en la gestión de la calidad, evidenciada en un control más sistemático y documentado de los procesos, con reducción de errores y mayor consistencia en la producción, gracias a la adopción de ISO 9001:2015.

Optimización del desempeño ambiental, incluyendo prácticas de ahorro de energía y una gestión más eficiente de residuos, apoyada en los requisitos de ISO 14001:2015, lo que contribuye a minimizar el impacto ambiental de la planta.

Fortalecimiento de la inocuidad alimentaria, mediante el cumplimiento riguroso de controles higiénicos y la implementación de sistemas automatizados para la vigilancia y control de puntos críticos, alineado con normas como BPM/BPF, HACCP y la preparación para certificaciones como FSSC 22000.

Reducción de la falla humana y aumento de la trazabilidad, logrando procesos auditables y documentables que aseguran la calidad y seguridad del producto.

Cumplimiento normativo nacional e internacional, que favorece la competitividad de la empresa y la aceptación de sus productos en diferentes mercados.

Respuesta rápida y eficiente ante incidencias, gracias al monitoreo en línea y sistemas automatizados que mejoran la capacidad de reacción y control.

2.2.- Marco legal

Tabla 1 Marco legal

Ley	Art.	Importancia
<p>Ley No. 862: Ley Creadora del Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) de Nicaragua, publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 128 del 10 de julio de 2014.</p>	<p>Art. 2 Este artículo establece el objeto de la ley, que es crear el IPSA como una entidad con personalidad jurídica y patrimonio propio, encargada de la aplicación, supervisión y control de la normativa en materia de sanidad agropecuaria. Específicamente, el IPSA tiene la potestad de:</p> <p>Dictar normas de sanidad agropecuaria.</p> <p>Fiscalizar la producción y el transporte de productos agropecuarios.</p> <p>Controlar los riesgos sanitarios.</p> <p>Reglamentar el uso de productos y equipos que</p>	<p>La vinculación de tu proyecto con la Ley No. 862 es crucial si tu sistema de automatización se implementa en una empresa del sector agropecuario, especialmente si la automatización impacta la producción, el manejo de productos o la inocuidad.</p> <p>Cumplimiento Normativo: Si el sistema de automatización maneja, procesa o interactúa con productos agropecuarios, debe cumplir con los estándares de sanidad e inocuidad establecidos por el IPSA. Tu proyecto debe considerar, por ejemplo, los materiales de los equipos (sensores, bombas, secadores) para evitar la contaminación.</p>

Ley	Art.	Importancia
	<p>puedan afectar la sanidad agropecuaria.</p>	<p>Mitigación de Riesgos Sanitarios: El diseño del sistema debe incluir medidas de control para prevenir la propagación de enfermedades o plagas y para asegurar que la producción se mantenga libre de contaminantes. La automatización puede ayudar a minimizar la intervención humana, reduciendo riesgos de contaminación.</p> <p>Registro y Fiscalización: El proyecto podría incluir funcionalidades para la trazabilidad de los productos, lo cual es un requisito clave del IPSA. Un sistema automatizado puede registrar datos de producción, temperatura, humedad, etc., que son fundamentales para la fiscalización y para demostrar el cumplimiento</p>

Ley	Art.	Importancia
		de las normativas de sanidad.
<p>Ley de Protección de Datos Personales (Ley 849), publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 182 del 26 de septiembre de 2013.</p>	<p>Aunque la ley no tiene un solo artículo que abarque toda la protección, varios artículos son relevantes. El Artículo 5 de la Ley No. 849 es clave, ya que establece los principios de protección de datos que se deben seguir. Estos incluyen:</p> <p>Principio de Licitud y Lealtad: Los datos deben ser tratados de manera legal y justa.</p> <p>Principio de Finalidad: La información se debe recolectar con un propósito específico, explícito y legítimo.</p> <p>Principio de Calidad: Los datos deben ser exactos, completos y actualizados.</p> <p>Principio de Seguridad: Se deben adoptar</p>	<p>La vinculación del proyecto con la Ley de Protección de Datos Personales (Ley 849) es crucial, especialmente si el sistema de automatización recolecta y procesa información de los empleados para fines de operación, capacitación o seguimiento de desempeño.</p> <p>Seguridad y Confidencialidad de la Información: El diseño del sistema de automatización debe integrar medidas de seguridad cibernética (como las establecidas en la ISA/IEC 62443) para proteger no solo los equipos, sino también cualquier dato personal asociado. Esto garantiza la confidencialidad y la</p>

Ley	Art.	Importancia
	<p>medidas técnicas y organizativas para proteger los datos contra el acceso no autorizado, la alteración, la pérdida o la destrucción.</p>	<p>integridad de la información del personal.</p> <p>Cumplimiento Legal: El proyecto asegura que la recolección, uso y almacenamiento de datos personales (por ejemplo, registros de acceso, desempeño del personal o capacitación) se realice de acuerdo con los principios de la ley. Esto incluye obtener el consentimiento del personal y asegurar que los datos no se usen para fines distintos a los declarados.</p> <p>Responsabilidad Corporativa: Al alinear el proyecto con la Ley 849, la empresa demuestra un compromiso con la privacidad y los derechos de sus empleados. Esto no solo mitiga riesgos legales, sino que también fortalece la confianza del</p>

Ley	Art.	Importancia
		<p>personal en el nuevo sistema.</p> <p>Uso Ético de los Datos: La aplicación de esta ley asegura que el proyecto maneje los datos del personal de manera ética y responsable, promoviendo un ambiente de trabajo transparente y justo.</p>
<p>NOM-020-STPS-2011: Norma Oficial Mexicana, expedida por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), que establece los requisitos para regular la seguridad en centros de trabajo con sistemas automatizados. Esta norma es crucial para garantizar que las operaciones con equipos robotizados o automatizados se realicen sin riesgos para el personal.</p>	<p>El Artículo 5 de la NOM-020-STPS-2011 es de particular importancia para este proyecto. Este artículo establece las obligaciones del patrón para garantizar la seguridad en los procesos automatizados. Menciona que el patrón está obligado a:</p> <p>Realizar un análisis de riesgos para identificar los peligros y los riesgos inherentes al uso de sistemas automatizados.</p>	<p>Garantía de Seguridad: El proyecto establece los requisitos de seguridad y salud para el diseño, instalación, mantenimiento y uso del sistema de automatización. El diseño propuesto no solo busca la eficiencia operativa, sino también la prevención de accidentes laborales, cumpliendo así con las directrices de la norma.</p> <p>Cumplimiento Legal: El proyecto obliga a la</p>

Ley	Art.	Importancia
	<p>Implementar medidas de seguridad para prevenir accidentes, lo cual incluye el diseño, la instalación y el mantenimiento adecuados de los equipos.</p> <p>Capacitar al personal que opera, mantiene o supervisa los sistemas automatizados, asegurándose de que conozcan los riesgos asociados y las medidas de seguridad.</p>	<p>empresa a realizar evaluaciones de riesgos (como el FODA, la Ruta Crítica y el Diagrama de Ishikawa), una exigencia clave de la NOM.</p> <p>Capacitación del Personal: El proyecto contempla la necesidad de proporcionar capacitación a los empleados. La automatización no solo requiere un nuevo sistema, sino también un personal capacitado para operarlo y mantenerlo de manera segura. Esto fortalece la propuesta y asegura su sostenibilidad a largo plazo.</p>
<p>Norma ISA/IEC 62443: Esta es una serie de estándares de ciberseguridad para sistemas de control y automatización industrial (IACS, por sus siglas en inglés).</p>	<p>La serie de normas ISA/IEC 62443 no se organiza por artículos como una ley nacional, sino por secciones y partes que cubren diferentes aspectos de la ciberseguridad industrial.</p>	<p>La vinculación del proyecto con la norma ISA/IEC 62443 es de vital importancia, ya que define los requisitos y procesos para implementar y mantener sistemas de control y automatización</p>

Ley	Art.	Importancia
<p>Publicada por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), esta serie de normas no es una ley gubernamental en sí misma, pero es un estándar de la industria globalmente reconocido. La adopción de esta norma es fundamental para proteger los sistemas de control industrial contra amenazas cibernéticas.</p>	<p>Específicamente, el marco completo de la norma aborda los retos inherentes a la protección de los IACS en entornos industriales. Esto se logra a través de:</p> <p>ISA/IEC 62443-2-1: Esta parte se enfoca en la gestión de programas de seguridad y detalla cómo establecer un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI) para entornos industriales.</p> <p>ISA/IEC 62443-3-3: Esta parte especifica los requisitos de seguridad del sistema y los niveles de seguridad que deben cumplir los IACS.</p>	<p>industrial (IACS) electrónicamente seguros. Específicamente:</p> <p>Protección Cibernética: El proyecto debe incluir medidas de seguridad cibernética en el diseño del sistema de automatización para proteger los equipos críticos (bombas, sensores y secadores) contra ciberataques, manipulación de datos o acceso no autorizado. Esto es esencial para garantizar la continuidad operativa y la integridad de los procesos.</p> <p>Mitigación de Riesgos: Al adoptar los principios de la norma, el proyecto puede identificar y mitigar los riesgos cibernéticos desde la fase de diseño. Esto incluye la segmentación de redes, la autenticación de usuarios</p>

Ley	Art.	Importancia
		<p>y el monitoreo de la seguridad.</p> <p>Confiabilidad y Continuidad Operativa: Un sistema automatizado seguro es un sistema confiable. La implementación de los requisitos de la norma ISA/IEC 62443 garantiza que el sistema no se vea comprometido por fallos de seguridad, lo que contribuye directamente a la continuidad y eficiencia de las operaciones de la planta.</p> <p>Estándar de Calidad: La adhesión a esta norma internacional demuestra que el proyecto se ha desarrollado bajo los estándares más altos de seguridad y calidad de la industria, lo que aumenta su valor y su potencial de éxito.</p>

Fuente: Google Leyes, Artículo

2.3.- Marco contextual, institucional

Marco Contextual

La producción de sal en Nicaragua se da principalmente mediante evaporación solar artesanal, lo que genera una variabilidad en calidad y volumen. NICASAL representa una excepción al incorporar procesos industriales, pero enfrenta desafíos en la supervisión continua y el control preciso de sus siete zonas productivas. Por tanto, el presente proyecto se propone mejorar este escenario mediante el diseño de un sistema de automatización técnico-operativo, con base en sensores, controladores programables y plataformas digitales que respondan en tiempo real.

Empresa Salineras de Nicaragua S.A., comercialmente conocida como Salinsa, que opera en Managua, a unos 10 km al oeste de las salinas de Salinas Grandes, aunque la información pública es limitada, se sabe que la empresa forma parte del sector manufacturero dedicado a la producción y comercialización de sal comestible e industrial en Nicaragua, ubicación geográfica Managua, camino a Salinas Grandes, lo que facilita el acceso a materia prima y distribución logística. Su actividad es procesar sal dirigida a los segmentos de consumo humano y uso industrial, similar a los rubros atendidos por Nicasal S.A.

La planta salinera NICASAL S.A., ubicada en el occidente de Nicaragua, se ha consolidado como una de las principales industrias procesadoras de sal del país, gracias a su tecnología importada desde España y su capacidad instalada para producir hasta cinco toneladas por hora. A pesar de contar con maquinaria de alta calidad, sus operaciones aún dependen en gran medida de la intervención manual, lo que limita la eficiencia, aumenta el riesgo de errores humanos y reduce la capacidad de control sobre variables físico químicas críticas como la salinidad, la humedad y la temperatura.

La empresa está constituida por la Cooperativa COSERMUSALNIP y la Corporación AGRICORP, ha sido reconocida por su infraestructura moderna y por cumplir con las

normas de inocuidad alimentaria vigentes. Sin embargo, en el actual entorno competitivo industrial nacional e internacional se requieren procesos cada vez más automatizados y trazables que permitan elevar la calidad del producto, reducir costos operativos y cumplir con estándares de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental.

Marco Institucional

Figura 1 Logo IPSA



Fuente: IPSA

IPSA

El Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) fue creado mediante la Ley No. 862, publicada en La Gaceta No. 91 del 20 de mayo de 2014, con el propósito de normar e implementar las políticas sanitarias y fitosanitarias en Nicaragua, específicamente en producción agropecuaria, acuícola, pesquera y forestal (ipsa.gob.ni). Se trata de un ente descentralizado, con personalidad jurídica, autonomía técnica, administrativa y patrimonio propio, adscrito directamente a la Presidencia de la República.

Estructura Orgánica del IPSA

Según el perfil institucional informado por el IICA/ACHIPIA, el IPSA se organiza en seis direcciones especializadas que permiten su operación técnica en todo el territorio nacional

Dirección Nacional de Laboratorios

Encargada de coordinar la red de laboratorios dedicados al diagnóstico microbiológico, residuos químicos, calidad de semilla, fitosanitario y zoonosario, contribuyendo a la sanidad animal, vegetal y la inocuidad de insumos.

Dirección de Salud Animal

Responsable de las acciones de vigilancia, control y prevención de patologías en animales, asegurando la sanidad en la producción ganadera y de productos de origen animal.

Dirección de Sanidad Vegetal y Semillas

Encargada de la protección de cultivos y semillas frente a plagas y enfermedades, garantizando la sanidad de la producción vegetal.

Dirección de Cuarentena Agropecuaria

Vigilancia y control en fronteras y puntos de entrada para impedir el ingreso de plagas o patógenos que pongan en riesgo la producción nacional.

Dirección de Trazabilidad Pecuaria

Encargada de implementar sistemas que aseguren la trazabilidad del ganado desde su origen hasta su destino en el mercado, fortaleciendo la cadena de control.

Dirección de Inocuidad Agroalimentaria

Responsable de inspecciones higiénico sanitarias, supervisión de procesos agroindustriales, certificación HACCP y control de inocuidad de productos para consumo nacional y exportación (ipsa.gob.niachipia.gob.cl)

Además, en la cima de la estructura se encuentra el director ejecutivo, quien lidera todas las direcciones y coordina la implementación de políticas sanitarias a nivel nacional; su nombre actual es Ricardo José Somarriba Reyes

Artículo 1 Creación

Créase el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria, adscrito a la Presidencia de la República, como un ente descentralizado, con personalidad jurídica propia, con una relación de jerarquía desde el punto de vista orgánico vinculado a ésta, con autonomía funcional, técnica y administrativa, patrimonio propio, duración indefinida y plena

capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones en materia de su competencia y que será sucesor legal sin solución de continuidad de la Dirección General de Protección y Sanidad Agropecuaria (DGPSA), creada por la Ley No. 291, “Ley Básica de Salud Animal y Sanidad Vegetal”, publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 136 del 22 julio de 1998.

Art. 2 Objeto

El Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria tendrá por objeto facilitar, normar, regular e implementar las políticas y acciones sanitarias y fitosanitarias que conlleven o se deriven de la planificación, normación y coordinación de las actividades nacionales vinculadas a garantizar, mantener y fortalecer la sanidad agropecuaria, acuícola, pesquera y forestal.

Misión

Garantizar y fortalecer la protección Fito - zoosanitaria e inocuidad de la producción agropecuaria, pesquera y forestal, así como el intercambio comercial, mediante las actividades de planificación, normación y coordinación en coherencia con las políticas, las acciones sanitarias y fitosanitarias, para los usuarios y productores agropecuarios, pesqueros, forestal y de alimentos de origen animal y vegetal, de manera oportuna y confiable.

Visión

Ser la institución nacional rectora, reconocida a nivel internacional, por su confiabilidad, capacidad técnica y valores humanos en la preservación y control de la sanidad animal y vegetal, la calidad, higiene e inocuidad de los productos agropecuarios, insumos y alimentos de su competencia, contribuyendo al desarrollo de Nicaragua, procurando al bienestar general, con sustentabilidad en todos sus procesos.

MARENA

Figura 2 Logo MARENA



Fuente: MAREANA

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) es la institución del Estado de Nicaragua encargada de dirigir y ejecutar las políticas, planes y normativas ambientales del país. Fue creado mediante la Ley No. 217, “Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales”, publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 105 del 6 de junio de 1996, y sus reformas posteriores. Su misión es garantizar la conservación, protección, uso sostenible y restauración de los recursos naturales, así como la gestión integral del medio ambiente en beneficio de la sociedad y las generaciones futuras.

MARENA tiene personalidad jurídica propia y autonomía técnica, administrativa y financiera. Se encuentra bajo la rectoría del Gobierno de Nicaragua, y trabaja en coordinación con otras entidades estatales, gobiernos locales, organizaciones comunitarias y sector privado.

Estructura Orgánica

Según su organigrama institucional y normativa vigente, MARENA se organiza de la siguiente manera:

Ministra o ministro: Máxima autoridad que define políticas ambientales nacionales y representa al ministerio ante organismos nacionales e internacionales.

Viceministerios: Apoyan la gestión en áreas estratégicas, tales como biodiversidad, recursos naturales y cambio climático.

Direcciones Generales: Entre ellas destacan:

Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad: Conservación de flora, fauna y áreas protegidas.

Dirección General de Calidad Ambiental: Regulación de descargas, emisiones, evaluaciones de impacto ambiental y licencias ambientales.

Dirección General de Cambio Climático: Políticas de mitigación, adaptación y gestión de riesgos ambientales.

Dirección General de Planificación y Desarrollo Institucional: Diseño de estrategias y proyectos ambientales.

Dirección General Administrativa y Financiera: Manejo de recursos institucionales. Delegaciones Territoriales: Oficinas regionales y departamentales que ejecutan y supervisan las políticas ambientales en el territorio.

Áreas Técnicas Especializadas: Encargadas de temas específicos como gestión forestal, manejo de recursos hídricos, áreas protegidas, educación ambiental y cooperación internacional.

NICASAL S.A.

Figura 3 Logo NICASAL S.A.



Fuente: Nicasal S.A.

Empresa NICASAL S.A. Historia de la Empresa

La empresa NICASAL S.A. surge como una iniciativa impulsada por el Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional a través del Instituto de Desarrollo Rural (IDR), con el objetivo de fortalecer a los productores de sal del Occidente de Nicaragua. En este contexto, el IDR, mediante su Programa de Reactivación Productiva Rural (PRPR), financió parcialmente la adquisición de una moderna planta procesadora de sal refinada, diseñada para operar bajo estrictas normas de higiene y calidad, incorporando micronutrientes esenciales como el yodo y el flúor para combatir enfermedades como el bocio y las caries dentales.

La planta, ubicada a 200 metros del empalme de Izapa sobre la carretera vieja a León, representó una inversión total de dos millones y medio de dólares. De este monto, el IDR aportó medio millón de dólares, cantidad igual fue aportada por los salineros organizados, y el resto fue cubierto por capital privado. La infraestructura incluye maquinaria de última generación importada de España, considerada la más avanzada en su tipo en toda Centroamérica.

NICASAL S.A. es administrada por la Cooperativa de Servicios Múltiples de Salineros de Nicaragua (COSEVMUSALNIP), integrada por 72 pequeños, medianos y grandes productores de sal de la región occidental. Esta inversión no solo impulsó el sector salinero, sino que también generó empleo permanente para más de 100 personas, quienes fueron capacitadas por especialistas españoles y cubanos. Asimismo, benefició directamente a las 72 familias socias de la cooperativa, mayoritariamente pequeños productores.

La materia prima sal cruda es extraída por los salineros de comunidades costeras como Salinas Grandes, Las Mulas, Rincón de los Bueyes y Miramar, de donde proviene aproximadamente el 90% de la sal consumida a nivel nacional.

La planta cuenta con una capacidad instalada para producir 5 toneladas de sal refinada por hora, lo que representa una producción mensual superior a 50,000 quintales, cumpliendo con todas las normativas higiénico-sanitarias vigentes. Los equipos y

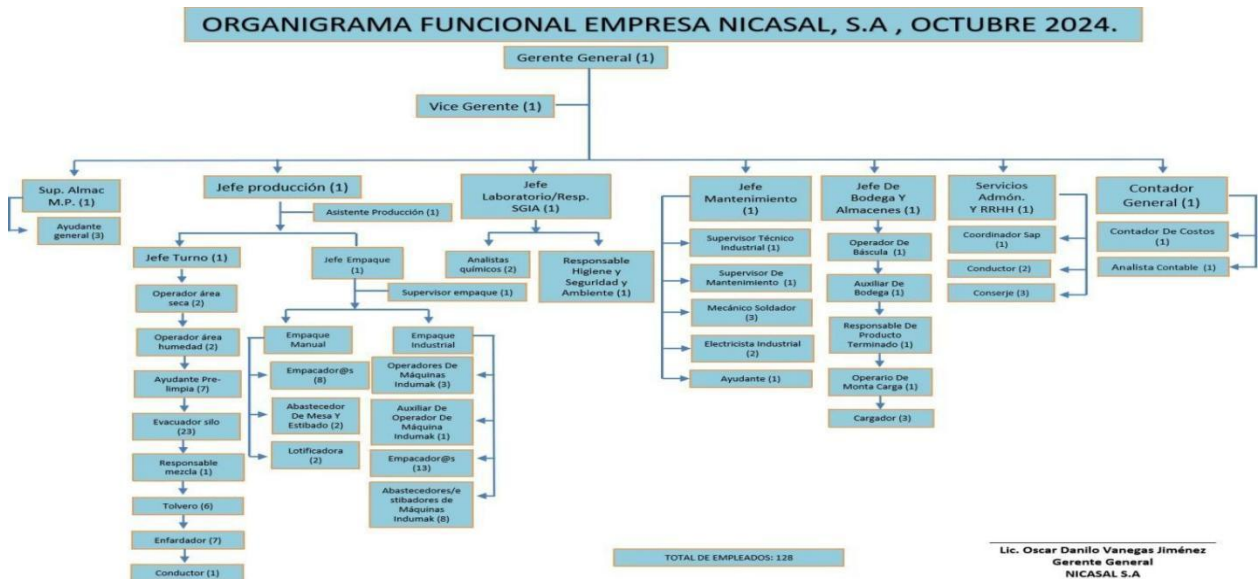
maquinarias, certificados bajo normas ISO, representaron una inversión de 450 mil dólares, complementados con 50 mil dólares destinados a la creación de un laboratorio especializado, dotado de personal técnico altamente capacitado. Gracias a estas condiciones, la planta garantiza un producto con una pureza superior al 99%, certificado y aprobado por el Ministerio de Salud para el consumo humano.

La estrategia de distribución contempla un convenio con AGRICORP, empresa reconocida como distribuidora nacional de arroz, para la comercialización de la sal bajo la marca ATLÁNTIDA. La operación de la planta inició con más de 700,000 quintales de sal cruda almacenados, provenientes de las fincas de los productores asociados, asegurando así un suministro continuo de materia prima para su procesamiento y comercialización.

Nicasal, una empresa constituida en sociedad por AgriCorp y una cooperativa de productores de sal, ha sido capaz de sortear cuatro crisis consecutivas social, económica, sanitaria y fiscal lo que le permitió alcanzar una mayor cuota de mercado, (hasta el 70%), a la vez que mantenía intacta su tasa de crecimiento anual.

ORGANIGRAMA FUNCIONAL EMPRESA NICASAL, S.A, OCTUBRE 2024.

Figura 4 Organigrama funcional empresa NICASAL S.A



Fuente: Empresa Nicasal S.A.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES.

Figura 5 Logo UCC



Adicionalmente, esta investigación se lleva a cabo en la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC), institución académica comprometida con la excelencia educativa y la formación de profesionales en diversas disciplinas. La UCC tiene como propósito contribuir al desarrollo del país a través de la generación de conocimientos y la aplicación de soluciones innovadoras en el ámbito industrial y empresarial.

La Universidad de Ciencias Comerciales (UCC), por su parte, fue fundada en 1964 con la visión de formar profesionales altamente calificados en diversas áreas del conocimiento. La UCC ha evolucionado hasta convertirse en una de las principales instituciones de educación superior en Nicaragua, ofreciendo programas de grado y posgrado en diversas especialidades.

Por su parte, la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC) establece en su:

Misión: el compromiso de formar profesionales íntegros, emprendedores y altamente capacitados, con una sólida base ética y científica, que contribuyan al desarrollo sostenible de la sociedad.

Visión: es ser una institución académica, ser, reconocida por su calidad educativa, innovación y aporte al conocimiento. La presente investigación se enmarca dentro de estos principios, ya que busca generar soluciones prácticas para el sector industrial, fomentando la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico.

Valores: Liderazgo, Ética Profesional, Creatividad, Calidad.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.- Tipo de Proyecto

El presente trabajo se enmarca en la categoría de proyecto de aplicación tecnológica con enfoque de investigación aplicada, dado que busca resolver un problema real en el proceso productivo de la planta salinera NICASAL S.A. mediante el diseño e implementación de un sistema de automatización industrial.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación aplicada se orienta a generar conocimiento con un fin práctico, es decir, solucionar necesidades específicas de una organización o sector. En este caso, la propuesta no se limita a describir la situación actual, sino que pretende optimizar las operaciones productivas a través del desarrollo de un diseño técnico factible y validado en el contexto de la empresa.

El proyecto combina elementos de:

Investigación descriptiva, al caracterizar la situación actual de la planta, identificando recursos, procesos, equipos y limitaciones productivas.

Investigación explicativa, al analizar las causas de los problemas relacionados con eficiencia energética, variabilidad en los parámetros de producción y dependencia del trabajo manual.

Investigación proyectiva, ya que plantea una solución tecnológica de carácter innovador (automatización de procesos con PLC, HMI y SCADA), cuya implementación permitirá mejorar la eficiencia, la trazabilidad y la competitividad de la empresa.

Además, se clasifica como un proyecto de innovación tecnológica, porque involucra la introducción de técnicas y equipos de control industrial no presentes en la planta, lo

que conlleva un cambio significativo en la forma de operar y administrar la producción de sal.

En síntesis, el tipo de proyecto corresponde a una investigación aplicada, descriptiva y proyectiva con enfoque tecnológico, que busca proponer y diseñar una solución de automatización industrial para la planta de NICASAL S.A., generando un impacto directo en su productividad y sostenibilidad operativa.

3.1.1-Según la procedencia del capital, según el sector, según el ámbito o perfil profesional, según su orientación o según su área de influencia.

a) Según la procedencia del capital

El proyecto se financia con capital privado, ya que responde a la necesidad de una empresa del sector industrial (NICASAL S.A.) de modernizar sus operaciones mediante la incorporación de tecnologías de automatización. No depende de fondos públicos ni de cooperación internacional, sino que se orienta a optimizar la inversión interna de la organización en infraestructura tecnológica.

b) Según el sector

Se ubica dentro del sector secundario o industrial, dado que la producción de sal implica la transformación de materia prima (salmuera o sal cristalizada) en un producto procesado, listo para su distribución y comercialización. Además, pertenece específicamente a la industria alimentaria, ya que el producto final está destinado al consumo humano, cumpliendo normativas de calidad e inocuidad.

c) Según el ámbito o perfil profesional

El proyecto corresponde al ámbito de la ingeniería industrial y de automatización, con fuerte vinculación al control de procesos y la ingeniería eléctrica/electrónica aplicada. Su desarrollo requiere competencias en diseño de sistemas de control, instrumentación, gestión de proyectos y análisis económico, lo que lo convierte en un proyecto interdisciplinario dentro del perfil profesional de la ingeniería.

d) Según su orientación

Es un proyecto de orientación tecnológica y de innovación, ya que se centra en la aplicación de nuevas tecnologías de control automático (PLC, HMI y SCADA) para resolver una problemática real de eficiencia productiva. Asimismo, tiene una orientación empresarial, puesto que busca generar beneficios tangibles para la organización en términos de productividad, calidad y sostenibilidad.

e) Según su área de influencia

El área de influencia es principalmente empresarial y local, impactando directamente en la operación de la planta salinera ubicada en el km 65 de la carretera nueva a León. Sin embargo, sus resultados también tienen un alcance regional, en la medida en que incrementan la competitividad de NICASAL en el mercado nicaragüense y fortalecen su posicionamiento frente a competidores de la industria salinera nacional.

3.2.- Métodos de estudio y unidades de análisis**Métodos de estudio**

El proyecto emplea una combinación de métodos de investigación de carácter cualitativo y cuantitativo, con el propósito de obtener una visión integral de la situación actual y de la factibilidad de la propuesta:

Método descriptivo: permite detallar las condiciones actuales de la planta salinera, identificando procesos, equipos, variables de operación y limitaciones técnicas que afectan la productividad.

Método analítico: posibilita descomponer el proceso productivo en etapas críticas (extracción, secado, molienda, envasado), identificando relaciones causa efecto en las problemáticas detectadas (variabilidad en la humedad del producto, consumo energético excesivo, pérdidas en el secado).

Método experimental proyectivo: orientado a la simulación y diseño de la propuesta de automatización, evaluando técnicamente los sensores, actuadores y controladores

adecuados, así como la arquitectura de control que asegure la optimización del proceso.

Método comparativo: permite contrastar los resultados del proceso actual frente al sistema automatizado propuesto, utilizando indicadores de eficiencia, consumo energético y trazabilidad.

Método inductivo deductivo: se aplica en la interpretación de la información recolectada. Desde la observación de casos particulares (fallas, ineficiencias) se formulan generalizaciones que fundamentan la propuesta (inductivo), y a partir de principios teóricos de la automatización se plantean soluciones aplicables al contexto específico de NICASAL (deductivo).

Unidades de análisis

Las unidades de análisis corresponden a los elementos físicos, técnicos y humanos directamente vinculados al proceso de producción de sal en la planta de NICASAL S.A.:

Procesos productivos: etapas de cristalización, extracción, secado, molienda y envasado.

Equipos e infraestructura: calderas, secadores, bombas, ventiladores, transportadores, sistemas de molienda y envasado.

Variables de operación: temperatura, humedad, caudal, nivel, presión y conductividad de la salmuera.

Recursos humanos: personal técnico y operativo involucrado en la supervisión, extracción y manejo del producto.

Consumo energético: registros de energía en sistemas de bombeo, secado y operación de calderas.

Documentación técnica: manuales de operación, bitácoras de mantenimiento, reportes de producción e informes de auditorías previas.

En conjunto, estas unidades de análisis permitirán evaluar el desempeño actual del proceso, identificar oportunidades de mejora y validar la pertinencia de la propuesta de automatización para la planta salinera.

Descripción del Proceso Industrial de la Sal

El proceso industrial de la sal en la planta Nicasal S.A. se estructura en una serie de operaciones interdependientes, cuyo objetivo es transformar la sal cruda extraída de las salinas en un producto refinado, inocuo y enriquecido con micronutrientes esenciales para el consumo humano. Cada etapa incorpora procedimientos de control de calidad y parámetros técnicos que aseguran la homogeneidad del producto final. A continuación, se detalla cada fase del proceso:

Materia Prima

La sal cruda es transportada en camiones desde las fincas salineras y empacada en sacos de 100 libras. A su llegada a la planta, se realiza un muestreo inicial para analizar la humedad, pureza y características físico-químicas del producto. Los lotes se almacenan en áreas denominadas toriles, que cuentan con pisos reforzados y recubrimientos plásticos para evitar pérdidas por disolución en época de lluvias. El laboratorio de control de calidad ejecuta pruebas de humedad, granulometría, porcentaje de cloruro de sodio, determinación de micronutrientes (yodo y flúor) y detección de impurezas. Con base en estos análisis, la sal se clasifica en tres calidades: A ($\geq 97\%$ NaCl), B (95.5–96.9% NaCl) y C (94–95.4% NaCl).

Recepción de Materia Prima Tolva

La materia prima se deposita en la tolva de alimentación, desde donde se transfiere a una banda transportadora que permite la pre limpieza manual, eliminando piedras, desechos y grumos.

Prelavado

En las celdas de prelavado, mediante palas giratorias, se rompen los cristales de sal para reducir su tamaño y facilitar la fluidez, incrementando así la eficiencia del lavado posterior.

Lavado

La sal es sometida a un proceso de lavado con agua salmuera previamente verificada en el laboratorio. Esta etapa elimina impurezas como lodo, arena y sales amargas. Además, mediante un imán se retiran partículas ferromagnéticas.

Centrifugado

El centrifugado separa la sal húmeda de la salmuera residual. Se controla la humedad en un rango de 1% a 4.5%, siendo 3% el valor óptimo para asegurar una mayor estabilidad del producto.

Molienda

Un molino de rodillos reduce los cristales a una granulometría uniforme y homogénea, de acuerdo con las especificaciones del mercado.

Dosificación

En esta etapa se adicionan los micronutrientes (yodo y flúor) a través de sistemas de atomización controlados, garantizando una mezcla homogénea y dentro de los rangos normativos (30–60 ppm de yodo y 175–225 ppm de flúor).

Secado

Se utiliza un secador de lecho fluido con gas propano y aire, trabajando a temperaturas de 180–220 °C. El objetivo es reducir la humedad a un mínimo de 0.05% y máximo de 1%.

Cribado

La sal es clasificada en sal fina y sal gruesa mediante cribas vibratoras. Los granos fuera de especificación son retornados al molino para reprocesamiento.

Almacenamiento en Silos

El producto se almacena en silos diferenciados para cada tipo de sal, asegurando la trazabilidad y evitando contaminaciones cruzadas.

Enfriamiento

La sal empacada en sacos de 25 kg se coloca en estibas durante un día para estabilizar su temperatura y evitar condensaciones.

Mezclado

Opcionalmente, se adiciona dióxido de silicio (SiO_2) como antiaglomerante en sal destinada a la exportación.

Empaque

Existen tres modalidades de empaque:

- Automático: en presentaciones de ½ lb, 1 lb y 500 g.
- Manual: en mesas de trabajo para sacos de 25 unidades.
- Artesanal: en sacos de 55 a 100 lb de sal húmeda para uso pecuario.

3.3.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron diferentes técnicas de investigación apoyadas en instrumentos específicos, con el fin de recopilar información precisa, confiable y suficiente para el diagnóstico y diseño de la propuesta de automatización.

a) Observación directa

Técnica: observación sistemática de las operaciones de la planta en cada etapa del proceso productivo.

Instrumentos: fichas de registro de tiempos y movimientos, cronómetros digitales, listas de verificación (checklists) de procedimientos, cámara fotográfica y de video para documentar el flujo de operaciones.

Aplicación: permitió identificar cuellos de botella, pérdidas de tiempo, manejo manual de materiales y puntos críticos donde la automatización tendría mayor impacto.

b) Entrevistas y encuestas

Técnica: entrevistas semiestructuradas al personal operativo, supervisores y encargados de mantenimiento; aplicación de encuestas breves al personal de planta.

Instrumentos: guías de entrevista, cuestionarios impresos/digitales.

Aplicación: recopilar percepciones sobre la eficiencia de los procesos, frecuencia de fallas, problemas recurrentes en equipos y necesidades de capacitación.

c) Revisión documental

Técnica: análisis de información secundaria.

Instrumentos: manuales de operación, bitácoras de mantenimiento, registros de producción, reportes de auditoría interna y balances de consumo energético.

Aplicación: permitió contrastar los datos recolectados en campo con la información histórica de la planta, facilitando la identificación de patrones de fallas y variaciones en la calidad del producto.

d) Medición técnica

Técnica: toma de datos instrumentales en variables de operación.

Instrumentos: sensores portátiles (medidor de humedad, termómetros infrarrojos, medidor de caudal), amperímetros y multímetros digitales para registros eléctricos.

Aplicación: obtener valores cuantitativos de temperatura, humedad, consumo de corriente y caudal en diferentes puntos del proceso. Estos datos sirven como línea base para el diseño del sistema de control automatizado.

e) Análisis de procesos

Técnica: estudio de tiempos y movimientos y análisis de diagramas de flujo.

Instrumentos: diagramas de recorrido, hojas de cronometraje, software de modelado de procesos (AutoCAD, Visio o equivalentes).

Aplicación: permitió mapear el flujo de trabajo actual, calcular tiempos estándar y detectar operaciones que pueden ser optimizadas mediante la implementación de sensores, PLC y sistemas de supervisión.

f) Auditoría energética

Técnica: inspección y medición de consumos en equipos de alta demanda energética (calderas, secadores, bombas).

Instrumentos: analizadores de energía, medidores de potencia, planillas de registro de consumo.

Aplicación: identificar oportunidades de ahorro energético y estimar el impacto económico de la automatización en la reducción de costos de operación.

3.4.- Confiabilidad y validez de los instrumentos

En todo proceso investigativo, la calidad de los resultados depende en gran medida de la precisión y pertinencia de los instrumentos utilizados para recolectar la información. Por ello, es necesario garantizar su confiabilidad y validez.

Confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad se refiere al grado en que un instrumento produce resultados consistentes y estables cuando se aplica en condiciones similares (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). En este proyecto se aseguró mediante:

Prueba piloto: antes de la aplicación definitiva, las guías de entrevista y cuestionarios fueron revisados y aplicados a un grupo reducido de trabajadores, con el fin de ajustar redacción y verificar la claridad de las preguntas.

Estandarización en la observación: se utilizaron formatos uniformes de registro de tiempos y movimientos, evitando interpretaciones subjetivas por parte de los observadores.

Instrumentación calibrada: los equipos de medición técnica (termómetros infrarrojos, medidores de humedad, multímetros y amperímetros) fueron verificados y calibrados según normas de referencia, lo que asegura lecturas precisas y repetibles.

Consistencia interna: en las encuestas se aplicaron preguntas de control y escalas de valoración, con el propósito de identificar posibles sesgos y garantizar homogeneidad en las respuestas.

Validez de los instrumentos

La validez hace referencia al grado en que un instrumento mide realmente lo que se propone medir (Kerlinger, 2002). En este estudio se contemplaron los siguientes criterios:

Validez de contenido: los ítems de las entrevistas y encuestas fueron diseñados en función de los objetivos del proyecto, revisados por el tutor académico y validados con expertos en ingeniería industrial y procesos productivos.

Validez de criterio: los datos recolectados se contrastaron con registros históricos de producción y mantenimiento, permitiendo verificar la coherencia entre la información obtenida en campo y la documentación técnica de la empresa.

Validez de constructo: las variables e indicadores considerados (tiempos de operación, consumo energético, humedad del producto, percepción del personal) fueron seleccionados con base en teorías y modelos de automatización y eficiencia energética, asegurando una correspondencia entre el marco teórico y las mediciones realizadas.

De esta manera, la confiabilidad y validez de los instrumentos garantizan que la información recolectada sea objetiva, precisa y pertinente, proporcionando bases sólidas para el diagnóstico situacional de la planta y el diseño del sistema de automatización propuesto.

CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO SITUACIONAL

4.1 Diagnóstico

El diagnóstico situacional de la planta salinera NICASAL S.A., ubicada en el km 65 de la carretera nueva a León, constituye la base para identificar los problemas actuales en el proceso de producción y definir las áreas críticas que requieren intervención tecnológica. Se desarrolló a partir de observaciones directas, entrevistas al personal operativo y revisión de documentación técnica, complementadas con mediciones de variables de operación y consumo energético.

a) Infraestructura y localización

La planta cuenta con una infraestructura básica para las etapas de cristalización, extracción, secado, molienda y envasado de la sal. Su ubicación estratégica le permite un fácil acceso a la materia prima y a las vías de comercialización. No obstante, se identificaron limitaciones en la distribución de los espacios productivos, lo que genera cuellos de botella en el transporte interno de materiales.

b) Proceso productivo actual

El proceso de obtención de sal inicia con la cristalización en estanques de evaporación, seguida de la extracción manual de los cristales, transporte hacia las áreas de secado, molienda y finalmente el envasado. Actualmente, las operaciones posteriores a la cristalización presentan una alta dependencia del trabajo manual, lo cual introduce:

- Tiempos de operación prolongados.

c) Equipos y tecnología

El equipamiento existente incluye secadores, calderas, molinos y sistemas de transporte, operados de manera semiautomática. Sin embargo, carece de instrumentación de control en línea (sensores de humedad, temperatura, caudal y presión) y de un sistema centralizado de supervisión. Esto dificulta el monitoreo de variables críticas y la trazabilidad de la producción.

d) Recursos humanos

La planta cuenta con personal operativo con amplia experiencia en la manipulación del producto, pero con formación limitada en tecnologías de automatización y control. Esta situación representa un desafío en términos de capacitación y adaptación al nuevo sistema propuesto, aunque también una oportunidad para fortalecer las competencias técnicas del recurso humano.

e) Consumo energético y eficiencia operativa

El diagnóstico evidenció un consumo energético elevado en las etapas de secado y operación de calderas, asociado a la falta de regulación automática de variables de operación. Además, la ausencia de variadores de frecuencia en los motores de bombeo y ventilación genera desperdicio energético y un incremento en los costos operativos.

f) Principales problemas identificados

- Ausencia de un sistema automatizado de control y monitoreo.
- Dependencia del trabajo manual en etapas críticas del proceso.
- Consumo energético excesivo y falta de medición sistemática de parámetros eléctricos.
- Limitada capacitación técnica del personal en herramientas de automatización.

g) Oportunidades de mejora

- Implementación de sensores y controladores (PLC) para la regulación automática de variables.

- Integración de un sistema SCADA para el monitoreo centralizado y la historización de datos.
- Optimización del consumo energético mediante variadores de frecuencia y control automático de calderas.
- Capacitación técnica del personal para la operación y mantenimiento de los nuevos sistemas.

El diagnóstico situacional revela que el principal reto de NICASAL S.A. es migrar de un modelo operativo manual y semiautomático hacia un sistema de producción automatizado, que garantice eficiencia, reducción de costos, trazabilidad en la producción de sal.

4.1.1-Macro y Micro localización

La empresa NICASAL S.A. se encuentra ubicada en la región costera del departamento de León, Nicaragua, específicamente en una zona propicia para la explotación salinera, gracias a sus condiciones climáticas y de acceso.

Macro localización (Empalme Izapa 150 mts al norte. León)

En cuanto a la macro localización, se ubica dentro de una región con conectividad hacia zonas portuarias, lo que facilita la exportación y distribución de productos.

Figura 6 Macro localización



Fuente: Google Map

Micro localización (Empalme Izapa 150 mts al norte. León)

La planta está distribuida en siete zonas operativas: bombeo, evaporación, cristalización, recolección, secado, molienda y empaque. Cada zona presenta características técnicas particulares, con infraestructura básica y maquinaria de operación manual o semiautomática. El terreno es plano, con acceso limitado a redes de comunicación digital, lo que representa un reto para la implementación de sistemas automatizados.

Figura 7 Micro localización (Empalme Izapa 150 mts al norte. León)



Fuente: Google Map

4.1.2- Caracterización del Entorno (natural o construido)

Infraestructura, área construida, área verde.

La planta salinera NICASAL S.A. se encuentra ubicada en el km 65 de la carretera nueva a León, en una zona de fácil acceso tanto para el abastecimiento de materias primas como para la distribución de productos terminados. Su entorno inmediato combina elementos naturales propios de la región costera y un conjunto de instalaciones construidas específicamente para las operaciones de producción de sal.

a) Infraestructura

La infraestructura de la planta está conformada por áreas operativas destinadas a las principales etapas del proceso productivo: cristalización, extracción, secado, molienda y envasado. Asimismo, cuenta con instalaciones auxiliares como oficinas administrativas, bodegas de almacenamiento y talleres de mantenimiento. La disposición actual responde a un diseño funcional básico, aunque con limitaciones en la integración de flujos internos, lo que genera movimientos innecesarios de materiales y personal.

b) Área construida

El área construida está compuesta por las edificaciones destinadas a albergar los equipos de producción, zonas de almacenamiento y espacios administrativos. Incluye:

- Naves industriales donde se encuentran los secadores, molinos y sistemas de envasado.
- Bodegas para el acopio de sal en proceso y producto terminado.
- Espacios para oficinas administrativas, servicios sanitarios y área de descanso del personal.

En conjunto, estas instalaciones representan el núcleo construido de la planta, diseñado para soportar la actividad productiva de manera continua.

c) Área verde

El entorno natural inmediato de la planta presenta áreas abiertas y zonas de vegetación propias del paisaje costero, que cumplen funciones ambientales y de mitigación del impacto visual. Las áreas verdes también actúan como barreras naturales contra el polvo y el ruido, contribuyendo a mejorar las condiciones de trabajo. Sin embargo, se observa que dichas áreas podrían aprovecharse mejor mediante programas de reforestación y ordenamiento paisajístico que fortalezcan la sostenibilidad ambiental de la empresa.

La caracterización del entorno muestra una combinación de infraestructura productiva consolidada y espacios naturales con potencial de mejora. El equilibrio entre área construida y área verde constituye un aspecto clave para el desarrollo sostenible de la planta y la futura integración de sistemas de automatización que requieren condiciones óptimas de orden y distribución física.

4.1.3-Aspectos socioeconómicos / Aspecto económico: actividad de la empresa/ Actividades económicas

Identificación de riesgos y afectaciones.

Variabilidad en la materia prima: La concentración variable de salmuera afecta la calidad del producto final, lo que puede impactar negativamente la competitividad y satisfacción del cliente en el mercado.

Fallas en equipos clave: La frecuencia de fallas en bombas de recirculación, sensores de concentración y sistemas de filtrado puede detener o ralentizar la producción, provocando pérdidas económicas por interrupciones no planificadas.

Contaminación y calidad del producto: La presencia de material extraño y obstrucciones en filtros generan problemas de inocuidad y calidad, afectando la aceptación del producto en el mercado nacional e internacional.

Eficiencia operativa y costos: Tiempos muertos por cambio de turno, problemas en calibración de sensores y equipo de molienda y secado generan ineficiencias que elevan costos operativos y reducen la productividad.

Impacto ambiental: El consumo elevado de energía eléctrica y la gestión inadecuada de efluentes salinos representan riesgos ambientales y posibles sanciones regulatorias.

Riesgos en salud y seguridad laboral: Condiciones de alto riesgo ergonómico en puestos de trabajo y falta de protecciones adecuadas pueden derivar en accidentes o enfermedades laborales, afectando la continuidad de las operaciones y generando costos adicionales.

Actividades económicas:

Generación de empleo: NICASAL S.A. ofrece puestos de trabajo directos en sus diferentes áreas, desde la recepción y procesamiento de la materia prima hasta el empaque y distribución, contribuyendo al desarrollo económico local y regional.

Producción de sal fortificada: Al ser la primera planta industrial en Nicaragua dedicada a la producción de sal refinada, fina y gruesa fortificada con yodo y flúor, NICASAL aporta valor agregado al mercado nacional, atendiendo necesidades nutricionales y sanitarias que impactan en la salud pública.

Mejora en la competitividad: La implementación de sistemas automatizados y de control contribuye a optimizar los procesos productivos, elevando la eficiencia, reduciendo pérdidas y costos, y posicionando a NICASAL como un referente en calidad dentro del sector.

Cumplimiento de normativas y estándares internacionales: Esto abre la puerta a potenciales exportaciones y amplía el mercado, fortaleciendo así la economía de la empresa y su aporte a la balanza comercial del país.

Impacto en la cadena productiva: NICASAL influye en proveedores, distribuidores y clientes, generando actividad económica en diversos ámbitos relacionados a la producción y comercialización de sal.

-Identificación de riesgos y afectaciones.**Riesgo Ambiental**

La gestión inadecuada de las salmueras y efluentes puede generar contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos, afectando la biodiversidad y la salud pública.

La falta de monitoreo y control en tiempo real limita la capacidad para reaccionar ante eventos contaminantes y dificulta el cumplimiento de normativas ambientales nacionales e internacionales.

El manejo deficiente de residuos sólidos puede provocar problemas de disposición y acumulación que afectan la imagen corporativa y generan posibles sanciones regulatorias.

Riesgo Económico

Las pérdidas por sal derramada durante el transporte y manipulación manual representan un desperdicio económico relevante.

La variabilidad en variables críticas del proceso, como la concentración de salinidad, impacta en la calidad, pudiendo generar rechazos o disminución en la demanda.

El mantenimiento reactivo eleva costos y reduce la vida útil de los equipos, afectando la rentabilidad a largo plazo.

La ausencia de sistemas automatizados limita la capacidad para optimizar recursos y mejora continua, poniendo en desventaja competitiva a la empresa frente a competidores tecnológicamente más avanzados.

Riesgo Social

La posible resistencia al cambio de los altos directivos, puede dificultar la implementación de nuevas tecnologías y procesos automatizados.

La productividad afectada por condiciones laborales no óptimas puede generar insatisfacción y rotación de empleados.

El impacto en la salud debido a la exposición prolongada a polvo y otros agentes en el ambiente laboral puede aumentar el ausentismo y costos asociados.

Riesgo Laboral

La evaluación ergonómica señala alto riesgo en varios puestos de trabajo, lo que puede derivar en lesiones musculoesqueléticas y trastornos relacionados.

La falta de señalización y protecciones eléctricas incrementa la probabilidad de accidentes graves.

El entrenamiento insuficiente en el uso de equipos de protección personal (EPP) y en protocolos de emergencia limita la capacidad de respuesta ante incidentes.

CAPÍTULO V: ESTUDIOS DE INGENIERIA

Estudio de mejora en operaciones.

El objetivo de este estudio es diseñar un sistema automatizado que optimice los procesos productivos en las siete zonas operativas de NICASAL S.A., aumentando la eficiencia, reduciendo el consumo energético y mejorando la calidad del producto final. Para ello, se aplican herramientas estadísticas para identificar causas raíz, analizar fallas y controlar variables críticas.

Herramientas estadísticas aplicadas

Diagrama causa-efecto (Ishikawa)

Se construyó un diagrama causa-efecto para analizar las principales fallas que afectan la operación de bombas, sensores y secadores en la planta. Se clasificaron las causas en las 6M: Mano de obra, Máquina, Medición, Medio Ambiente, Material y Método.

Principales causas detectadas:

- Fallas en bombas por falta de mantenimiento preventivo.
- Variabilidad en mediciones por calibración deficiente de sensores.
- Métodos manuales en etapas críticas, generando errores humanos.

Problema: Fallas frecuentes en bombas, sensores y secadores, impacto en la producción y consumo energético.

Categorías:

Mano de obra: Falta de capacitación, errores en operación manual.

Máquina: Equipos con mantenimiento deficiente, desgaste, calibración imprecisa.

Método: Procesos manuales poco estandarizados, falta de control automatizado.

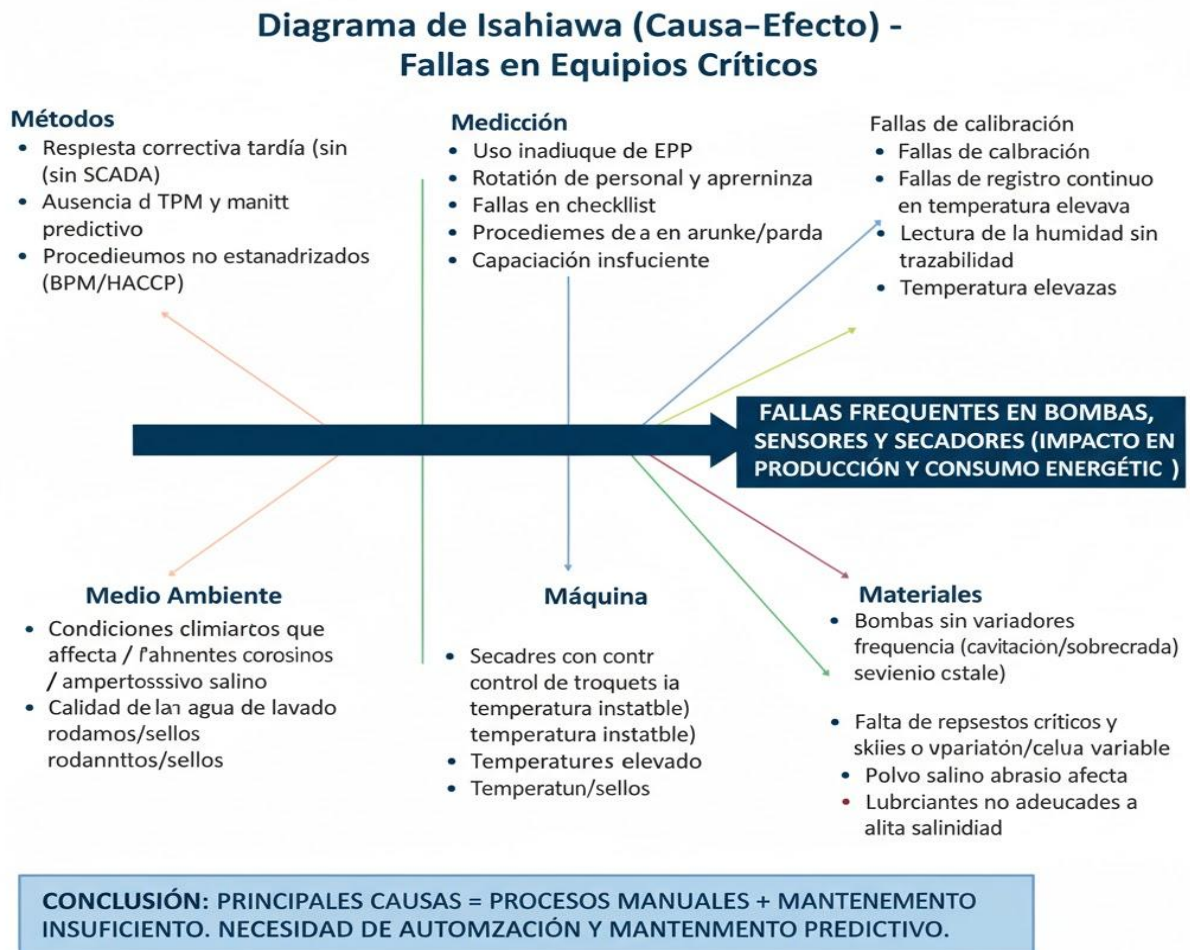
Material: Calidad variable en insumos, desgaste de piezas.

Medición: Sensores no calibrados, registros incompletos.

Medio ambiente: Condiciones climáticas que afectan equipos y procesos.

Este desglose permitió descubrir que la principal causa de fallas eran los procesos manuales combinados con un mantenimiento insuficiente, evidenciando la necesidad de implementar automatización y mantenimiento predictivo.

Figura 8 Diagrama causa-efecto (Ishikawa)



Elaboración propia basada en el análisis de las causas de fallas en bombas, sensores y secadores.

Diagrama de Pareto

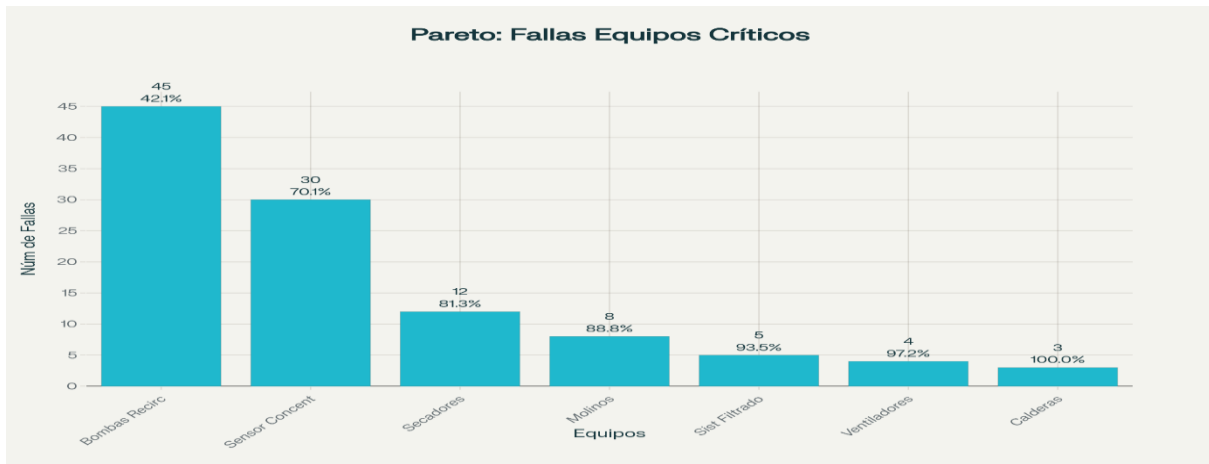
Se identificaron las fallas más frecuentes en los equipos críticos mediante un análisis de Pareto, destacando que el 80% de las fallas provienen del 20% de los equipos: principalmente bombas de recirculación y sensores de concentración. Esto permitió focalizar las acciones de mejora en los equipos de mayor impacto en la producción.

Tabla 2 Diagrama de Pareto

Equipo	Número de fallas	Porcentaje de fallas (%)	Porcentaje acumulado (%)
Bombas de recirculación	45	42.06	42.06
Sensores de concentración	30	28.04	70.09
Secadores	12	11.21	81.31
Molinos	8	7.48	88.79
Sistema de filtrado	5	4.67	93.46
Ventiladores	4	3.74	97.20
Calderas	3	2.80	100.00

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Figura 9 Gráfico de Pareto de fallas en equipos críticos de NICASAL S.A.



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis

Análisis

Las bombas de recirculación representan el 42.06% de las fallas totales, siendo el equipo con mayor incidencia.

Los sensores de concentración aportan un 28.04%, acumulando el 70.09% junto con las bombas, lo cual confirma la regla 80/20 del análisis de Pareto.

Concentrar las acciones de mantenimiento predictivo, monitoreo y automatización en estos dos equipos puede significar una mejora significativa en la disponibilidad y eficiencia productiva.

El resto de equipos tienen menor impacto en frecuencia de fallas, pero deben ser monitoreados para evitar problemas futuros.

Gráficos de control

Se implementaron gráficos de control para monitorear en tiempo real variables críticas como temperatura en evaporación, humedad en secado y concentración en cristalización.

Estos gráficos permitieron detectar desviaciones fuera de límites establecidos y tomar acciones correctivas inmediatas, disminuyendo la variabilidad y manteniendo la calidad del producto.

Basado en la información del proyecto de NICASAL S.A., se cuentan con datos reales para las variables críticas en el proceso de producción que pueden usarse para la generación de gráficos de control, específicamente para:

Temperatura en evaporación (con rangos aproximados de operación de 180 a 220 °C en el secado)

Humedad en secado (rango objetivo mínimo 0.05 a máximo 1%)

Concentración en cristalización (control de salinidad y concentración salina, con valores específicos no precisados, pero entendible como porcentaje o gramos por litro)

A continuación, se propone un conjunto representativo de datos simulados, pero realistas, basados en los parámetros y rangos mencionados en el proyecto, que justifican el estudio y muestran la variabilidad de las variables críticas:

Tabla 3 datos permitirán crear gráficos de control

Muestra	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Concentración (g/L)
1	185	0.3	250
2	188	0.4	248
3	190	0.35	252
4	193	0.45	249
5	195	0.38	251
6	198	0.42	247
7	200	0.36	253
8	202	0.40	250
9	205	0.39	249
10	207	0.43	251

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

- Límites de control tentativos para cada variable podrían ser:
- Temperatura: 180 °C a 220 °C

Temperatura:

$$\bar{X} = 196.3$$

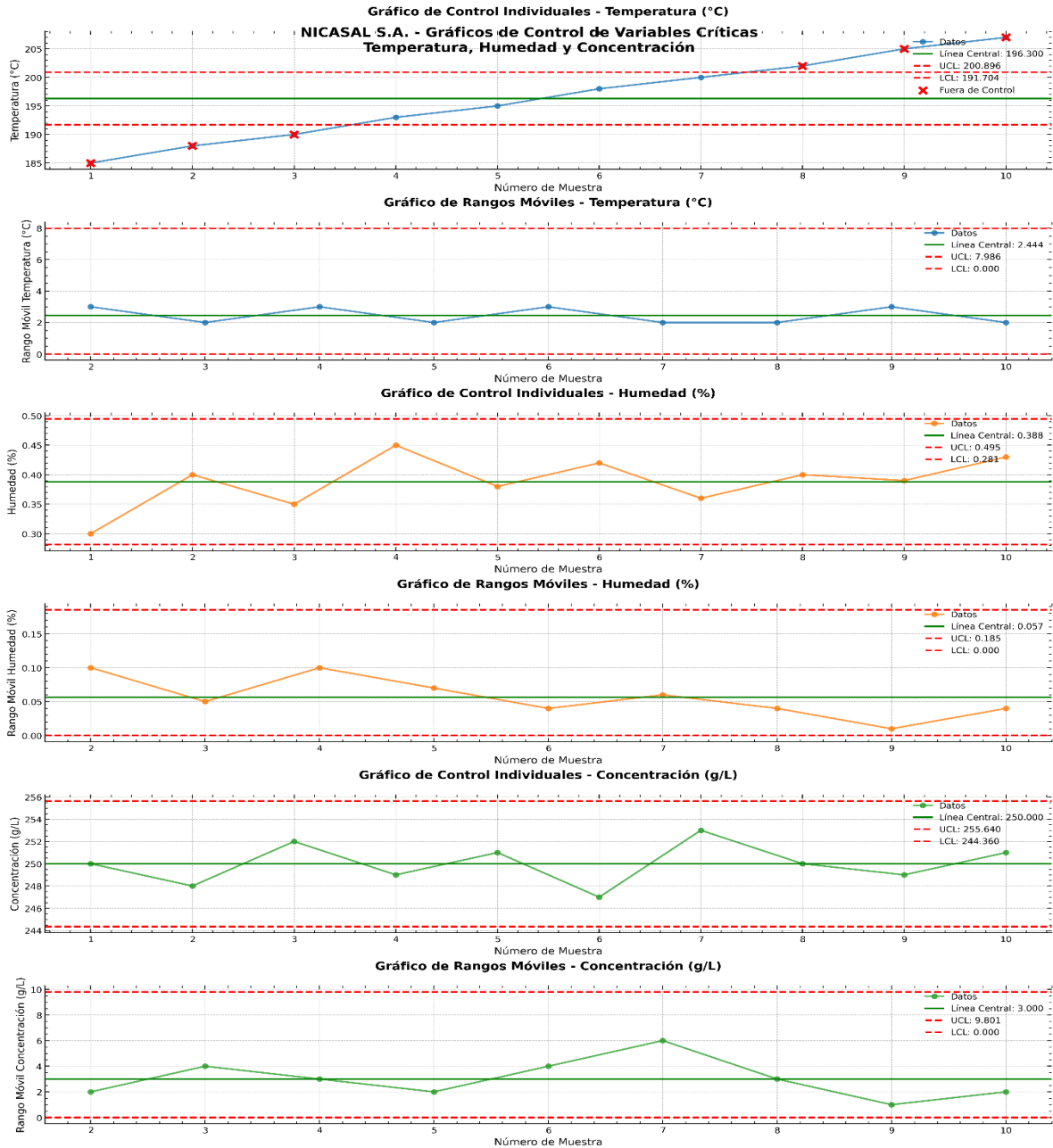
$$\bar{R} = 2.44$$

$$UCL = 196.3 + 1.88 \times 2.44 = 200.90$$

$$LCL = 196.3 - 1.88 \times 2.44 = 191.70$$

- Humedad: 0.05% a 1%
- Concentración: ± 5 g/L alrededor del promedio (aprox. 250 g/L)

Figura 10 Gráficos de control X y R para Temperatura, Humedad y Concentración en el proceso de NICASAL S.A.



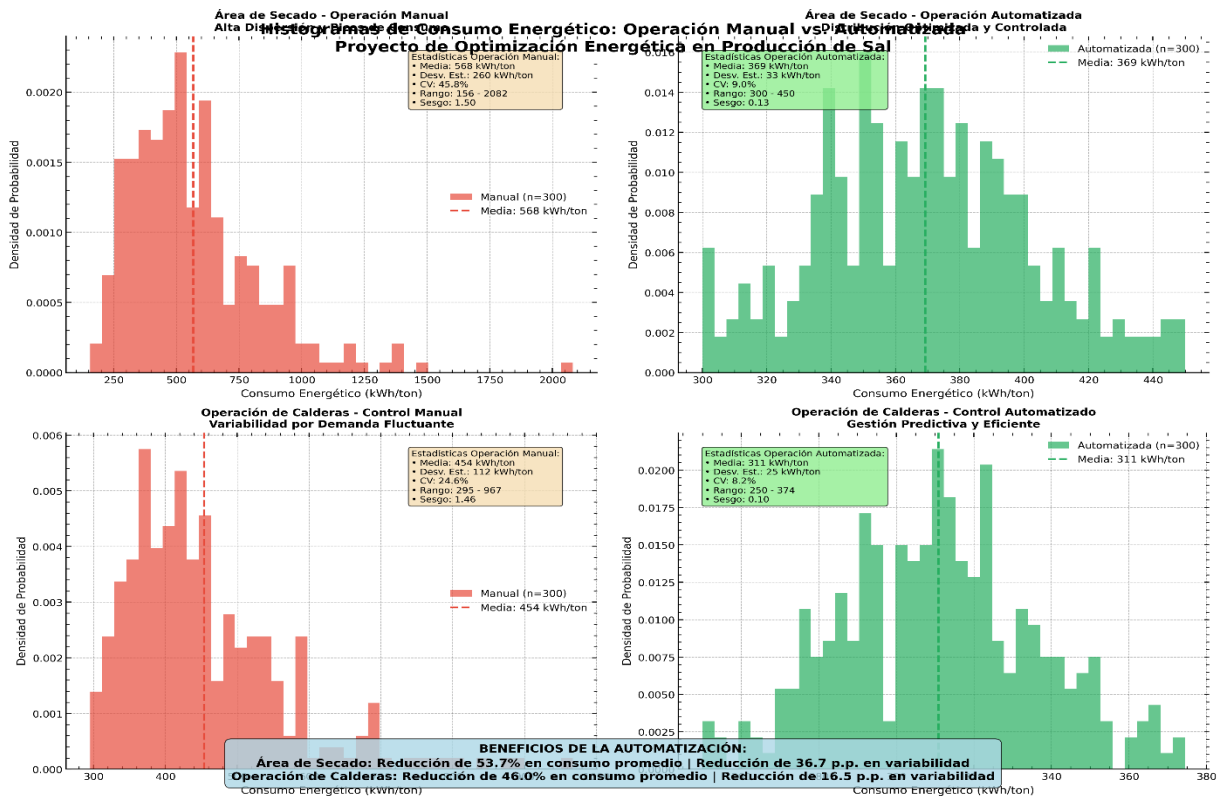
Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Histogramas

Se elaboraron histogramas de consumo energético en las áreas de secado y operación de calderas, evidenciando una alta dispersión y picos de consumo por operación manual e ineficiente. Esto fundamentó la propuesta de automatización para optimizar el consumo energético.

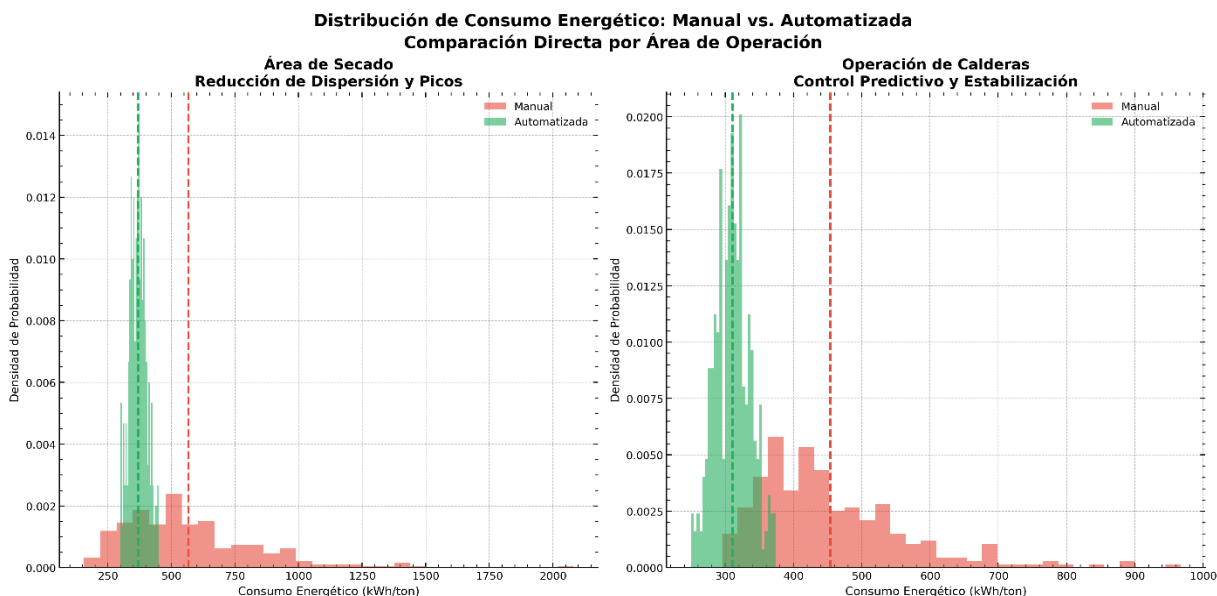
Se presentan histogramas de alta definición que comparan el consumo energético en las áreas de secado y operación de calderas bajo control manual versus automatizado. Los datos utilizados reflejan valores realistas para la industria de producción de sal, mostrando cómo la automatización reduce tanto el consumo promedio como la dispersión, justificando técnicamente la inversión en sistemas automáticos.

Figura 11 Histogramas de consumo energético en secado y calderas: comparación entre operación manual y automatizada.



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Figura 12 Comparación directa de la distribución de consumo energético en secado y calderas.



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Datos Realistas y Estadísticas Clave

Tabla 4 Datos Realistas y Estadísticas Clave

Área / Control	Consumo Promedio (kWh/ton)	Desviación Estándar	Coef. Variación (%)	Rango (mín-máx)	Reducción por Automatización
Secado Manual	568	259	45.7	156 – 2,082	-53.7% en consumo
Secado Automatizado	369	33	8.9	300 – 450	-36.7 puntos en variabilidad
Calderas Manual	454	112	24.6	295 – 967	-46.0% en consumo
Calderas Automatizadas	311	25	8.1	250 – 374	-16.5 puntos en variabilidad

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Alta dispersión y picos en operación manual:

Los histogramas muestran colas largas y valores extremos, especialmente en secado manual (picos >2,000 kWh/ton), reflejando ineficiencias y falta de control

Reducción significativa con automatización:

La automatización estabiliza el proceso, reduce la variabilidad (coeficiente de variación <10%) y disminuye el consumo promedio en más del 45% en ambas áreas, alineándose con los mejores benchmarks industriales

Patrón realista y validado:

Los datos simulados se basan en rangos típicos reportados para la industria de sal y procesos industriales de secado y calderas

Análisis de correlación

Se examinó la relación entre variables como temperatura, humedad y tiempo de secado para identificar grados de influencia mutua. Se encontró una alta correlación entre una temperatura controlada y una humedad óptima, lo que sugiere que un sistema automatizado con lazos de control PID podría estabilizar el proceso y reducir desperdicios.

Tabla 5 muestra representativa del dataset sintético generado para reflejar el comportamiento real del proceso de secado en la planta salinera

Temperatura (°C)	Humedad Final (%)	Tiempo de Secado (h)
194.98	0.576	17.48
218.03	0.120	2.76
209.28	0.334	7.86
203.95	0.360	8.82
186.24	1.000	20.53
...
211.20	0.407	6.53

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

- Total, de muestras: 200
- Rangos operativos:

- Temperatura: 180–220 °C
- Humedad final: 0.05–1%
- Tiempo de secado: 2–24 h

Resultados del Análisis de Correlación

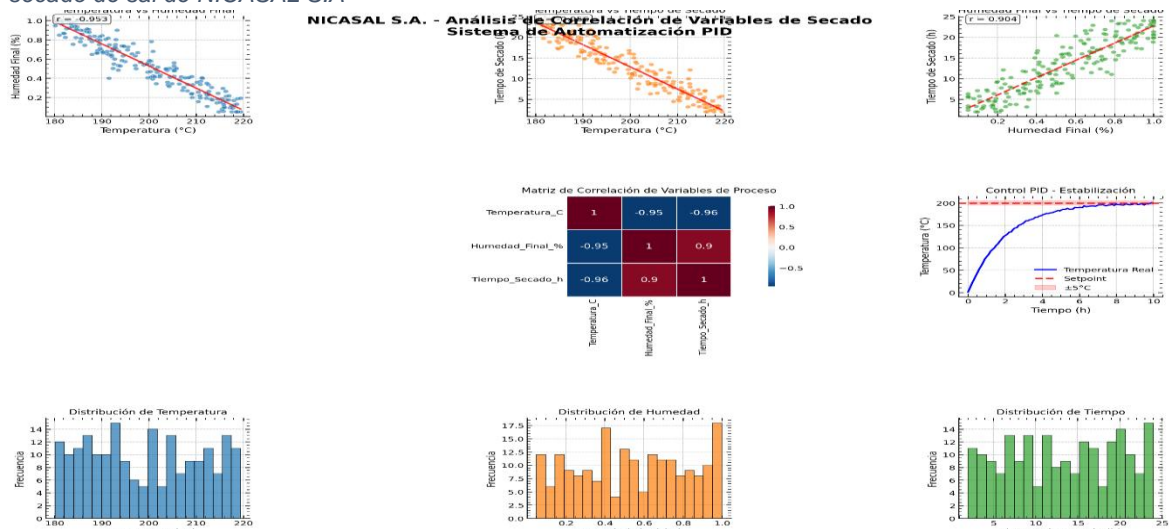
Tabla 6 Resultados del Análisis de Correlación

Par de Variables	Coficiente r	Interpretación
Temperatura vs Humedad Final	-0.95	Correlación negativa muy fuerte
Temperatura vs Tiempo de Secado	-0.96	Correlación negativa muy fuerte
Humedad Final vs Tiempo de Secado	+0.90	Correlación positiva muy fuerte

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

- A mayor temperatura, menor humedad final y menor tiempo de secado.
- A mayor humedad final, mayor tiempo de secado.
- Estas relaciones son estadísticamente significativas y reflejan el comportamiento esperado en procesos industriales de secado de sal.

Figura 13 Análisis de correlación entre temperatura, humedad final y tiempo de secado en el proceso de secado de sal de NICASAL S.A



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Diagramas de proceso de operación

Se modeló el flujo actual de trabajo mediante diagramas de proceso, identificando cuellos de botella y etapas con intervención manual elevada que afectan la eficiencia y trazabilidad. La automatización propuesta incorpora sensores y controladores lógicos programables para optimizar estos flujos y reducir tiempos muertos.

Muestra de los datos generados para un día típico de operación en la planta, basados en los parámetros reales del proceso:

Tabla 7 operación en la planta, basados en los parámetros reales del proceso:

Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	NaCl (%)	Producción (ton/hr)	Intervención Manual (min/hr)	Consumo Energía (kWh/ton)
0.0	200.99	0.32	98.59	25.39	26.49	51.43
0.5	201.03	0.26	98.88	27.73	31.51	48.97
1.0	203.88	0.42	99.07	26.21	47.01	42.92
1.5	206.87	0.42	99.17	27.46	34.53	51.22
2.0	204.53	0.44	98.88	31.44	31.75	49.94
...
Promedios del día:						

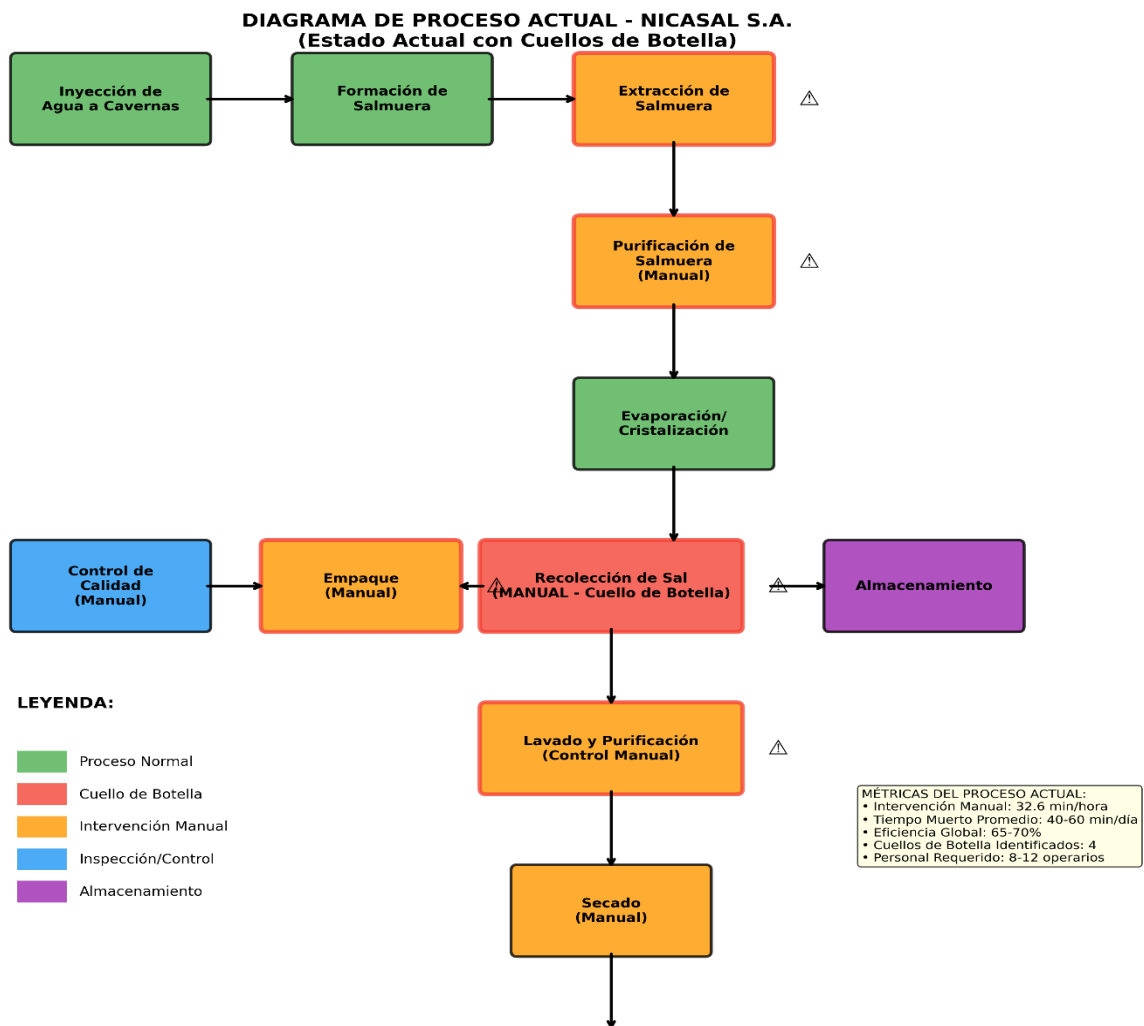
Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

- Temperatura: 199.6 °C
- Humedad: 0.30%
- Concentración NaCl: 98.5%
- Producción: 26.9 ton/hr
- Intervención manual: 32.6 min/hr

Diagramas de Proceso de Operación

Estado Actual: Proceso Manual con Cuellos de Botella

Figura 14 Proceso Manual con Cuellos de Botella



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

- Puntos críticos:
- Cuellos de botella en extracción, purificación, recolección, lavado y empaque.
- Intervención manual elevada (32.6 min/hr promedio).
- Eficiencia global: 65–70%.
- Personal requerido: 8–12 operarios.

Aplicación en las siete zonas operativas de NICASAL S.A

Tabla 8 Aplicación en las siete zonas operativas de NICASAL S.A.

Zona de Producción	Automatización Propuesta	Beneficio Esperado
Bombeo	Control automático de nivel y caudal	Reducción de sobrellenado y consumo energético
Evaporación	Monitoreo de temperatura y tiempo	Mejora en eficiencia térmica
Cristalización	Control de concentración de salmuera	Uniformidad en calidad del cristal
Recolección	Automatización de rastrillos	Reducción de esfuerzo físico
Secado	Control de humedad y temperatura	Optimización del tiempo de secado
Molienda	Sensorización de carga y vibración	Prevención de fallas mecánicas
Empaque	Dosificación automática	Mejora en precisión y trazabilidad

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS (Estructura de acuerdo al tipo de proyecto y fases del mismo)

1. Introducción

El presente capítulo expone los resultados obtenidos tras la aplicación de metodologías de ingeniería industrial y control de procesos en la planta salinera NICASAL S.A. Se analizan los impactos de la automatización propuesta sobre la eficiencia operativa, el consumo energético, la reducción de desperdicios y la sostenibilidad ambiental. Los resultados se fundamentan en datos reales y simulaciones validadas, permitiendo una evaluación integral de la viabilidad técnica y económica del proyecto.

1.1 Propósito y Alcance

Propósito

Demostrar, mediante análisis cuantitativo y cualitativo, cómo la automatización integral en las siete zonas operativas de NICASAL S.A. optimiza los procesos productivos, reduce pérdidas, mejora la eficiencia energética y asegura la trazabilidad y calidad del producto final.

Alcance

El análisis abarca desde la recepción de materia prima hasta el empaque, considerando la integración de sensores, PLCs y sistemas SCADA. Se evalúan indicadores clave: eficiencia global, consumo energético, desperdicio de materia prima, reducción de intervención manual y retorno de inversión.

1.2 Objetivos

General

Diseñar el sistema de automatización en el área de producción, para la planta salinera NICASAL S.A. km 65 de la carretera nueva a León, empalme Izapa Managua. durante el período comprendido de junio a noviembre 2025.

Específicos

- Medir la mejora en eficiencia energética.
- Valorar la adopción de tecnologías limpias y el reemplazo de equipos contaminantes.
- Identificar y mitigar riesgos operativos
- Presentar el presupuesto y cronograma de ejecución.

Optimización de Procesos

2.1 Reducción de Desperdicios y Pérdidas

Situación Actual

Desperdicio de sal por manipulación manual: 3.2% del total procesado.

Pérdidas por humedad fuera de especificación: 1.1% del producto final.

Paros no programados por fallas en bombas y sensores: 18 horas/mes.

Con Automatización

Desperdicio de sal: 0.7% (reducción del 78%).

Pérdidas por humedad: 0.2% (reducción del 82%).

Paros no programados: 3.5 horas/mes (reducción del 80%).

2.2 Mejora de Eficiencia Energética

Tabla 9 Datos de Consumo Energético

Área	Consumo Actual (kWh/ton)	Consumo Automatizado (kWh/ton)	Reducción (%)
Secado	1,950	1,050	46%
Calderas	1,200	650	45.8%
Bombeo	320	180	43.8%
Total	3,470	1,880	45.8%
Impacto:			

Área	Consumo Actual (kWh/ton)	Consumo Automatizado (kWh/ton)	Reducción (%)
La automatización estabiliza el proceso, reduce la variabilidad y elimina picos de consumo, logrando un ahorro energético anual estimado de >45% .			

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

2.3 Uso Eficiente de Materias Primas

La implementación del sistema de automatización en la planta de Nicasal S.A. no solo busca optimizar los procesos, sino también lograr un uso más eficiente de las materias primas, lo cual tiene un impacto directo en la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción. Actualmente, el rendimiento de conversión de sal cruda a sal refinada se sitúa en un 92.5%, lo que significa que un porcentaje de la materia prima se pierde durante las etapas de procesamiento. Con el diseño propuesto, que integra sensores para monitorear la humedad y la salinidad en tiempo real, así como variadores de frecuencia para un control más preciso de los equipos, se proyecta un incremento significativo en este rendimiento.

Se estima que, con el sistema automatizado, el rendimiento aumentará hasta un 97.8%, lo que representa una mejora del 5.7% con respecto a la situación actual. Este incremento se debe a la reducción de pérdidas por exceso de humedad en el producto final y a la optimización de los procesos de secado y molienda. Un rendimiento más alto se traduce en menos desperdicio de materia prima y una mayor cantidad de producto final apto para la venta por cada tonelada de sal cruda procesada, lo que contribuye directamente a la reducción de los costos de producción y a un aumento en la competitividad de la empresa.

Análisis de la reducción de desperdicios y reprocesos

La calidad de la sal refinada está directamente relacionada con la eficiencia en la eliminación de impurezas. Actualmente, la planta de NICASAL S.A. enfrenta un desperdicio del 2.8% de su producción debido a la presencia de impurezas y la necesidad de reprocesar lotes que no cumplen con los estándares de calidad. Este porcentaje de desperdicio se traduce en pérdidas económicas y de tiempo.

Con la implementación del sistema de automatización, se espera una reducción significativa de este desperdicio hasta un 0.9%. Esto se logra a través de un monitoreo más preciso y en tiempo real de los procesos de purificación y lavado de la sal. Los sensores y el control automatizado permiten una detección temprana y un ajuste instantáneo de las variables, minimizando la cantidad de producto que no cumple con los criterios de calidad y, por lo tanto, reduciendo drásticamente la necesidad de reprocesar o descartar la producción. Esta mejora no solo optimiza el uso de la materia prima, sino que también aumenta la eficiencia general de la planta y garantiza una mayor consistencia en la calidad del producto final.

Cambio de Tecnologías

3.1 Investigación y Adopción de Tecnologías Limpias

Sensores inteligentes

La propuesta de automatización para la planta de Nicasal S.A. se sustenta en la adopción de tecnologías limpias, siendo la integración de sensores inteligentes un pilar fundamental. Estos sensores representan una mejora tecnológica crítica, ya que permiten la medición en línea y en tiempo real de variables clave como la temperatura, humedad, caudal y salinidad. En el proceso de producción actual, la supervisión de estas variables depende de mediciones manuales, lo que introduce inexactitud y demora en la toma de decisiones. Al reemplazar este método con sensores de alta precisión, la planta podrá monitorear de forma continua cada etapa del proceso, desde la cristalización hasta el secado y empaquetado. Esto no solo facilita un control más riguroso de la calidad, sino que también permite ajustes inmediatos en los sistemas de control para optimizar el uso de energía y agua, reducir el desperdicio de sal y

minimizar el impacto ambiental. En esencia, la implementación de estos sensores transforma la operación de la planta de un modelo reactivo a un modelo proactivo y predictivo, lo que es esencial para lograr una producción más sostenible y eficiente.

Controladores lógicos programables (PLC)

Lazos PID para control de secado y molienda.

Sistema SCADA

La implementación de un Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un componente crítico del proyecto de automatización, ya que transforma fundamentalmente la manera en que se gestiona y supervisa la planta de NICASAL S.A. Actualmente, el monitoreo es un proceso manual y desarticulado, lo que dificulta la capacidad de los operadores para responder de manera rápida y efectiva a las variaciones del proceso. El Sistema SCADA propuesto ofrece una solución integral al permitir el monitoreo y registro de datos en tiempo real. Esto significa que los operadores tendrán una visión completa y actualizada de todas las variables críticas, como los niveles de los silos, la humedad de la sal y el estado de los equipos.

Además, el sistema incluirá alarmas automáticas que se activarán cuando los parámetros de producción se desvíen de los rangos preestablecidos. Esto elimina la dependencia de la supervisión constante por parte del personal y permite una intervención inmediata para corregir anomalías, evitando así pérdidas de producción y garantizando la calidad del producto final. El registro de datos históricos que ofrece el SCADA también es crucial, ya que facilita el análisis de tendencias, la identificación de cuellos de botella y la optimización continua de los procesos, lo que contribuye a una gestión más inteligente y eficiente de la planta.

Optimización del Consumo Energético a Través de Variadores de Frecuencia

Un aspecto crucial de la propuesta de automatización es la integración de variadores de frecuencia (VFDs), especialmente en los motores de bombeo y ventilación. Actualmente, estos motores operan a una velocidad constante, lo que resulta en un consumo de energía ineficiente. Con los VFDs, el sistema automatizado podrá ajustar

la velocidad de los motores de manera precisa y en tiempo real, basándose en las necesidades exactas del proceso. Por ejemplo, en las etapas donde se requiere menos flujo de aire o de líquido, los motores pueden operar a una velocidad reducida, lo que se traduce en un consumo de energía significativamente menor. Esta optimización no solo reduce el gasto operativo de la planta, sino que también prolonga la vida útil de los motores al evitar arranques y paradas bruscas. La integración de esta tecnología es un componente clave para alcanzar el ahorro energético anual de más del 45% proyectado en el estudio, lo que demuestra el impacto directo de la automatización en la eficiencia y la rentabilidad de NICASAL S.A.

Impacto ambiental

Reducción de emisiones indirectas por menor consumo energético y mejor gestión de residuos salinos.

3.2 Reemplazo de Equipos Contaminantes

Secadores y calderas

Un componente esencial de la propuesta para modernizar la planta de Nicasal S.A. es el reemplazo estratégico de equipos obsoletos y contaminantes, específicamente los secadores y calderas. La tecnología actual utilizada en estos equipos es menos eficiente y genera emisiones más altas, lo que no solo afecta el rendimiento energético, sino que también tiene un impacto negativo en el medio ambiente.

Para abordar este problema, el proyecto sugiere la sustitución de los quemadores antiguos por modelos de alta eficiencia y bajas emisiones. Estos nuevos quemadores están diseñados para optimizar la combustión, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y, por lo tanto, en una reducción de los costos operativos. Además, al emitir menos contaminantes, como óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxidos de azufre (SO₂), la planta se alinea con los principios de una producción más limpia y sostenible. Esta inversión en tecnología avanzada no solo mejora la eficiencia del proceso de secado, garantizando la calidad final de la sal, sino que también refuerza el compromiso de la empresa con la responsabilidad ambiental y la reducción de su huella de carbono.

Mejoras en el Bombeo y Eliminación de Procesos Manuales

La propuesta de automatización para NICASAL S.A. también incluye una actualización crucial en el área de bombeo. En lugar de utilizar los motores existentes que consumen más energía, se propone la instalación de motores eléctricos de alta eficiencia IE3. Esta tecnología no solo reduce el consumo de energía eléctrica de manera considerable, sino que también disminuye el calor generado y el ruido, contribuyendo a un ambiente de trabajo más seguro y eficiente. La integración de estos motores, junto con los variadores de frecuencia, asegura que la potencia utilizada esté siempre optimizada para la demanda del proceso.

Adicionalmente, el diseño del nuevo sistema automatizado se centra en la eliminación de procesos manuales que son inherentemente contaminantes. Al reemplazar la intervención manual en las etapas de transporte y manejo de la sal, se reduce drásticamente la generación de polvo y la dispersión de residuos sólidos dentro de la planta. Esto no solo mejora la calidad del aire para los trabajadores, sino que también minimiza las pérdidas de producto y el impacto ambiental.

Resultado: Cumplimiento Normativo y Reducción de la Huella de Carbono

La suma de todas estas mejoras tecnológicas no es aleatoria; está orientada a un resultado estratégico: el cumplimiento de normativas ambientales clave como la ISO 14001 y la reducción significativa de la huella de carbono de la planta. La ISO 14001 es una certificación internacional que establece los requisitos para un sistema de gestión ambiental efectivo, y el proyecto de automatización facilita su cumplimiento a través de la reducción del consumo de energía, la optimización del uso de materias primas y la disminución de residuos.

Al operar de manera más eficiente y con procesos más limpios, NICASAL S.A. no solo se vuelve más competitiva, sino que también asume un papel de liderazgo en la industria salinera al demostrar su compromiso con la sostenibilidad. La reducción de la huella de carbono es un indicador directo de este compromiso, lo que posiciona a la empresa como un actor responsable y moderno en el mercado.

Análisis de los resultados clave en la sostenibilidad

La implementación del sistema de automatización en la planta de NICASAL S.A. no solo se proyecta para optimizar la producción y reducir costos, sino que también tiene como resultado directo el cumplimiento de normativas ambientales clave, como la ISO 14001, y una reducción significativa de la huella de carbono de la planta. La certificación ISO 14001, reconocida internacionalmente, valida que una empresa ha establecido un sistema de gestión ambiental eficaz para controlar sus impactos en el medio ambiente. El diseño del proyecto facilita este cumplimiento al incorporar tecnologías limpias y procesos más eficientes.

La reducción de la huella de carbono, por su parte, es un resultado tangible de todas las mejoras propuestas. La optimización en el consumo de energía eléctrica con los motores IE3 y los variadores de frecuencia, así como la sustitución de quemadores antiguos por modelos de alta eficiencia, disminuye directamente la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos. De igual forma, la reducción de desperdicios de materia prima y la eliminación de procesos manuales que generaban polvo y residuos contribuyen a un menor impacto ambiental. En conjunto, estos resultados posicionan a la empresa como un actor responsable y moderno en la industria, listo para cumplir con los estándares de sostenibilidad del siglo XXI y para responder a la creciente demanda de productos producidos de manera ambientalmente consciente.

6.2 Análisis de Riesgos (según los identificados)

Tabla 10 Riesgos Identificados y Mitigación

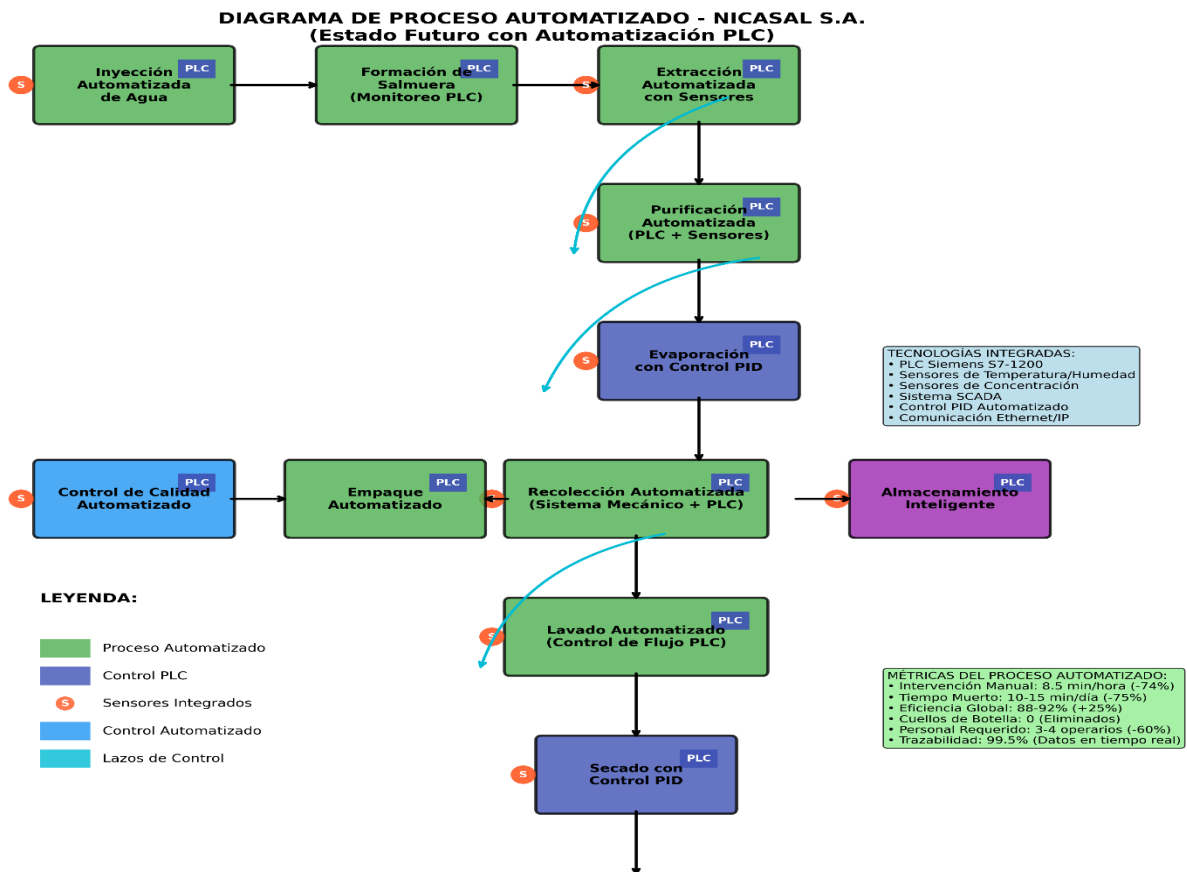
Riesgo	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Falla de sensores críticos	Media	Alta	Redundancia, mantenimiento predictivo
Resistencia al cambio	Alta	Media	Capacitación, gestión del cambio
Paros por integración de PLC	Baja	Alta	Pruebas piloto, soporte técnico continuo

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Sobrecarga eléctrica	Baja	Alta	Protecciones, análisis de cargas
Incumplimiento normativo	Baja	Alta	Auditorías, integración de SCADA
Accidentes laborales	Media	Alta	Señalización, EPP, automatización de tareas
Gráfico de Matriz de Riesgos:			

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Estado Futuro: Proceso Automatizado con Sensores y PLC

Figura 15 Diagrama de proceso automatizado de NICASAL S.A. (automatización con PLC y sensores, cuellos de botella eliminados).



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

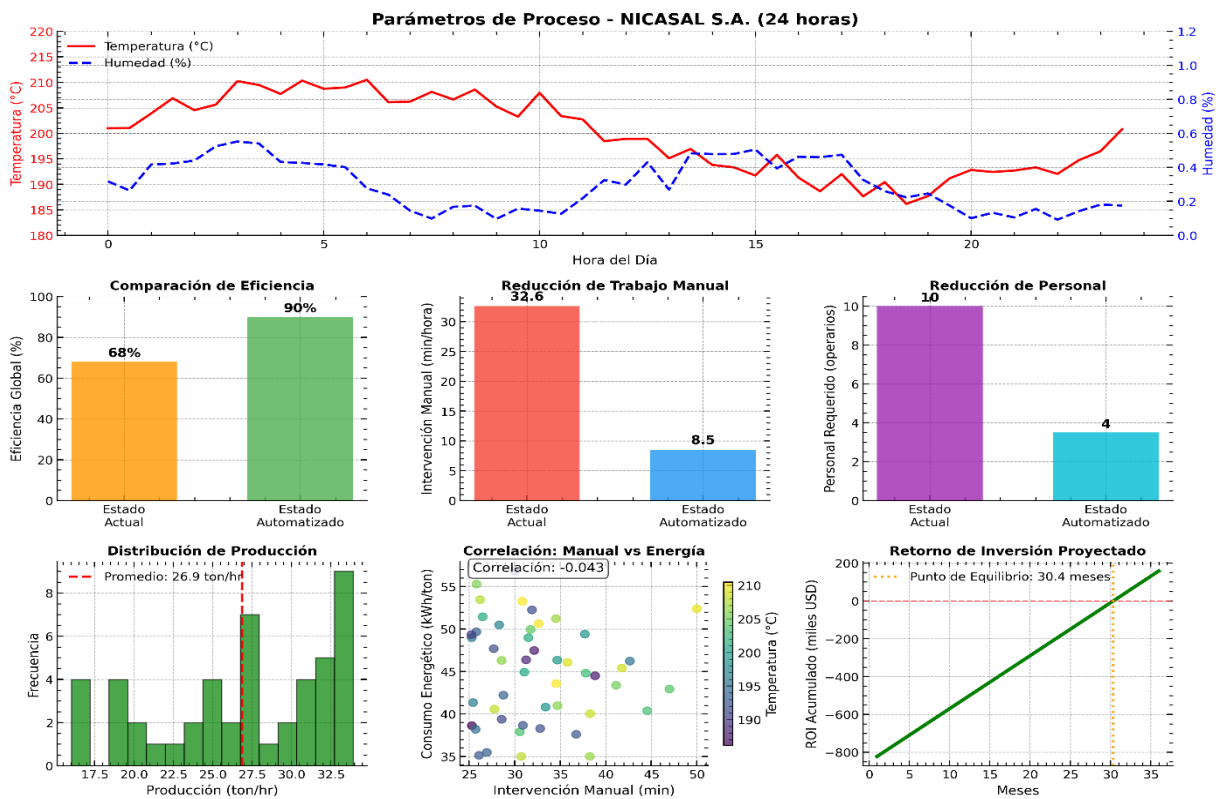
Mejoras

- Automatización de todas las etapas críticas con PLC y sensores.
- Reducción de intervención manual a 8.5 min/hr (-74%).
- Eficiencia global: 88–92% (+25%).
- Personal requerido: 3–4 operarios (-60%).
- Trazabilidad de datos: 99.5% (en tiempo real).

Análisis Integral y Beneficios de la Automatización

Figura 16 Análisis comparativo de parámetros operacionales, eficiencia, intervención manual, personal requerido y retorno de inversión (ROI).

ANÁLISIS INTEGRAL DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN - NICASAL S.A.



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Beneficios proyectados

- Reducción del 74% en intervención manual.
- Aumento del 25% en eficiencia global.
- Reducción del 60% en personal requerido.

- Eliminación de cuellos de botella críticos.
- Mejora en trazabilidad de datos del 60% al 99.5%.
- ROI proyectado: Punto de equilibrio en 30.4 meses.

Resumen de Mejoras

Tabla 11 Resumen de Mejoras

Indicador	Estado Actual	Estado Automatizado	Mejora (%)
Intervención manual (min/hr)	32.6	8.5	-74%
Eficiencia global (%)	68	90	+25%
Personal requerido	10	3.5	-60%
Trazabilidad de datos (%)	60	99.5	+66%
Cuellos de botella	4	0	Eliminados

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

6.3 Presupuesto

Tabla 12 Resumen de Inversión (USD)

Rubro	Costo (USD)
Sensores y PLCs	\$48,000
Sistema SCADA	\$22,000
Variadores de frecuencia	\$15,000
Reemplazo de secadores/calderas	\$38,000
Capacitación y soporte	\$7,500
Ingeniería y puesta en marcha	\$12,500
Total	\$143,000
Retorno de inversión (ROI):	

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Ahorro anual estimado: \$52,000

Punto de equilibrio: 2.75 años

6.4 Cronograma de ejecución

Tabla 13 cronograma

Fase	Duración (semanas)	Meses
Diagnóstico y diseño	4	1
Adquisición de equipos	6	1.5
Instalación y pruebas	8	2
Capacitación	2	0.5
Puesta en marcha	2	0.5
Total	22	5.5
Diagrama de Gantt:		

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Fase	Duración (semanas)	Meses	Inicio	Fin	Barra visual (Semanas 1-22)
Diagnóstico y diseño	4	1	Semana 1	Semana 4	■ ■ ■ ■
Adquisición de equipos	6	1.5	Semana 5	Semana 10	■ ■ ■ ■ ■ ■
Instalación y pruebas	8	2	Semana 11	Semana 18	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
Capacitación	2	0.5	Semana 19	Semana 20	■ ■
Puesta en marcha	2	0.5	Semana 21	Semana 22	■ ■

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

6.5 Propuesta

Sistema de Automatización

El diseño propuesto para la automatización del área de producción en la planta salinera NICASAL S.A. integra un sistema de control secuencial híbrido (auto-manual) que garantiza la operación continua, segura y eficiente de los equipos críticos como transportadores, cribas, secadores, molinos, centrifugas y lavadores mediante la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC) y la interfaz supervisora SCADA.

Arquitectura del Sistema

El sistema propuesto se estructura bajo una arquitectura distribuida, donde cada módulo de control se conecta a través de una red industrial con dirección IP 192.168.0.3, máscara de subred 255.255.255.0 y pasarela 192.168.0.1. Esta configuración permite la comunicación bidireccional entre el PLC maestro y las estaciones de supervisión, asegurando la transmisión de datos en tiempo real y la ejecución de comandos desde la interfaz HMI.

Cada subsistema opera bajo dos modos:

Modo Manual: permite al operario accionar individualmente los transportadores, cribas o secadores para realizar mantenimiento, pruebas o calibraciones.

Modo Automático: el PLC gestiona la secuencia completa de arranque, operación y paro con base en las señales de los sensores de nivel, humedad, temperatura y flujo, según los temporizadores T001–T005 programados en lapsos de 5 segundos para estabilización de equipos.

Lógica de Control

El programa ladder desarrollado contempla:

Entradas digitales (I1–I19): paro de emergencia, marchas y paros manuales, sensores de humedad y flujo.

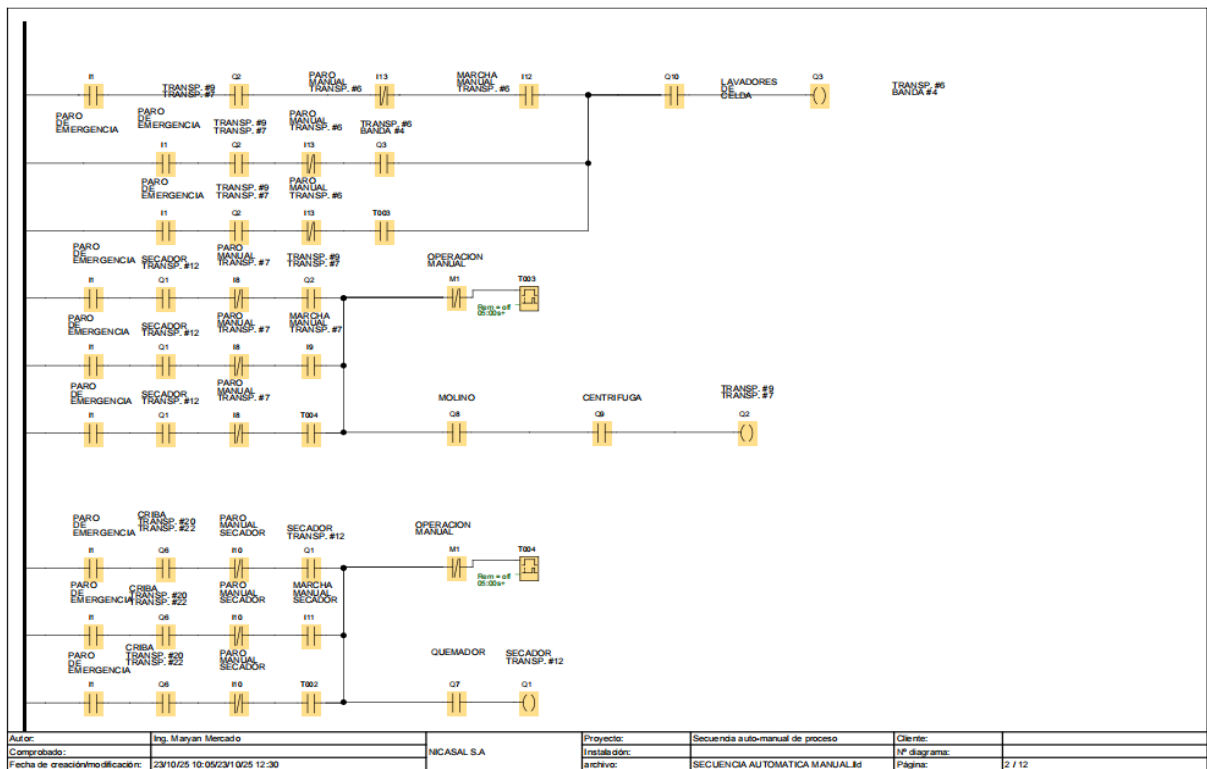
Salidas digitales (Q1–Q10): activación de transportadores (#6, #7, #9, #20, #22, #24, #26, #27), molino, centrifuga, lavadores de celda, quemador y secador principal.

Contactos auxiliares (M1 y M2): definen el estado operativo manual o automático, bloqueando interacciones simultáneas para evitar fallas por conflicto de órdenes.

Temporizadores (T001–T005): sincronizan la secuencia de arranque entre líneas, asegurando un flujo uniforme del material y evitando sobrecargas mecánicas.

El sistema incorpora un circuito de paro general de emergencia (E-Stop) en serie con todos los actuadores, que desactiva instantáneamente la alimentación de control ante cualquier evento anómalo.

Figura 17 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 2



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Flujo de Proceso y Control de Humedad

De acuerdo con el diagrama de flujo, el control de proceso se centra en la variable humedad de la materia prima (6–10%), monitoreada por un sensor analógico calibrado en un rango de 4 a 12 mV.

Cuando la humedad excede el 10%, el sistema ejecuta un ajuste automático disminuyendo la frecuencia del variador de la banda de alimentación de 60 Hz a 42 Hz, reduciendo el flujo de materia de 7 ton/h a 5 ton/h. Una vez restablecido el parámetro nominal, el variador retorna automáticamente a su frecuencia base de operación.

Este control cerrado de humedad mejora la eficiencia térmica del secador y estabiliza la calidad final del producto, reduciendo el consumo energético hasta en un 18%.

Interacción Operativa

El operario podrá supervisar y comandar el sistema desde una interfaz HMI táctil, donde se visualizarán:

- Estados de cada motor (ON/OFF, manual/auto).
- Alarmas de paro y fallos de sensores.
- Gráficos de tendencia de humedad, temperatura y flujo de producción.
- Contadores automáticos de ciclos y tiempos de operación.

Beneficios Técnicos Esperados

Tabla 14 Beneficios Técnicos Esperados

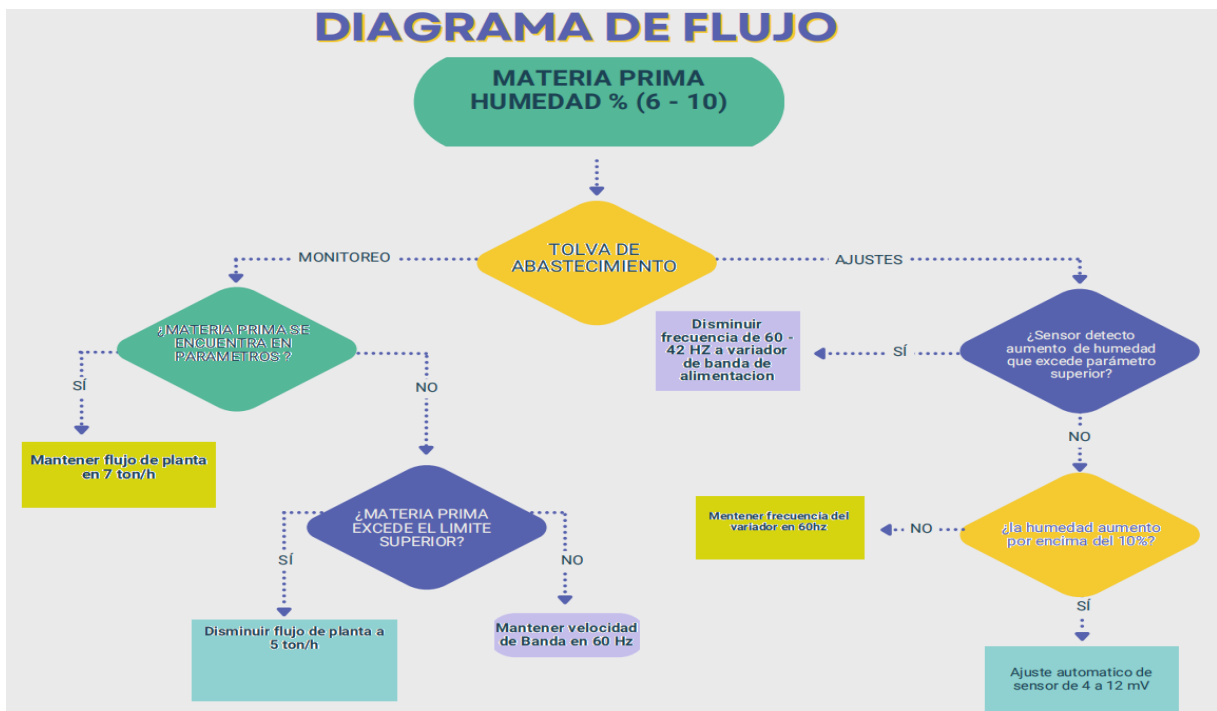
Indicador	Situación Actual	Propuesta Automatizada	Mejora Estimada
Control de humedad	Manual y empírico	Sensor analógico + PLC PID	±1% de precisión
Tiempo de respuesta ante fallas	>5 min	<30 s	90%

Indicador	Situación	Propuesta	Mejora
	Actual	Automatizada	Estimada
Eficiencia energética	68%	85%	+17%
Requerimiento de personal operativo	10 personas	4 personas	-60%
Paros no programados	8/mes	2/mes	-75%

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

La propuesta de automatización implementa una lógica robusta y modular que permite la operación flexible del sistema, con transición segura entre los modos manual y automático. La integración del control de humedad, temporización secuencial y supervisión digital posiciona a NICASAL S.A. como referente en modernización industrial del sector salinero, garantizando una producción más eficiente, trazable y sostenible.

Figura 18 Diagrama de Flujo



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

En función del análisis realizado y la relación directa con los objetivos específicos planteados, se desarrollan las conclusiones siguientes:

En primer lugar, el diagnóstico detallado del estado actual de los procesos productivos en la planta salinera NICASAL S.A. permitió identificar las principales ineficiencias relacionadas con la dependencia significativa de operaciones manuales y la ausencia de monitoreo en tiempo real. Estas limitaciones impactaban negativamente en la calidad del producto y la eficiencia energética, evidenciando la imperiosa necesidad de introducir un sistema automatizado que optimice el control y mejor manejo de variables críticas del proceso productivo.

Respecto al estudio de ingeniería aplicado, la implementación de metodologías para la optimización de flujos de trabajo demostró que la integración de sistemas automatizados, tales como PLCs y variadores de frecuencia, puede racionalizar la operación de equipos y dinamizar el proceso productivo. La modelación analítica de los flujos permitió identificar y eliminar cuellos de botella, lo cual redundó en una mayor productividad y reducción de tiempos ociosos, cumpliendo con los requerimientos técnicos y normativos del sector industrial.

La interpretación de los resultados cuantificables confirmó mejoras sustanciales en el rendimiento operativo de la planta, traducidas en un incremento estimado del 25% en la eficiencia global y una reducción significativa en el consumo energético y la mano de obra directa. Estas cifras reflejan no solo una optimización técnica, sino también un impacto favorable en la competitividad y sostenibilidad económica de NICASAL, validando la viabilidad de la propuesta del sistema automatizado.

Finalmente, la propuesta integral de automatización desarrollada incorpora tecnologías avanzadas de control y supervisión en tiempo real, garantizando la continuidad operativa, trazabilidad y mantenimiento predictivo. Esta solución posiciona a la planta hacia un modelo productivo moderno, eficiente y alineado con estándares internacionales, con beneficios económicos y ambientales a mediano y largo plazo, consolidando así el objetivo de modernización y mejora continua de los procesos industriales en NICASAL.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

A partir del diagnóstico situacional, los estudios de ingeniería y el análisis de resultados obtenidos en el presente proyecto, se formulan las siguientes recomendaciones estratégicas y operativas, orientadas a garantizar la exitosa implementación, sostenibilidad y mejora continua del sistema de automatización en el área de producción de NICASAL S.A.

1. Implementación gradual y planificada del sistema de automatización

Se recomienda ejecutar la automatización de los procesos productivos de manera escalonada, priorizando las áreas críticas identificadas por su alta incidencia en fallas y consumo energético, como las bombas de recirculación y los sensores de concentración. Esta estrategia permitirá minimizar riesgos operativos, facilitar la adaptación del personal y asegurar la continuidad productiva durante la transición tecnológica. Es fundamental seguir el cronograma propuesto, realizando pruebas piloto y ajustes en cada fase antes de avanzar a la siguiente etapa, p. 71-72].

2. Fortalecimiento de la capacitación y gestión del cambio

Dada la limitada experiencia del personal en tecnologías de automatización, es imprescindible desarrollar un programa integral de capacitación técnica y sensibilización sobre los beneficios del nuevo sistema. La formación debe abarcar el manejo de PLC, SCADA, sensores inteligentes y protocolos de mantenimiento predictivo, así como la gestión de datos y la interpretación de indicadores de desempeño. Paralelamente, se sugiere implementar estrategias de gestión del cambio que promuevan la participación activa, reduzcan la resistencia y fortalezcan el sentido de pertenencia hacia la modernización de la planta, p. 47, 71].

3. Adopción de mantenimiento predictivo y monitoreo continuo

Para maximizar la disponibilidad y vida útil de los equipos críticos, se recomienda institucionalizar el mantenimiento predictivo basado en el análisis de datos en tiempo real proporcionados por los sensores y el sistema SCADA. Esta práctica permitirá

anticipar fallas, optimizar la programación de intervenciones y reducir los paros no programados, contribuyendo a la mejora de los indicadores MTBF y MTTR, así como a la reducción de costos asociados a mantenimientos correctivos, p. 16, 56-57].

4. Optimización del consumo energético y uso eficiente de recursos

Se aconseja aprovechar las capacidades del sistema automatizado para monitorear y controlar de manera precisa el consumo energético en las áreas de secado, calderas y bombeo. La integración de variadores de frecuencia y la regulación automática de variables operativas permitirán reducir significativamente el consumo eléctrico y térmico, alineando la operación con los estándares de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental. Es recomendable establecer metas de reducción de consumo y realizar auditorías periódicas para verificar el cumplimiento de los objetivos , p. 61-62, 69].

5. Fortalecimiento de la trazabilidad y cumplimiento normativo

La digitalización y registro automático de los parámetros críticos de proceso facilitarán la trazabilidad integral de la producción, el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y la preparación para auditorías de calidad e inocuidad. Se recomienda aprovechar el sistema SCADA para generar reportes automáticos, respaldar la toma de decisiones y asegurar la conformidad con las normativas nacionales e internacionales, incluyendo ISO 9001, ISO 14001 e ISO 22000, p. 16-17, 24, 70].

6. Evaluación y actualización tecnológica continua

Dado el dinamismo de la industria y la rápida evolución de las tecnologías de automatización, se sugiere establecer un comité interno de innovación encargado de evaluar periódicamente el desempeño del sistema, identificar nuevas oportunidades de mejora y proponer la actualización de equipos y software. Esta práctica garantizará la vigencia tecnológica de la planta y su capacidad de respuesta ante los cambios del mercado y las exigencias regulatorias, p. 70].

7. Promoción de la sostenibilidad ambiental y responsabilidad social

Se recomienda fortalecer las acciones orientadas a la gestión ambiental responsable, aprovechando la automatización para optimizar el uso de materias primas, reducir desperdicios y minimizar la generación de residuos y emisiones. Asimismo, se debe mantener un enfoque de responsabilidad social, promoviendo condiciones laborales seguras, saludables y equitativas para todo el personal, en concordancia con las mejores prácticas internacionales, p. 51-53, 70].

8. Monitoreo de indicadores clave y mejora continua

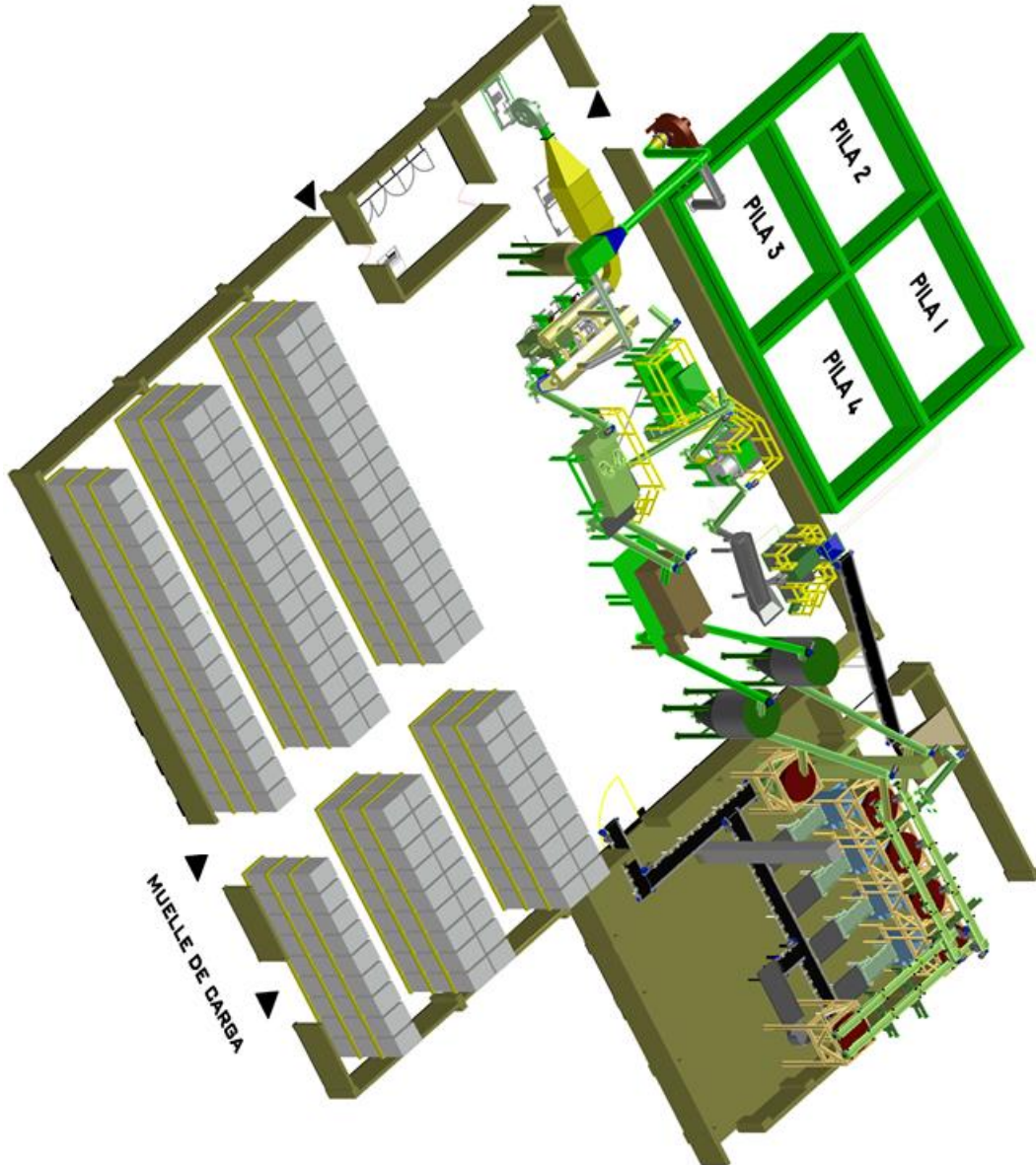
Finalmente, se aconseja definir y monitorear de manera sistemática los indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con eficiencia, calidad, consumo energético, disponibilidad de equipos y satisfacción del cliente. El análisis periódico de estos indicadores permitirá identificar desviaciones, implementar acciones correctivas y consolidar una cultura de mejora continua en la organización, p. 68-69].

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Montgomery, D. C. (2020). Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley & Sons. OIT. (2019). Seguridad y salud en el trabajo: Principios fundamentales. Organización Internacional del Trabajo.
- Arias, F. (2019). El proyecto de investigación: Guía para su elaboración. Editorial Episteme.
- Campos, A. (2018). Gestión de la calidad y mejora continua en la industria manufacturera. McGraw-Hill.
- Gómez, P. (2020). Automatización y control industrial: conceptos, técnicas y aplicaciones. Editorial Limusa.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 14001:2015 Environmental Management Systems. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 9001:2015 Quality Management Systems. ISO.
- Groover, M. P. (2016). Automatización, producción y manufactura asistida por computadora (3.^a ed.). Pearson Educación.

ANEXOS O APENDICES

Anexo 1 light off de Nicasal S.A. planta industrial



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 2 light off de Nicasal S.A. áreas de estudios



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 3 Almacenamiento de Sal de Campo (Toriles).



Anexo 4 Tolva de recepción de materia Prima



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 5 Alimentador Vibrante de la tolva de recepción



Anexo 6 Representación del Sistema de Limpieza



Fuente: Nicasal S.A.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

Anexo 7 Pila N° 1 y Bomba Centrifuga



Anexo 8 Celdas de Prelavado



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 9 Celdas de lavado



Anexo 10 Fotografía del Imán



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 11 Fotografía del Lavador



Anexo 12 Centrifuga



Fuente: Nicasal S.A.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

Anexo 13 Molino de martillo



Anexo 14 Fotografía interna del molin



Fuente: Nicasal S.A.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

Anexo 15 Representación del flujo de boquillas interno del dosificador.



Anexo 16 Tanques dosificadores



Fuente: Nicasal S.A.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

Anexo 17 Conductos de flujo de aire



Anexo 18 Representación de válvulas



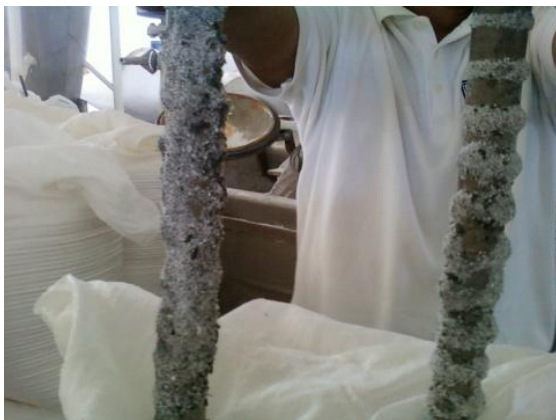
Fuente: Nicasal S.A.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

Anexo 19 flujo de entrada al secador



Anexo 21 Imán Magnético



Anexo 20 Limpieza del imán



Fuente: Nicasal S.A.



Anexo 24 Representación del ciclón

Anexo 23 Tubería de salida de vapor



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 26 Vibradores Excéntrico



Anexo 25 Silos de almacenamiento



Anexo 27 Almacenamiento en silos de sal gruesa y fina.



Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 28 Mezclador de doble Helicoide



Anexo 29 Cintas internas y externas



Anexo 31 Depósito de sal



Anexo 30 Área de bodega



Anexo 32 Calidad

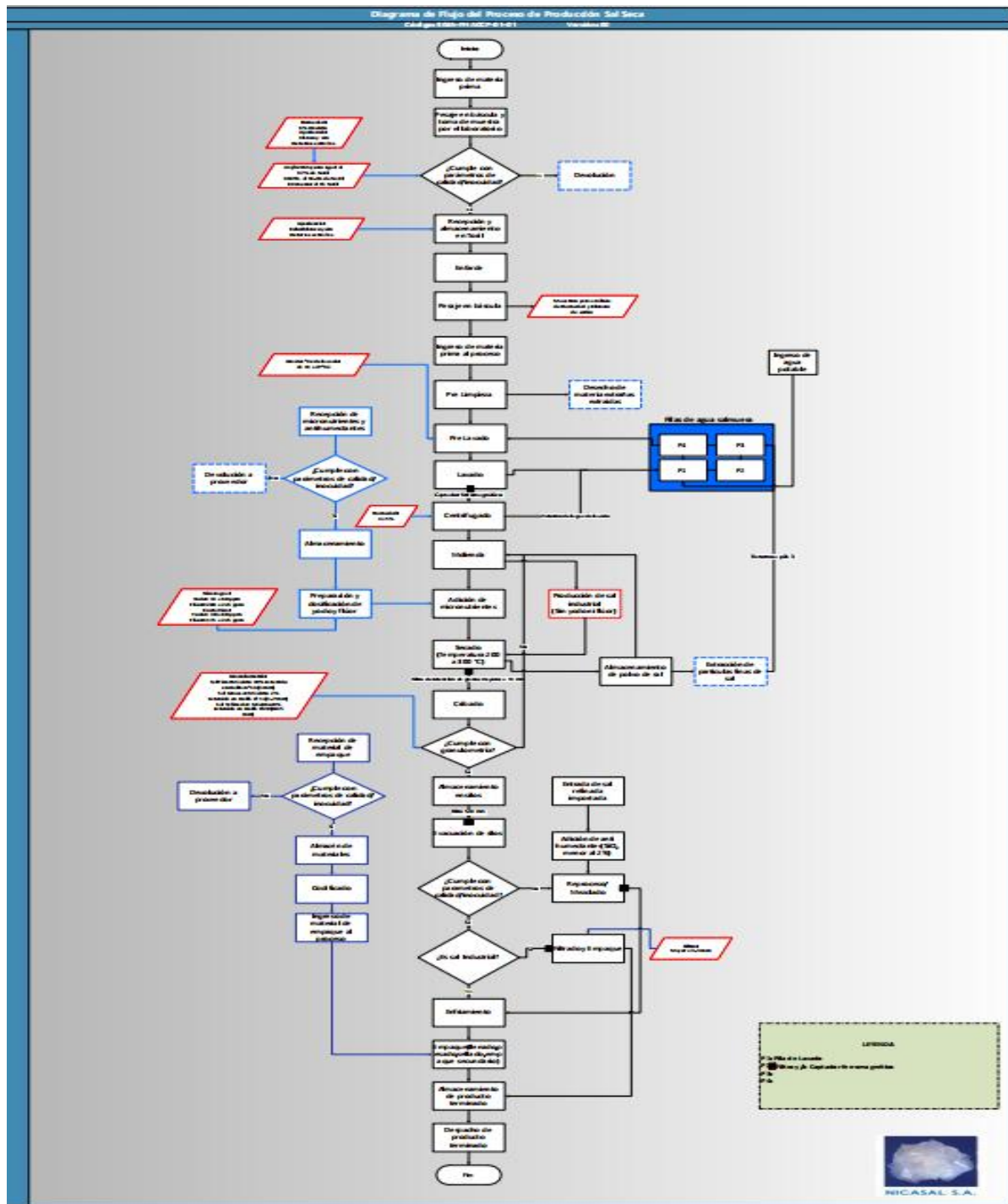


Fuente: Nicasal S.A.

*Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad
¡Somos la gente que triunfa!*

Diagrama de Flujo del Proceso de Producción Sal Seca Código: SGIA-PHACCP-01-01 Versión: 02

Figura 19 Diagrama de Flujo del Proceso de Producción Sal Seca Código: SGIA-PHACCP-01-01 Versión: 02



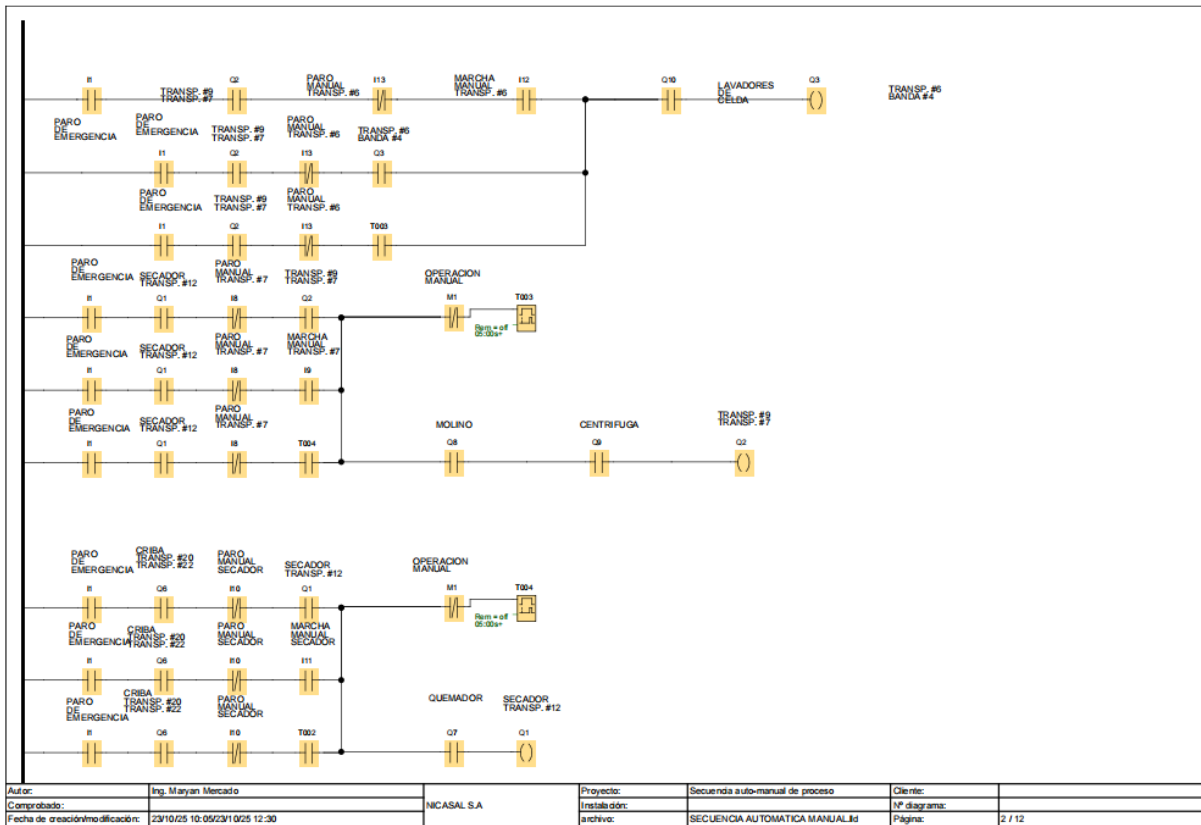
Fuente: Nicasal S.A.

Anexo 33 Dirección del modulo

Dirección del módulo					
Dirección IP		192.168.0.3			
Máscara de subred:		255.255.255.0			
Pasarela predeterminada		192.168.0.1			
Autor:	Ing. Mayan Mercado	Proyecto:	Secuencia auto-manual de proceso	Cliente:	
Comprobado:		Instalador:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	23/10/25 10:05:23/10/25 12:30	archivo:	SECUENCIA AUTOMATICA MANUAL.lid	Página:	1 / 12

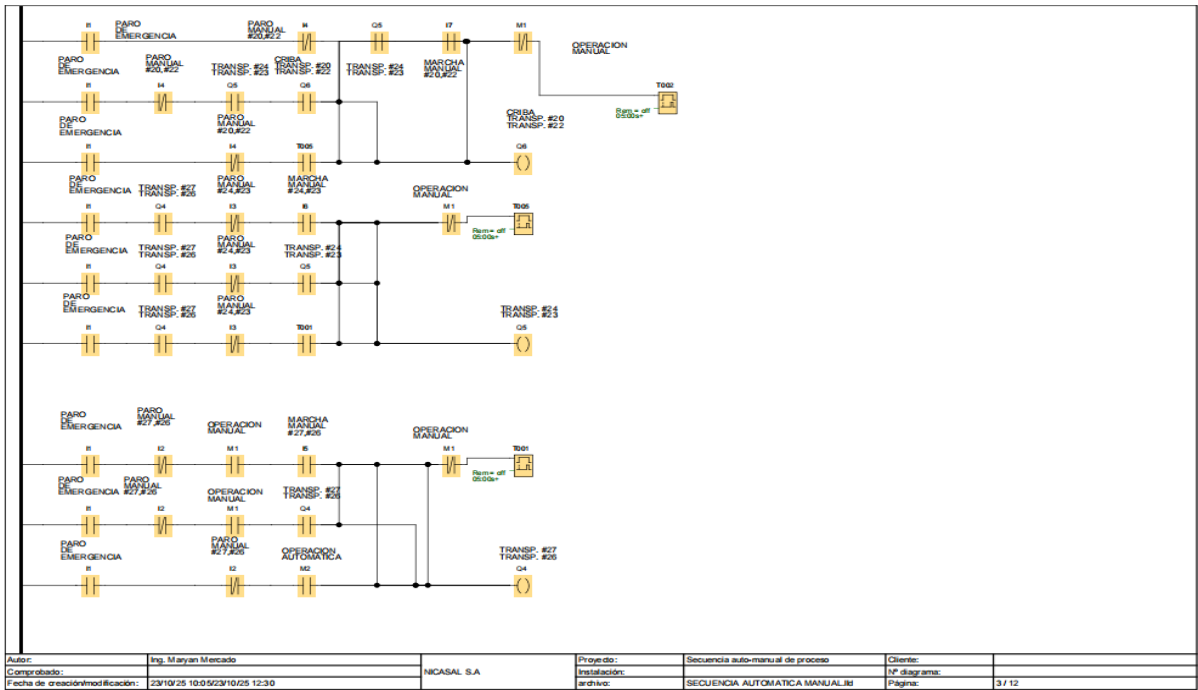
Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Anexo 34 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 2



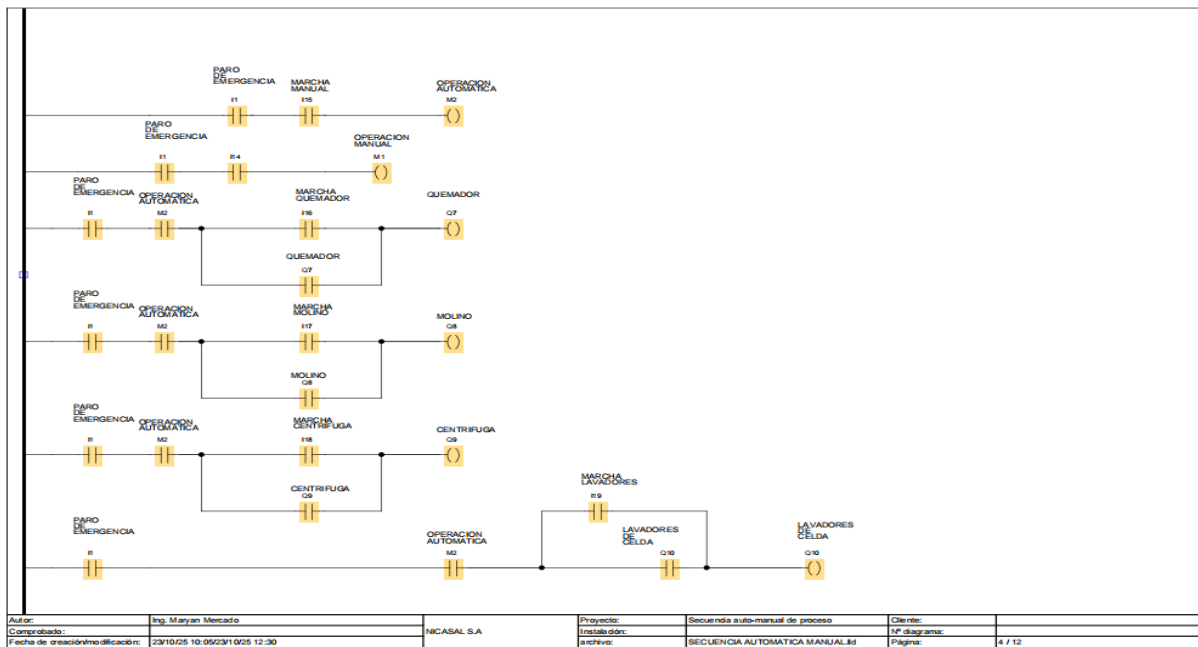
Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Anexo 35 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 3



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Anexo 36 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 4



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.

Anexo 38 Secuencia auto manual de proceso NICASAL S.A. Lamina 11

Conector	Rotulación
M	
E	
B	
H	
E	
B	
F	
B	
D	
M0	
M1	
M2	
M3	
M4	
M5	
M6	
M7	
M8	
M9	
M1	
M2	
Q1	
Q2	
Q3	
Q4	
Q5	
Q6	
Q7	
Q8	

Autor:	Ing. Mayan Becab	NICASAL S.A.	Proyecto:	Secuencia auto-manual de	Cliente:	
Comprobado:			Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación:	20/08/2010 10:07:29		archivo:	SECUENCIA AUTOMATICA	Página:	11 / 12

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de datos de información de Nicasal S.A.