



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ENSACADO PARA SACOS DE 25 KG.
CON ROBOTS, SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL, SERVOMOTORES Y
CINTAS TRANSPORTADORAS AUTOMATIZADAS EN EL PATIO DE
CONTENEDORES DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS.

AUTOR

Salguero Sumba, Victor Hugo

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR

Cruz Dávalos, Patricio Javier

Santa Elena, Ecuador

Año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Patricio Cruz Dávalos, Ph.D.
TUTOR**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Msc.
DOCENTE ESPECIALISTA**

**Ing. Efrén Herrera Muentes Ph.D.
DOCENTE ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **Salguero Sumba, Victor Hugo**, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

TUTOR

Ing. Patricio Javier Cruz Dávalos, Ph.D.

Santa Elena, 12 de diciembre de 2024



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, VICTOR HUGO SALGUERO SUMBA

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Automatización del Proceso de Ensacado para sacos de 25 Kg. con Robots, Sistemas de visión artificial, servomotores y cintas transportadoras automatizadas en el Patio de Contenedores de una empresa de alimentos, previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 12 de diciembre de 2024

EL AUTOR

Victor Hugo Salguero Sumba



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado: “Automatización del Proceso de Ensacado para Sacos de 25 Kg. con Robots, Sistemas de Visión Artificial, Servomotores y Cintas Transportadoras Automatizadas en el Patio de Contenedores de una empresa de alimentos”, presentado por el estudiante, Victor Hugo Salguero Sumba fue enviado al sistema antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 5%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS <i>magister</i>	AUTOMATIZACIÓN PROCESO DE ENSACADO	5% Textos sospechosos
Nombre del documento: Trabajo Titulación_VSalguero.docx ID del documento: 951b0a91f3d3187487fee23640c6e1eb29d69515 Tamaño del documento original: 6,05 MB Autor: VÍCTOR SALGUERO SUMBA		Depositante: PATRICIO JAVIER CRUZ DÁVALOS Fecha de depósito: 10/12/2024 Tipo de carga: interfaz fecha de fin de análisis: 10/12/2024

TUTOR

Ing. Patricio Javier Cruz Dávalos, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
AUTORIZACIÓN**

Yo, Victor Hugo Salguero Sumba, autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 12 de diciembre de 2024

EL AUTOR

Victor Hugo Salguero Sumba

AGRADECIMIENTO

Profundo agradecimiento a Dios y a cada uno que aportó un grano de arena para alcanzar este logro ha sido un viaje desafiante, pero lleno de bendiciones, y no podría haberlo logrado sin su apoyo y amor.

A mis hijos, su paciencia y comprensión durante los momentos en que estuve ocupado con mis estudios. Su apoyo me ha motivado a seguir adelante y me han recordado que siempre vale el esfuerzo por una meta.

A mi esposa, su incondicional apoyo. Este logro es tan de ustedes como mío. Gracias por estar siempre a mi lado.

Con gratitud y amor.

Victor Hugo Salguero Sumba

DEDICATORIA

A mi Mike y mi Gabo,

A Ustedes mi mayor inspiración y el motor de todos mis días. Cada paso en este camino lo he dado con la esperanza de que algún día comprendan que con esfuerzo, perseverancia y amor, no hay sueño que sea inalcanzable. Este logro es tanto mío como de Ustedes, porque cada sonrisa, abrazo y palabra de aliento me llenaron de fuerza para seguir adelante. Gracias por su paciencia, comprensión y por recordarme siempre lo que realmente importa.

Con todo mi amor.

Victor Hugo Salguero Sumba

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO.....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General:	4
Objetivos Específicos:	4
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Revisión de literatura	5
1.2 Desarrollo teórico y conceptual.....	6
1.2.1 Tipos de tolvas de almacenamiento	7
1.2.1.1 Tolvas Dosificadoras por Gravedad	7
1.2.1.2 Tolvas de Transporte Neumático	7
1.2.1.3 Tolvas de Almacenamiento	7
1.2.1.4 Tolva con pesaje automático	8
1.2.2 Tipos de sacos empleados en empresas de alimentos.	9

1.2.3 Sellado del saco	11
1.2.3.1 Sellado del saco por cosido.....	11
1.2.3.1.1 Cosido con una sola puntada (Single Thread Chain Stitch)	12
1.2.3.1.2 Cosido con doble puntada (Double Thread Chain Stitch).....	12
1.2.3.2 Termosellado de sacos.....	12
1.2.3.2.1 Proceso del termosellado de sacos:.....	13
1.2.3.2.1 Tipos de termosellado.....	13
1.2.4 Proceso de ensacado manual de productos agrícolas	14
1.2.5 Proceso de ensacado robotizado de productos agrícolas	17
1.2.5.1 Flujo de sólidos en tolvas con válvula on/off.	17
1.2.5.2 Aplanado de sacos para la automatización.	18
1.2.5.2.1 Aplanamiento de sacos de polietileno.	18
1.2.5.2.2 Principios del aplanado con calentamiento y corrientes de aire.	18
1.2.5.3 Tipos de herramientas de agarre para sacos en procedimientos automatizados de ensacado.....	20
1.2.5.3.1 Herramientas de agarre mecánicas	20
1.2.5.3.2 Herramientas de agarre de vacío (ventosas)	20
1.2.5.3.3 Herramientas de agarre neumáticas	20
1.2.5.3.4 Características clave de las herramientas de agarre de agarre en sistemas de ensacado automatizado.....	21
1.2.5.4 Cierre del saco	22
1.2.5.5 Paletización	22
1.2.6 El controlador del sistema	23
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	27

2.1. Contexto de la investigación	27
2.2. Diseño y alcance de la investigación.....	28
2.2.2. Factores para elegir la ensacadora de boca abierta adecuada.....	28
2.2.2.1. Presupuesto	29
2.2.2.2. Tamaño	29
2.2.2.3. Velocidad de producción	29
2.2.2.4. Tipos de sacos	29
2.2.2.5. Tipo de producto.....	30
2.2.2.6. Elección de su línea de automatización	30
2.2.3 Producción necesaria para ensacar	30
2.2.3.1 Cálculo de insumos	31
2.2.4 Estructuras y marcos robustos	31
2.2.4.1 Máquina de Pesaje para sacos.....	32
2.2.4.2 Máquina Dispensadora Aplanadora de Sacos.....	34
2.2.4.3 Cinta Transportadora	36
2.2.4.4 Máquina Ensacadora Automatizada	37
2.2.4.5 Máquina Dispensadora de Palés	39
2.2.4.6 Transportador apilador.....	42
2.2.4.7 Curvas transportadoras y cintas inclinadas.....	43
2.2.7 Programación del sistema de ensacado.....	51
2.2.7.1 Control del Ensacado.....	52
2.2.7.2 Cierre del Saco.....	53
2.2.7.3 Transporte de los Sacos y Paletizado.....	53
2.2.7.4 Programación del robot.....	55

2.2.7.4.1 Sistema operativo RobotWare	58
2.3. Tipo y métodos de investigación	59
2.3.1 Investigación Cuantitativa	60
2.3.2 Investigación Cualitativa	61
2.3.3. Métodos de Investigación	62
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	63
2.4.1 Técnicas Cuantitativas	64
2.4.2 Técnicas Cualitativas	64
2.5. Procesamiento de la evaluación	64
2.6. Evaluación de los Resultados.....	65
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
3.1 Análisis de tiempos por fase	67
3.1.1 Tiempos por proceso manual	67
3.1.2 Peso del saco proceso manual.....	68
3.1.2.1. Análisis de resultados ensacado manual.....	69
3.1.3 Tiempos de producción de sacos automatizado.....	70
3.1.4 Datos peso del saco proceso automatizado.....	71
3.1.4.1 Análisis de resultados de ensacado automatizado.	72
3.1.4.2 Discusión y áreas de mejora	72
3.2 Encuestas a colaboradores para medir nivel de satisfacción.....	73
Cuestionario sobre la experiencia laboral (escala de Likert).....	75
3.3 Análisis económico.....	78
3.4 Discusión de resultados.....	79
3.4.1 Análisis de la satisfacción laboral.....	79
3.4.2 Análisis cuantitativo después de la automatización.....	81
3.4.2.1 Eficiencia de nuevos procesos de automatización (calificación: 3,5)	81

3.4.2.2 Impacto en la carga de trabajo (puntuación: 2,75)	81
3.4.2.3 Formación en máquinas nuevas (calificación: 2,15)	82
3.4.3 Análisis de inversiones	82
3.4.3.1 Costos anuales	82
3.4.3.2 Retorno de la inversión (ROI)	82
3.4.3.3 Beneficios adicionales de la automatización	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS.....	88
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases del proceso de ensacado para comparación de sistemas manual y automatizado	25
Tabla 2. Especificaciones Técnicas máquina de pesaje	32
Tabla 3. Características del Sistema de Pesaje	33
Tabla 4. Especificaciones técnicas de la máquina aplanadora de sacos	34
Tabla 5. Características de la maquina aplanadora de sacos	35
Tabla 6. Especificaciones Técnicas de la Cinta Transportadora	36
Tabla 7. Características de la Cinta Transportadora	37
Tabla 8. Especificaciones Técnicas del Sistema de Ensacado de Sacos	38
Tabla 9. Características del Sistema de Ensacado de Sacos	38
Tabla 10. Especificaciones Técnicas del Dispensador Transportador de Palés	40
Tabla 11. Características del Dispensador Transportador de Palés	40
Tabla 12. Especificaciones Técnicas del Transportador Apilador	42
Tabla 13. Características del Transportador Apilador	42
Tabla 14. Especificaciones Técnicas de la Curva Transportadora	44
Tabla 15. Características de la Curva Transportadora	44
Tabla 16. Especificaciones Técnicas de la cinta inclinada	45
Tabla 17. Características de la cinta inclinada	45
Tabla 18. Especificaciones del Robot ABB IRB 660.....	47
Tabla 19. Características del Robot ABB IRB 660.....	47
Tabla 20. Especificaciones del Sistema de Visión Artificial con IA	49
Tabla 21. Características del Sistema de Visión Artificial con IA	50

Tabla 22. Listado de elementos necesarios para implementar el sistema de supervisión de trayectoria de sacos.	51
Tabla 23. Requisitos computacionales para instalación de RobotStudio	55
Tabla 24. Datos cuantitativos para medir en el proceso	60
Tabla 25. Datos cualitativos de la implementación.....	61
Tabla 26. Método y variables para analizar en la implementación	62
Tabla 27. Variables por medir y comparar resultados	64
Tabla 28. Comparación de resultados de sistemas manual y automatizado	66
Tabla 29. Tabla de tiempos del proceso manual de ensacado para alimento de camarones en sacos de polietileno de 25 Kg.	68
Tabla 30. Datos estadísticos del proceso de ensacado manual de sacos de 25 kg. ..	68
Tabla 31. Datos estadísticos del proceso de ensacado manual de sacos de 25 kg. ..	71
Tabla 32. Formato de encuesta en escala de Linker	75
Tabla 33. Datos de satisfacción de cada pregunta y comparados con el antes y después de la automatización.....	77
Tabla 34. Encuesta de trabajadores con sistema automatizado en escala de Linker y resultados	77
Tabla 35. Comparación de costos de sustentación de ensacado manual vs costos globales de un sistema de ensacado automatizado	79
Tabla 36. Comparación de estados cualitativos del impacto en la vida de los empleados	80
Tabla 37. Comparación de estados cualitativos del impacto en la vida de los empleados	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Tolva de descarga por gravedad, para ensacado de sacos de boca abierta	8
Ilustración 2. Diagrama de la tolva de alimentación.	8
Ilustración 3. Bolsa de polipropileno muy utilizadas en el ensacado de productos agrícolas	10
Ilustración 4. Bolsa de papel tipo Kraf reciclado	10
Ilustración 5. Sacos de polietileno (PE) fabricados de polietileno	11
Ilustración 6. Máquina de coser portátil con hilo y una o doble puntada	12
Ilustración 7. Máquina de termosellado que puede regular los 3 tipos de sellado y para diferentes tipos de sacos	13
Ilustración 8. Imagen de recepción del producto	14
Ilustración 9. Máquina de pesado de sacos de 0 a 100 Kg.	15
Ilustración 10. Movimiento de sacos después del pesado	16
Ilustración 11. Proceso automatizado de recolección de sacos y llenado	17
Ilustración 12. Válvula de descarga regulable	17
Ilustración 13. Rodillos para aplanar sacos por medio de calentamiento	19
Ilustración 14. Robot ABB modelo 140 utilizado para tomar sacos de un contenedor y ubicarlos para el llenado.	22
Ilustración 15. Partes del PLC industrial para automatización del ensacado	25
Ilustración 16. Ubicación de empresas en Guayaquil y alrededores que ensacan sus productos	27
Ilustración 17. Máquina de pesaje, la tolva va encima de esta máquina.	33
Ilustración 18. Maquina dispensadora aplanadora de sacos.	35
Ilustración 19. Maquina ensacadora automatizada	39

Ilustración 20. Dispensador transportador de palés	41
Ilustración 21. Transportador apilador.....	43
Ilustración 22. Curva transportadora y cinta inclinada para cambiar de niveles.	46
Ilustración 23. Robot ABB 660 y sus ejes de rotación calibrados en posición cero.....	48
Ilustración 24. Cámaras IA para trayectoria de sacos	50
Ilustración 25. Diagrama de flujo del control del llenado de sacos de 25 Kg.....	52
Ilustración 26. Diagrama de flujo del control del peso, cosido y activación de la banda transportadora de sacos de 25 Kg.	53
Ilustración 27. Diagrama de flujo del control del saco en la banda transportadora de sacos de 25 Kg. Hasta el brazo robótico y acción en el palet.	54
Ilustración 28. Pantalla de entorno de RobotStudio con ABB IRB 660	56
Ilustración 29. Diagrama de flujo de programación en RobotStudio	57
Ilustración 30. Presentación de datos de tiempos por proceso y total	67
Ilustración 31. Distribución de datos en referencia a una campana de Gauss	69
Ilustración 32. Presentación de datos de tiempos por proceso y total	70
Ilustración 33. Distribución de datos ensacado, llenado y paletizado automatizado referenciado a distribución campana de Gauss	71

RESUMEN

El presente estudio desarrolla e implementa un sistema automatizado para el ensacado de sacos de 25 kg en una empresa de alimentos, con el objetivo de aumentar la eficiencia, precisión y competitividad del proceso. El sistema integra robótica, servomotores y cintas transportadoras para sincronizar tareas como pesaje, ensacado y paletizado, minimizando la intervención humana y reduciendo riesgos laborales asociados a tareas repetitivas. Las cámaras, utilizadas como soporte de seguridad, contribuyen a garantizar la integridad del sistema y detectar posibles anomalías. Además, se analizan costos, retorno de inversión (ROI) y beneficios, evidenciando una disminución del tiempo de producción en un 40%, reducción de errores en el peso de los sacos y mejora en las condiciones laborales. Finalmente, se destaca la importancia de capacitar al personal para operar y mantener los equipos, subrayando el impacto positivo de esta tecnología en la productividad y competitividad de la empresa a nivel global.

Palabras clave: Proceso de Ensacado, Automatización, Robótica, Visión Artificial.

ABSTRACT

This work develops and implements an automated system for bagging 25 kg bags in a food company, with the aim of increasing the efficiency, precision and competitiveness of the process. The system integrates robotics, servo motors and conveyor belts to synchronize tasks such as weighing, bagging and palletizing, minimizing human intervention and reducing occupational risks associated with repetitive tasks. The cameras, used as security support, help to ensure the integrity of the system and detect possible anomalies. In addition, costs, return on investment (ROI) and benefits are analyzed, showing a reduction in production time by 40%, a reduction in errors in the weight of the bags and an improvement in working conditions. Finally, as part of the conclusions, the importance of training personnel to operate and maintain equipment is highlighted, underscoring the positive impact of this technology on the productivity and competitiveness of the company at a global level.

Keywords: Bagging Process, Automation, Robotics, Artificial Vision.

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de fábricas en Ecuador que se especializan en la producción de alimentos balanceados para diversas industrias, incluido el sector acuícola, hasta el momento, realizan el proceso de ensacado y paletizado, en su gran mayoría, de manera manual; un método que demanda mucho tiempo y mano de obra, y presenta riesgos de inexactitudes y fallos en la calidad del producto final. Este proceso manual de producción implica llenar sacos, de por ejemplo 25 kg, desde una tolva, el cual es un depósito elevado diseñado para almacenar y dosificar el material. Aunque el sistema es funcional, depende en gran medida de la intervención y destreza humana para el llenado, pesaje y cosido de los sacos, lo que involucra un aumento en los costos de producción en cada etapa (Cabanillas Rojas, & Ipanaque, 2022).

El objetivo del presente trabajo de titulación es automatizar el proceso de ensacado en una empresa de alimentos. La automatización se implementa mediante la integración de tecnologías avanzadas como robótica, visión artificial, servomotores y cintas transportadoras. La meta es transformar un proceso manual y propenso a errores, en un sistema altamente eficiente y preciso. Esta automatización busca mejorar la eficiencia operativa, elevar la calidad del producto final, reducir los costos asociados al trabajo manual y minimizar los riesgos de errores y accidentes laborales, las cuales son características que propone y resuelve la Industria 4.0 (Javaid et al., 2022).

El alcance del presente estudio se centra en la implementación de un sistema automatizado para el ensacado de sacos de 25 kg en la planta de extrusión para camarones de una empresa de alimentos, ubicada en Guayaquil. El proyecto abarca desde el diseño y montaje del sistema automatizado hasta la evaluación de su rendimiento y beneficios. Se analiza el impacto de esta tecnología en la eficiencia del proceso de producción, la consistencia del peso de los sacos y la reducción de errores humanos (Peralta et al., 2021).

La automatización del proceso de ensacado, mediante la integración de robots y sistemas de visión artificial, representa una mejora significativa en la eficiencia, precisión y seguridad del proceso industrial. La implementación de estas tecnologías no solo optimiza el proceso de producción, sino que también ofrece beneficios tangibles en términos de calidad del producto, reducción de costos operativos y seguridad laboral (Campos Tafur & Segura, 2022).

Adicionalmente, este trabajo tiene importancia en el ámbito social al contribuir en contar con un entorno laboral más seguro, al reducir la dependencia del trabajo manual, y así disminuir los riesgos asociados a tareas repetitivas y físicamente exigentes. Esto lleva a una reducción en los accidentes laborales y mejoras en las condiciones de trabajo para los empleados. En el ámbito profesional, la implementación de sistemas automatizados busca establecer un nuevo estándar en la industria local de alimentos balanceados. Este estudio demuestra la viabilidad y los beneficios de la automatización en una planta de producción, ofreciendo un modelo que otras empresas nacionales del sector pueden considerar para mejorar sus procesos. Además, la automatización potencialmente impactará en la competitividad de la empresa de alimentos al permitir una mayor capacidad de producción y una mejor calidad de su producto. Esto es crucial para incursionar y satisfacer las demandas de nuevos mercados, como el europeo.

Desde una perspectiva técnica-científica, el desarrollo del presente trabajo aplicará el conocimiento práctico y teórico de tecnologías avanzadas en el rediseño de procesos industriales; esto al explorar la integración de robots, visión artificial y otros sistemas automatizados. Los resultados obtenidos servirán de referencia para estudios similares en diferentes industrias, contribuyendo al avance del conocimiento en la automatización de procesos industriales que se llevan adelante en el país. Por esto, este trabajo no solo busca proporcionar una solución práctica para la empresa de alimentos, sino también contribuir al conocimiento general sobre la automatización en la industria de alimentos balanceados, ofreciendo un modelo que puede ser adaptado y aplicado en otras industrias y contextos.

La estructura del presente documento comienza con una visión general de las tecnologías de automatización industrial, como robots, visión artificial, servomotores y cintas transportadoras, y revisa estudios previos que justifican su necesidad en la producción de alimentos balanceados. A continuación, se detalla el proceso de implementación del sistema automatizado, abarcando el montaje mecánico y eléctrico, junto a la integración de tecnologías y los procedimientos para asegurar su eficiencia. Posteriormente, se incluye la evaluación del rendimiento del sistema comparando sus resultados con los del proceso manual previo. Luego, se presentan los datos obtenidos tras la automatización, analizando los impactos en eficiencia, calidad y costos, incluyendo entrevistas con empresarios y trabajadores para una perspectiva adicional sobre la implementación del sistema automatizado. Finalmente, se ofrecerán conclusiones sobre los beneficios y áreas

de mejora de la automatización, con recomendaciones para futuras optimizaciones y su aplicación en otras áreas o empresas similares.

Justificación

La automatización del proceso de ensacado con robots, sistemas de visión artificial, servomotores y cintas transportadoras automatizadas ofrece ventajas significativas para la empresa de alimentos. La implementación de robots ensacadores permitirá empacar productos en sacos de 25 kg de manera mucho más eficiente, precisa y rápida en comparación con el proceso manual actual. Esta mejora no solo aumentará la velocidad del proceso, sino que también garantizará una mayor precisión en el llenado de los sacos, manteniendo el producto libre de impurezas y reduciendo errores humanos. La capacidad de los robots para adaptarse a diferentes tamaños y tipos de sacos mediante programación ofrece una flexibilidad operativa valiosa. Además, los sistemas estarán equipados con mecanismos de seguridad minimizando riesgos de accidentes y contaminación tanto para los operarios como para el producto. Aunque la inversión inicial puede ser considerable, los beneficios a largo plazo incluyen significativos ahorros operativos, reducción de costos laborales y una mejora en la competitividad tecnológica de la empresa. Este avance no solo fortalecerá a la empresa de alimentos, sino que se constituirá en un modelo para otras empresas en Guayaquil, fomentando la adopción de la robótica y la automatización en procesos industriales y contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

Este trabajo de titulación se llevará a cabo en un escenario real, explorando y comparando soluciones existentes en el mercado de la robótica y automatización. Se evaluará el costo-beneficio de las diferentes soluciones para determinar cuál se adapta mejor a las necesidades específicas de la empresa de alimentos. La investigación también involucrará la recolección de datos a través de encuestas y evaluaciones para medir la efectividad de la solución implementada y, si es necesario, desarrollar un plan de mejoras. Dado el impacto potencial de la robótica en países en desarrollo, este proyecto también abordará cómo la automatización puede liberar a los trabajadores de tareas repetitivas y peligrosas, y la necesidad de preparar al talento humano para roles en mantenimiento, programación y logística.

Formulación del problema de investigación

Implementar la automatización en una empresa de alimentos. mejoraría la eficiencia, calidad, y seguridad, reducción de costos operativos, mayor capacidad de producción, y menor tiempo de inactividad, amortización de la inversión a través de mayor eficiencia, reducción de desperdicio, y mejorar la calidad del producto.

Objetivo General:

Automatizar el proceso de ensacado para sacos de 25 Kg. con robots, sistemas de visión artificial y cintas transportadoras automatizadas en el patio de contenedores de una empresa de alimentos.

Objetivos Específicos:

1. Establecer los requerimientos operacionales y técnicos que deberá cumplir el sistema de control para pesaje y ensacados.
2. Integrar brazos robóticos para la manipulación y el ensacado de productos de 25 kg, mejorando la eficiencia y precisión del proceso.
3. Diseñar y coordinar un sistema integrado que sincronice robots, sistemas de visión artificial con cámaras IA para alarmas de funcionamiento y cintas transportadoras, mejorando la velocidad y tiempo de inactividad.
4. Minimizar la intervención humana en tareas repetitivas y pesadas para reducir riesgos laborales y costos asociados a la mano de obra y errores humanos.

Planteamiento hipotético

Si se implementa un sistema automatizado con fases diferenciadas de operación, en el que cada una es controlada por sensores que inician la siguiente bajo condiciones lógicas y adaptativas, entonces se podrá mejorar significativamente la eficiencia y precisión del proceso. Este enfoque automatizado, aunque inicialmente puede parecer más avanzado para el contexto local, permitirá a la empresa de alimentos adaptarse a una demanda creciente y proyectarse a un crecimiento continuo, permitiendo a esta empresa ecuatoriana optimizar su producción y competir a nivel global.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Revisión de literatura

La automatización industrial ha mostrado ser una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia y la competitividad en distintos sectores. Respecto al caso del ensacado de productos, Chen et al. (2020) presentan un diseño de robot ensacador automático que agiliza significativamente este proceso en varias industrias. Su investigación destaca la capacidad de estos robots para mejorar la eficiencia, reducir la intervención manual, y optimizar el espacio en los sistemas de envasado modernos. Este tipo de innovación resulta clave para transformar los procesos manuales en automatizados, lo que aporta mayor confiabilidad y capacidad de respuesta a la cadena productiva.

Justamente, hoy estamos inmersos en la Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías digitales en los sistemas productivos. Dentro de esta, la automatización mediante robots no solo incrementa la productividad, sino que también contribuye al desarrollo sostenible en sus tres pilares: la economía, la sociedad y el medio ambiente (Chen et al., 2020). En este sentido, la implementación de un sistema robotizado en la empresa de alimentos representa una primera fase hacia la digitalización y modernización de sus procesos, lo que permitirá a la empresa mantenerse competitiva en un mercado globalizado.

Como lo indican Staccioli & Virgillito (2021), la adopción de nuevas tecnologías es un factor crucial para la evolución de las industrias. La automatización de procesos, como el ensacado, es uno de los principales impulsores de este cambio, especialmente en contextos donde el trabajo manual sigue prevaleciendo. En Ecuador, por ejemplo, muchas fábricas aún operan bajo los principios de la **Industria 3.0**, donde la supervisión humana es esencial en casi todos los procesos. La transformación hacia un sistema automatizado no solo aumenta la eficiencia, sino que también permite liberar al personal de tareas repetitivas y físicamente demandantes, fomentando una mayor dedicación a áreas de valor añadido como la supervisión y el mantenimiento de nuevos sistemas. Adicionalmente, la automatización industrial busca no solo hacer más eficientes los procesos, sino también hacerlos más seguros y confiables. Acorde a García Moreno (2020), la automatización implica el uso de sistemas de control avanzados, como computadoras y robots, que reemplazan la intervención humana en aquellos procesos donde la toma de decisiones es mínima. La implementación de robots para el ensacado de sacos de 25 kg en una empresa

de alimentos permite reducir la fatiga del personal, mejorar la seguridad en el entorno laboral, y garantizar que las tareas se realicen con mayor precisión y sin interrupciones. Por otro lado, P. C. García & Yáñez (2023) señalan que la introducción de nuevas tecnologías ha generado cambios significativos en el empleo, afectando tanto la forma de trabajo como los perfiles profesionales demandados por las empresas. En la industria del ensacado, la automatización permite realizar tareas físicamente exigentes, como la manipulación de cargas pesadas, de manera más eficiente y sin los riesgos asociados al agotamiento físico del personal. Al mismo tiempo, los sistemas automatizados no sufren de demoras por fatiga o interrupciones, lo que reduce considerablemente los tiempos de ciclo y mejora la productividad.

En el caso específico de la robotización de estaciones de trabajo, Panasiuk et al. (2022) señalan que uno de los desafíos clave es el diseño de pinzas especializadas para la manipulación de distintos tipos de productos. En el caso del proyecto de ensacado en una empresa de alimentos, se utilizarán pinzas específicas para el manejo de sacos de 25 kg, lo que facilitará el proceso de paletizado y mejorará la eficiencia de la línea de producción. Sin embargo, es importante considerar que, en el futuro, se podrían adquirir o desarrollar pinzas más versátiles que permitan una mayor flexibilidad en la manipulación de distintos tipos de productos, optimizando aún más la eficiencia y adaptabilidad del sistema.

Finalmente, Arce et al. (2023) presentan un enfoque exhaustivo sobre el diseño e implementación de un sistema automatizado para el paletizado y control de calidad en líneas de producción de medicamentos sólidos. El sistema propuesto combina de manera efectiva tecnologías avanzadas como la visión artificial inteligente y la robótica colaborativa, lo que permite una optimización integral de los procesos. Al integrar equipos e instrumentos de grado industrial, se asegura no solo la precisión y velocidad en el paletizado, sino también un control de calidad riguroso, garantizando operaciones confiables y altamente eficientes. Este tipo de soluciones tecnológicas destaca por su capacidad de adaptarse a los altos estándares regulatorios y de producción exigidos en la industria farmacéutica, lo que las convierte en un modelo a seguir para la automatización en sectores donde la precisión y la seguridad son críticas.

1.2 Desarrollo teórico y conceptual

Las empresas de alimentos, en su esfuerzo por satisfacer la demanda de sus clientes finales, emplean tres procedimientos fundamentales en el proceso de ensacado: el llenado,

el sellado y el transporte. En la etapa de llenado, el saco se toma y se llena hasta alcanzar el peso predeterminado. Luego, en el sellado, el saco se cierra mediante costura, sellado térmico u otros métodos, garantizando que el producto no se derrame y cumpla con las normas de calidad. Finalmente, el saco se transporta y paletiza. Estos procesos pueden realizarse de forma manual (operado únicamente por personas), semiautomática (una combinación de intervención humana y maquinaria), o automatizada, en la que todo el proceso se lleva a cabo de manera automática sin intervención humana.

Todo proceso de ensacado empieza en un gran recipiente, denominado tolva, donde se almacena el producto para ser ensacado. Las tolvas son contenedores o depósitos diseñados para almacenar y dosificar materiales a granel, muy utilizadas en diversas industrias, como la alimentaria, minera, farmacéutica, química y de construcción. A continuación se menciona algunos tipos de tolvas y sus aplicaciones en la industria.

1.2.1 Tipos de tolvas de almacenamiento

1.2.1.1 Tolvas Dosificadoras por Gravedad

Utilizan la gravedad para descargar materiales a granel, como granos, cemento, minerales, o productos plásticos. A las mismas se le añade un movimiento de vibración para descargar o alimentar materiales difíciles de manejar, como polvos o gránulos finos. Un ejemplo de este tipo de tolva se presenta en la Figura 1.

1.2.1.2 Tolvas de Transporte Neumático

Permiten transportar material a granel mediante corrientes de aire a través de tuberías, se utilizan en procesos donde es necesario el transporte de productos como harinas, polvos químicos o plásticos.

1.2.1.3 Tolvas de Almacenamiento

Se utilizan para almacenar grandes cantidades de materiales hasta su uso o procesamiento, comúnmente usadas en la industria agroalimentaria para el almacenamiento de cereales, en la minería para minerales y en la industria del plástico para resinas. Construidas en acero inoxidable, acero al carbón, plástico o polímeros, como se aprecia en la Figura 1.

Figura 1

Tolva de descarga por gravedad, para ensacado de sacos de boca abierta



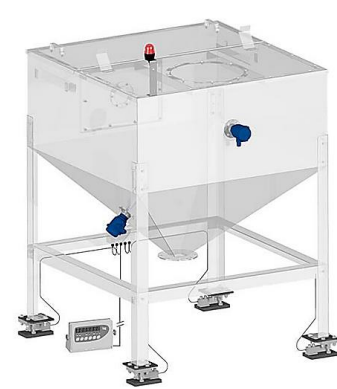
Nota. Tolva triangular (*Tolva de alimentación por gravedad modelo 40 de la marca Hamer, 2021*).

1.2.1.4 Tolva con pesaje automático

Las tolvas industriales pueden estar equipadas con pesaje automatizado siendo estructuras especializadas diseñadas para el almacenamiento temporal y la distribución de materiales a granel. Su función principal es facilitar el manejo eficiente de estos materiales, permitiendo su dosificación y descarga controlada hacia otros equipos de procesamiento o directamente en puntos de consumo, en proporciones controladas. En la industria alimentaria, las tolvas son cruciales para la manipulación de productos sensibles como los alimentos destinados a larvas y camarones, que requieren un tratamiento preciso para garantizar su calidad y dosificación adecuada (*Guía de Tolvas Industriales, 2024*).

Figura 2.

Diagrama de la tolva de alimentación.



Nota. Tolva Industrial con módulos de pesaje con celdas de carga, caja de bornes e indicador de peso con pantalla tomado de (*Contenedor, tolva para el vaciado de sacos y tolva de material: ACHBERG®*, 2023).

Las tolvas pueden estar equipadas con mecanismos avanzados, como sifones de llenado, que permiten un flujo controlado y continuo de los alimentos. Esto es fundamental en técnicas automatizadas de producción, donde es necesario certificar una dosificación uniforme y sin dificultades, evitando atascos o bloqueos en el proceso, así como el desperdicio de material, lo que resulta en un trabajo más eficiente y beneficioso. Asimismo, las tolvas industriales con sifón de llenado pueden aplicar diferentes configuraciones de sistemas de alimentación, desde las simples hasta las totalmente automatizadas, lo que las transforma en una solución variable en diversos entornos de producción alimenticia. Su capacidad para manipular diferentes tipos de alimentos, ya sean en forma de pellets, polvo o granulado, las hace indispensables en procesos donde la precisión y la fiabilidad son fundamentales (U. García, 2023).

En este tipo de tolvas, el pesaje automático del producto se lo realiza a través de celdas de carga, estas funcionan transformando la fuerza del peso en una señal eléctrica proporcional, que puede ser monitoreada y utilizada para el control de procesos. Las más utilizadas son las celdas de carga por compresión las cuales son ideales para medir fuerzas verticales aplicadas en una única dirección, comúnmente utilizadas en sistemas de pesaje de tolvas, silos o tanques (Figura 2). La descarga de la tova es realizada por gravedad a través de una válvula de descarga on/off.

1.2.2 Tipos de sacos empleados en empresas de alimentos.

Como se mencionó anteriormente, el producto almacenado en una tolva es generalmente ensacado, por lo que a continuación se presentan diferentes opciones de sacos empleados en empresas de alimentos:

- Sacos de polipropileno tejido (PP) son los más utilizados en la industria de balanceados. Están fabricados con fibras de polipropileno tejidas, lo que les otorga gran resistencia mecánica y durabilidad, la ventaja es que son resistentes a roturas, ligeros, y permiten la circulación de aire, lo que previene la acumulación de humedad en el interior. Usado en balanceados para animales, semillas, fertilizantes, productos agrícolas, véase Figura 3.

Figura 3

Bolsa de polipropileno muy utilizadas en el ensacado de productos agrícolas



Nota. (Sacos Industriales / Venta de bolsas de polipropileno / Iberoplast, s. f.)

- Sacos de papel kraft multicapa hechos de varias capas de papel kraft de alta resistencia, diseñados para ser ecológicos y biodegradables, ampliamente usados por ser amigables al medio ambiente, ofrecen buena protección contra el polvo y son fácilmente imprimibles, permitiendo agregar información del producto. Usados para balanceados en polvo o gránulos, alimentos para animales de calidad Premium; un ejemplo se presenta en la Figura 4.

Figura 4

Bolsa de papel tipo Kraft reciclado



Nota. Imagen tomada de (Saco / Bolsa Papel Kraft 7 Kg 40gr (100 Unidades) -, s. f.)

- Sacos de polietileno (PE) fabricados de polietileno, son sacos que pueden ser sellados térmicamente, ofreciendo una barrera efectiva contra la humedad, y excelente protección contra contaminantes externos. Se utilizan principalmente para productos en polvo o sensibles a la humedad, utilizados en balanceados en polvo o productos que necesitan protección extra contra la humedad. En la Figura

5 se presenta un ejemplo de este tipo de saco.

Figura 5.

Sacos de polietileno (PE) fabricados de polietileno



Nota. (*Sacos Industriales / Venta de bolsas de polipropileno / Iberoplast, s. f.*)

- Sacos a granel (Big Bags o FIBC) generalmente más grandes que los sacos de 25 kg, se utilizan para procesos de almacenamiento a granel. Son contenedores grandes y flexibles hechos de polipropileno tejido, con capacidades desde 500 kg hasta 2 toneladas. La ventaja de su uso es que permiten el manejo y transporte de grandes cantidades, simplificando la logística, son un paso previo antes del ensacado en unidades más pequeñas.

Una vez que el producto se encuentra ensacado, se requiere proceder con el cierre o sellado del saco. A continuación, se explica brevemente este proceso.

1.2.3 Sellado del saco

Dependiendo del tipo de saco, su sellado puede ser cosido o termosellado. Para sacos de poca capacidad lo recomendable es que sean termosellados, mientras que para sacos de gran capacidad se recomienda que los sacos sean cosidos con hilo de la misma textura del saco.

1.2.3.1 Sellado del saco por cosido

El sellado de sacos por cosido es un método común utilizado para cerrar sacos en industrias que manejan productos a granel, como alimentos, químicos o materiales de construcción. El cosido va a depender de cómo se desea que el hilo se entrelace la distancia de puntada a puntada, etc.

1.2.3.1.1 Cosido con una sola puntada (Single Thread Chain Stitch)

El cosido con una sola hebra de hilo utiliza una puntada de cadena simple y es común en sacos de materiales ligeros o medianos, como papel o rafia. Este método es rápido, económico y ofrece un sellado apropiado para productos que no requieren una alta protección. Sin embargo, no es tan fuerte ni resistente como otros métodos, por lo que no se recomienda para productos pesados o en condiciones más exigentes.

1.2.3.1.2 Cosido con doble puntada (Double Thread Chain Stitch)

Usa dos hilos que se entrelazan, creando un cierre más fuerte que la puntada de cadena simple, ideal para sacos más pesados y con materiales más resistentes. Ofrece un sellado más seguro y duradero que la puntada simple se usa en sacos que contienen productos más pesados o que deben resistir el manejo brusco, más costoso y lento que el cosido simple. En la Figura 6 se presenta un ejemplo de una máquina que realiza este tipo de cosido.

Figura 6.

Máquina de coser portátil con hilo y una o doble puntada



Nota. Máquina de coser imagen tomada de («Cosedoras Portátiles / Manuales para Sacos y Bolsas», 2022)

1.2.3.2 Termosellado de sacos

El termosellado de sacos es un método de cierre que utiliza calor para fundir y unir las capas superiores del material del saco, creando un sellado hermético y seguro. Este proceso es especialmente utilizado en sacos de materiales plásticos o compuestos con películas termoplásticas, como el polietileno, polipropileno o laminados de múltiples capas (Tummala, 2019).

1.2.3.2.1 Proceso del termosellado de sacos:

Los sacos que se cierran mediante termosellado son fabricados de materiales termoplásticos en donde el borde superior del saco se ubica en un aparato que aplica calor mediante barras calentadas por una resistencia eléctrica. La temperatura se ajusta según el tipo de material del saco para lograr el sellado óptimo sin dañarlo. Una vez que las capas del material logran la temperatura de sellado, la máquina aplica presión sobre los bordes uniendolos. La combinación de calor y presión asegura que las capas fundidas se fusionen de manera uniforme y fuerte, después se deja enfriar el sellado bajo presión por unos segundos para que el material solidifique y cree un cierre hermético (Multivac, 2021).

1.2.3.2.1 Tipos de termosellado

- Sellado por calor directo: En este proceso, las superficies de los sacos se calientan directamente para fundirse y unirse. Es común en materiales termoplásticos (como polietileno o polipropileno) y funciona mejor en sacos de capas finas o medianas de poco peso.
- Sellado por impulso: Maneja una corriente eléctrica que atraviesa por una tira de metal para producir calor en el momento del sellado. Este procedimiento es eficaz energéticamente, en base que se activa solo al sellar la máquina muy apropiado para materiales gruesos o multicapas.
- Sellado de frecuencia alta o radiofrecuencia (RF): Trabaja con ondas de radio para fundir las capas del material y es especialmente útil en materiales de PVC o materia prima difícil de unir mediante calor directo. Este procedimiento sella uniforme y resistente materiales de PVC.

En la Figura 7, se presenta una máquina de termosellado capaz de realizar los dos primeros métodos de termosellado indicados.

Figura 7.

Máquina de termosellado que puede regular los 3 tipos de sellado y para diferentes tipos de sacos



Nota. Imágenes tomadas de (*Rovebloc / CARTOPACK Selladoras para complejos, s. f.*)

1.2.4 Proceso de ensacado manual de productos agrícolas

El método de ensacado manual en una empresa de alimentos, utilizando una tolva de descarga a sacos de polietileno, cosido con una maquina portátil y paletizado por trabajadores de la empresa, generalmente sigue estos pasos:

Llenado manual

En este procedimiento, el operario ubica y llena los sacos manualmente con el producto. Este método se utiliza principalmente en fabricaciones pequeñas o cuando la inversión en automatización no está justificada. Es la forma convencional de llenado, empleada desde los inicios de la industria. La tolva de descarga está conectada a una balanza dosificadora, el operario ajusta la tolva para llenar cada saco con la cantidad correcta de producto. La descarga se puede hacer mediante una compuerta manual o automática, pero el control final del peso es visual o con el uso de básculas cercanas. El saco es retirado una vez que se alcanza el peso deseado, generalmente ajustado en función de la capacidad del saco (25 kg, por ejemplo). En la Figura 8 se puede observar parte del proceso de llenado manual.

Figura 8.

Imagen de recepción del producto



Nota. Imagen es un ejemplo de cómo el trabajador sostiene la bolsa a ser llenado

Cosido y pesado manual

Una vez que el saco está lleno, se lleva a la máquina de costura manual. Se utiliza una máquina portátil para sellar el saco con hilo resistente. La costura se hace en la parte superior para asegurar que no se derrame el producto durante el transporte y manejo. En este proceso, el operario pesa manualmente cada saco, asegurándose de que alcance los 25 kg o el peso establecido. Este método es común en entornos donde la producción es limitada o donde la automatización no es viable, requiriendo precisión por parte del trabajador para cumplir con los estándares de peso antes de sellar y transportar los sacos. Un ejemplo de una báscula de pesaje se presenta en la Figura 9.

Figura 9.

Máquina de pesado de sacos de 0 a 100 Kg.



Nota: imagen (Báscula Pesa Sacos Industrial - Serie K3-F / BALANZAS GALICIA, s. f.)

Paletizado manual de sacos

El paletizado manual es el proceso de apilar y organizar productos o materiales en un palé (pallet) a mano, sin el uso de maquinaria automatizada o robots. Los trabajadores ubican los productos directamente sobre el palé, cuidando la distribución de peso y la estabilidad de la carga para su posterior almacenamiento o transporte. Parte de este proceso se observa en la Figura 10. Los palets usados en la Industria de alimentos normalmente son palets de 40 sacos. A cada saco se le coloca una etiqueta indicando el tipo de producto, fecha de producción y lote, para asegurar trazabilidad. Finalmente, el palet cargado es trasladado al área de almacenamiento o directamente al transporte para su distribución; este proceso es mayormente manual, lo que implica un trabajo intenso de los operarios, sobre todo en el manejo y traslado de sacos. Las máquinas de costura manual y los sistemas de pesaje permiten realizar las tareas con cierta eficiencia, aunque a una velocidad menor en comparación con los sistemas automáticos.

Figura 10.

Movimiento de sacos después del pesado



Nota. Manipulación manual de sacos

Ensacado automático

El proceso de llenado cierre y manipulación de los sacos es completamente automatizado, desde la ubicación del saco hasta su sellado y transporte, utilizando maquinaria especializada. Se emplea en grandes producciones para reducir tiempos y aumentar la precisión y eficiencia. Para el ensacado automático se debe elegir el peso a ensacar y el tipo de sacos que es vital para el desarrollo del proceso. Un ejemplo se presenta en la Figura 11.

Figura 11.

Proceso automatizado de recolección de sacos y llenado



Nota. Imagen tomada de (*Ensacadora automática para sacos con o sin fuelles - ILERSAC L - TMI, s. f.*).

1.2.5 Proceso de ensacado robotizado de productos agrícolas

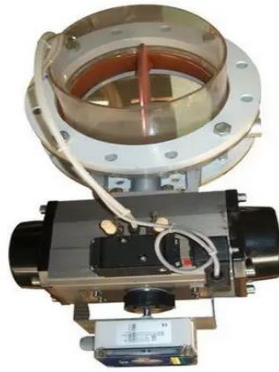
El robotizado del proceso se realiza en base a la automatización del proceso manual que se inicia en el llenado de sacos. El mismo generalmente comienza en una tolva con válvula neumática de descarga donde se almacena el producto, se ubica el saco de forma que un sifón ubicado en la tolva llena el producto en el saco. Luego se ubica el saco para el termosellado si la elección es polietileno, en caso contrario podría ser otro método de sellado y por último en la banda transportadora para paletizarlos.

1.2.5.1 Flujo de sólidos en tolvas con válvula on/off.

Las tolvas, como se indicó, son recipientes metálicos que descargan el producto por gravedad a través de su parte inferior. En el manejo de materia prima sólida, manejar la velocidad de llenado es decisivo, ya que el uso de módulos de pesaje no es suficiente para evitar falencias. Factores como la granulometría del producto, diseño de la boca de descarga, y el uso de electroválvulas ayudan a controlar el flujo y son determinantes para mantener el equilibrio del proceso. Adicionalmente, vibradores estratégicamente instalados previenen la acumulación de residuos y garantizan el flujo constante y eficiente (Bembenek et al., 2024). Un ejemplo, se lo presenta en la Figura 12, la misma que se acopla en la boca de salida de la tolva.

Figura 12.

Válvula de descarga regulable



Nota. Válvula de descarga para tolvas, con diámetro regulable por electroválvula grafica tomada de (*DKA series - Válvula de mariposa by HOSOKAWA SOLIDS, S.L. / DirectIndustry, s. f.*).

1.2.5.2 Aplanado de sacos para la automatización.

El aplanado de sacos es un proceso decisivo en la línea de empaque, especialmente cuando se trata de paletizar sacos de materias primas como granos, cemento, harinas o productos químicos. El aplanado apropiado asegura que los sacos mantengan una forma estable para mejorar la eficacia del paletizado y su transporte. Un saco bien aplanado proporciona una área más uniforme, proporcionando el agarre firme de los dispositivos de sujeción, reduciendo el peligro de deslizamientos o imperfecciones durante la manipulación. A continuación, se resumen las principales metodologías y dispositivos utilizados en la automatización del aplanado de sacos.

1.2.5.2.1 Aplanamiento de sacos de polietileno.

El aplanamiento de sacos de polietileno mediante metodologías de calentamiento y corrientes de aire es un recurso innovador y eficaz para lograr un perfil uniforme del saco, principalmente en aplicaciones de automatización. Este método se utiliza especialmente para eliminar arrugas e imperfecciones en los sacos plásticos, asegurando que estos mantengan una forma adecuada para el paletizado o el enganche robótico.

1.2.5.2.2 Principios del aplanado con calentamiento y corrientes de aire.

El aplanamiento de sacos de polietileno con calentamiento controlado y corrientes de aire es un proceso diseñado para suavizar el material plástico y eliminar cualquier arruga o deformación que pueda afectar su manejo en sistemas automatizados. El calor, aplicado

a través de elementos calefactores, pule la superficie del saco sin generar elasticidades internas, es decir no estira el saco lo que permite un aplanado uniforme. La temperatura se mantiene cuidadosamente controlada por debajo del punto de fusión del polietileno (110-130°C, según el grosor y tipo) para evitar que el saco pierda sus propiedades estructurales.

Durante el desplazamiento del saco en la cinta transportadora, corrientes de aire caliente se dirigen sobre su superficie, distribuyendo el calor de manera uniforme y disminuyendo las tensiones superficiales. Al mismo tiempo, el flujo de aire ayuda a redistribuir el contenido interno del saco, como polvos o granulados, lo que contribuye a un aplanado más uniforme. Una vez calentado, el saco es aplanado con la ayuda de rodillos o prensas suaves, aprovechando la flexibilidad del material. Esto garantiza que el saco mantenga una forma uniforme mientras el calor aún está presente. Tras el aplanamiento, corrientes de aire frío se utilizan para enfriar rápidamente el polietileno, fijando su forma plana y evitando que vuelva a deformarse. Este enfriamiento rápido es clave para asegurar que el saco esté listo para el siguiente paso del proceso, como el paletizado o el agarre robótico (Rosato & Rosato, 2004). En la Figura 13 se presentan ejemplos de rodillos para el aplanamiento de sacos.

Figura 13.

Rodillos para aplanar sacos por medio de calentamiento



Nota. Imagen tomada de (*Cintas Transportadoras y Rodillos*, 2014)

Para sistemas automatizados que incluyen robots de paletizado con herramientas automáticas de agarre, es primordial que los sacos tengan superficies planas y determinadas para garantizar un agarre seguro y eficiente. El aplanamiento mediante calor y aire certifica que los sacos mantendrán una forma adecuada para su uso en procesos de automatización, optimizando la eficiencia y reduciendo errores durante el traslado o

acumulación sobre el palet.

1.2.5.3 Tipos de herramientas de agarre para sacos en procedimientos automatizados de ensacado

Las herramientas de agarre manejadas en un sistema de ensacado automatizado son terminales diseñados para manipular sacos de manera eficiente y segura durante procesos como el paletizado, despaletizado o transferencia interna. Estas herramientas de agarre, integradas en robots o máquinas automatizadas, garantizan un agarre firme y preciso de los sacos, lo que es crucial para impedir caídas, desviaciones o daños en el saco durante la manejo (Festo, 2021).

1.2.5.3.1 Herramientas de agarre mecánicas

Las herramientas de agarre mecánicas utilizan mandíbulas o pinzas que ejercen presión sobre los sacos para sujetarlos de manera segura. Equipadas con brazos ajustables, se adaptan tanto al tamaño como a la forma del saco, lo que garantiza un agarre firme en los laterales o extremos del mismo. Son muy utilizadas en sistemas de ensacado automatizado debido a su versatilidad, ya que pueden ajustarse con facilidad para manejar diferentes tipos de sacos y materiales.

1.2.5.3.2 Herramientas de agarre de vacío (ventosas)

Las herramientas de agarre de vacío funcionan mediante la generación de un vacío en la superficie del saco a través de ventosas que se adhieren firmemente al material, como el polietileno. Estas herramientas de agarre son principalmente útiles para sacos ligeros o aquellos que requieren una manipulación cuidadosa para evitar roturas o imperfecciones. Debido a que el sellado apropiado es crucial para un buen agarre, estas herramientas de agarre necesitan que los sacos tengan una superficie relativamente plana, lo que hace que el aplanamiento del saco sea un paso fundamental en el proceso.

1.2.5.3.3 Herramientas de agarre neumáticas

Las herramientas de agarre neumáticas emplean aire comprimido para sujetar los sacos. A través de cilindros neumáticos, estas herramientas de agarre proporcionan un agarre controlado y ajustable, lo que permite manipular con precisión sacos de diferentes tamaños. Ideales para aplicaciones que requieren un control preciso de fuerza y rapidez

en los movimientos, siendo una opción perfecta para sacos delicados o sistemas que operan a alta velocidad.

1.2.5.3.4 Características clave de las herramientas de agarre de agarre en sistemas de ensacado automatizado

Las herramientas de agarre deben ser adaptables para manejar diversos modelos de sacos, desde pequeños hasta grandes, y estar fabricadas con diferentes materiales, como polietileno, rafia o papel. La variabilidad de ajustar la fuerza de agarre es crucial para impedir daños en sacos más delicados o imperfecciones en aquellos que no estén completamente llenos. El sistema de agarre debe ser capaz de sujetar los sacos con firmeza, evitando deslizamientos o daños. Las superficies antideslizantes, ya sean en herramientas de agarre mecánicas o de vacío, ayudan a mejorar el contacto, reduciendo el riesgo de resbalones. Además, las herramientas de agarre deben ser capaces de tomar sacos deformes o medio llenos, para lo cual se necesita sistemas flexibles y ajustables que adapten el agarre a la forma del saco en tiempo real.

Es esencial que las herramientas de agarre tener un control apropiado sobre los sacos sin causar fugas ni roturas, esencialmente cuando se manipulan materiales frágiles. Los sistemas de ajuste dinámicos permiten que las herramientas de agarre se adapten en tiempo real a las variaciones en la forma del saco, mejorando el rendimiento general.

Las herramientas de agarre están diseñadas para trabajar acoplados con robots industriales o manipuladores automáticos. Por tanto, deben ser fácilmente programables y compatibles con diversas configuraciones de automatización. Esta combinación permite un control preciso de la manipulación y asegura una sincronización perfecta con otros elementos del sistema, como cintas transportadoras o robots de paletizado.

Las herramientas de agarre son componentes esenciales en los sistemas de ensacado automatizado, ya que garantizan una manipulación precisa, segura y eficiente de los sacos. Gracias a su adaptabilidad a diversas formas, tamaños y materiales, desempeñan un papel fundamental en la automatización del proceso de empaquetado. Esto asegura que los sacos se apilen y transporten de manera ordenada y sin problemas, optimizando la velocidad y eficiencia en entornos industriales (Festo, 2021).

1.2.5.4 Cierre del saco

Al final del llenado, en el proceso industrial, se realiza el cierre del saco con una máquina de sellado en la línea de producción, para que, mientras el saco sostenidos por las herramientas de agarre, el mismo sea sellado. El proceso de sellado automático debe asegurar que la costura sea la correcta, el sistema automático debe estar estratégicamente ubicado en la línea de producción, para sellar la parte superior del saco sin intervención manual. La máquina presentada en la Figura 11 es un ejemplo de una selladora que trabaja con los sacos colgando, lo que da mayor estabilidad y control durante el proceso. Estas máquinas pueden operar a gran velocidad, con sistemas que ajustan automáticamente la tensión del hilo y el movimiento del saco, evitando que se desplace durante el cosido (Festo, 2021).

1.2.5.5 Paletización

La acción automática de paletización es elaborada por robots paletizadores con sistemas automatizados que organizan y apilan manera eficiente, rápida y precisa. Estos sistemas son utilizados en industrias como la alimentaria, farmacéutica, manufacturera y logística, optimizando los procesos de empaquetado y transporte de mercancías. Los robots paletizadores sitúan los sacos en los palets siguiendo un patrón predefinido, y al estar completos se envían para su almacenamiento o distribución.

Este recurso es ideal para operaciones repetitivas que requieren tanto fuerza como precisión, garantizando mayor velocidad y consistencia en el proceso de ensacado. Un ejemplo de este tipo de robots son los ABB IRB 140/660 (Kondratyev, et al., 2023). En la Figura 14 se presenta este modelo de robot manipulador.

Figura 14.

Robot ABB modelo 140 utilizado para tomar sacos de un contenedor y ubicarlos para el llenado.



Nota. Robot ABB 140 robot multiuso compacto de 6 ejes con una carga útil de 6 kg y un alcance de 810 mm, con 360 grados de rotación fuente (*ABB IRB 140 Robot*, 2022).

Los grados de libertad de un robot antropomórfico representan cuantos movimientos independientes que pueden realizar en un espacio tridimensional. Cada grado de libertad (DoF, por sus siglas en inglés) admite al robot moverse en una dirección o rotar en torno a un eje específico. En los robots antropomórficos, que imitan la estructura y movimientos de un brazo humano, los grados de libertad suelen estar relacionados con la cantidad de articulaciones móviles. Estos grados de libertad permiten al robot ubicar su “mano” o “herramienta” en cualquier posición y orientación dentro de su espacio de trabajo, otorgándole una gran versatilidad en aplicaciones industriales, como la soldadura, ensamblaje y manipulación de objetos.

1.2.6 El controlador del sistema

Todo sistema automatizado debe tener un controlador, por el número de variables y por la necesidad de controlar las mismas se suele emplear controladores lógicos programables, PLCs, de tipo industrial de diferentes marcas y modelos. Un ejemplo de este tipo de soluciones es el PLC Siemens ST 1200.

Un PLC o Controlador Lógico Programable, es una computadora para uso industrial y en ciertos casos se los utiliza en el sector residencial. Estos dispositivos tienen el objetivo de automatizar procesos con la ayuda de sensores y actuadores. La mayoría de los PLCs permite al usuario diseñar controlador PID, control de motores, realizar comunicaciones en serie, entre otras opciones que dependen del modelo del PLC. Estos se pueden

alimentar con corriente continua o corriente alterna, se conforman de entradas (sensores) y salidas (actuadores), pudiendo ser del tipo digital o analógico. Ciertos PLCs están fabricados para que sus salidas sean del tipo relé, u on/off. Tienen diferentes formas de ser programados en lenguajes tipo diagrama de escalera, diagrama de bloque y estructurado (Aucatoma Madruñero & Moreira Romero, 2023).

El PLC Siemens S7-1200 es una de las familias de controladores lógicos programables de Siemens, diseñada para soluciones de automatización en el sector industrial. Estos PLCs son populares por su versatilidad, potencia y facilidad de mezclarse fácilmente en distintos sistemas de control. En la Figura 16 se presenta un diagrama de las partes principales de este PLC.

Características del Siemens S7-1200:

CPU (Unidad de Procesamiento Central): La CPU de la serie S7-1200 viene en varias versiones, desde la CPU 1211C (para aplicaciones más simples) hasta la CPU 1217C (para aplicaciones complejas).

Comunicaciones: Soportan múltiples protocolos de comunicación como Profinet, Modbus TCP/IP, y pueden integrar módulos adicionales para otros protocolos como Profibus, GPRS, entre otros.

I/O Integrados y Modulares: La CPU más básica del S7-1200 incluye entradas y salidas digitales y analógicas integradas, permitiendo expansión con módulos de I/O adicionales según la necesidad y requerimiento del cliente.

Programación: Se programa utilizando el software TIA Portal (Totally Integrated Automation), que brinda un entorno de perfeccionamiento intuitivo con funciones avanzadas de simulación, programación, y diagnóstico.

Compacto y escalable: PLC compacto con capacidad de expansión mediante módulos de comunicación, I/O, y módulos de funciones tecnológicas (control de ejes, medición, etc.), escalable según necesidad llegando a 248 entradas digitales y 50 analógicas.

Seguridad: Tiene versiones con funcionalidades de seguridad (Safety) para aplicaciones donde se requieren medidas de seguridad, como el control de movimientos peligrosos.

Figura 15.

Partes del PLC industrial para automatización del ensacado



Nota. Imagen tomada de (INNOVENT C.A, 2023)

1.2.7 Pasos de un sistema de ensacado

Resumiendo lo detallado en las secciones anteriores, la operación de ensacado se puede clasificar en mini procesos, para en base de estos realizar la automatización y robotización del proceso.

Tabla 1.

Fases del proceso de ensacado para comparación de sistemas manual y automatizado

	Cierre y sellado del saco	Ubicación en el palet
El operario o maquina toma el saco y lo ubica debajo de la tolva, que contiene el material a ensacar	Una vez lleno, el saco es retirado de la tolva y llevado al área de sellado.	Después del cosido, el operario transporta el saco hasta el palet.
Abre la válvula o sistema de descarga de la tolva para permitir que el material fluya hacia el saco.	Para sacos de polipropileno, se utiliza una máquina de coser industrial que cose la parte superior del saco de forma semiautomática.	Los sacos se apilan manualmente sobre el palet, organizándolos en capas de manera que la carga sea estable y equilibrada.
El operario controla el peso o la cantidad de material llenado en el saco utilizando una báscula con indicador visual.	Por seguridad se vuelve a pesar el saco y verificar si el saco está bien cosido	Se utiliza un carro hidráulico manual para mover los palets completos, hasta la bodega

El proceso de llenado de la tolva no se tomará en cuenta en la automatización, solo se toma tiempos a partir de recibir la tolva llena y pesada, para el inicio de la producción.

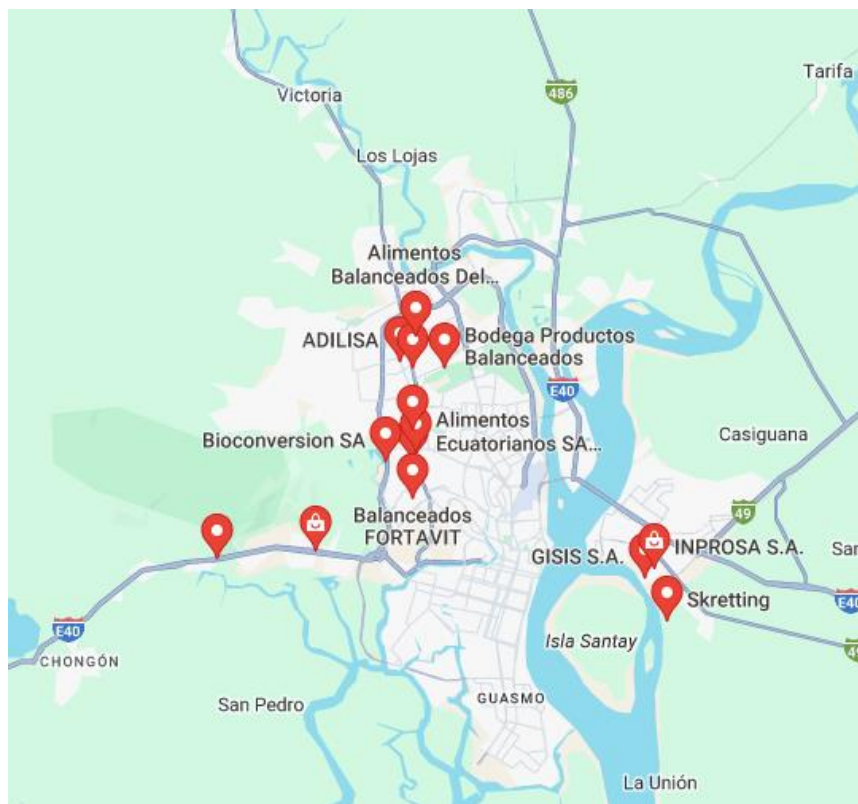
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

El proyecto presentado en este estudio es realizado en el patio de contenedores de una industria de fabricación de alimentos, quienes han dado las facilidades para el diseño e implementación del sistema de ensacado robotizado, pero desean se mantenga la confidencialidad de su representación.

Figura 16.

Ubicación de empresas en Guayaquil y alrededores que ensacan sus productos



En la actualidad, según datos de la revista Avinews (2023), en la provincia del Guayas operan alrededor de 60 empresas formales dedicadas a la producción de alimentos balanceados. Sin embargo, al incluir a las empresas informales que fabrican productos a menor escala para vender a terceros, el número asciende a unas 90 empresas. Si a esto se suman los productores de aves y cerdos que obtienen su propio alimento balanceado, la cifra total de unidades dedicadas a esta actividad podría alcanzar las 200, solo en esta

provincia. Esto evidencia una creciente necesidad de automatización en el sector, cuya demanda es cada vez más evidente, aunque la reacción al cambio no sea la esperada.

2.2. Diseño y alcance de la investigación.

La robotización del empaqueo en sacos de 25 kg busca perfeccionar la eficiencia y la calidad de los procesos industriales integrando tecnología avanzada. En el contexto concreto de la automatización en la empresa de alimentos, la incorporación de robots, sistemas de visión artificial, servomotores y cintas transportadoras automatizadas optimizará el manejo de sacos de 25 kg. Esta automatización no solo incrementará la productividad, que es la que se medirá para establecer las mejoras en el proceso y reducirá el margen de error, también garantizará un control más preciso de cada etapa del proceso. Luego se describirá el diseño y funcionamiento de cada operación involucrada en este sistema automatizado.

La implementación del sistema de ensacado robotizado en el patio de contenedores de una empresa de alimentos es presentado desde el punto de vista de una investigación no experimental, sino del tipo explicativa aplicada en base al conocimiento del ensacado manual y la implementación del sistema robotizado, mostrando las diferentes perspectivas sobre el tema. El objetivo del sistema automatizado es mejorar la productividad y reducir la necesidad de mano de obra, lo que se comprobará mediante encuestas y mediciones de tiempos de producción.

2.2.1. Investigación Explicativa

La presente investigación, sobre la implementación del sistema, se presentará desde el punto de vista, de una investigación explicativa buscando comprender las relaciones entre las variables, y como la automatización mejora la productividad, la calidad del producto y la eficiencia. Además, se analizarán los costos asociados con la implementación y compararlos con los beneficios obtenidos.

2.2.2. Factores para elegir la ensacadora de boca abierta adecuada

Elegir la ensacadora de boca abierta adecuada puede ser un desafío cuando se enfrenta a las diversas opciones disponibles en el mercado. Para seleccionar el equipo que mejor se adecúe a las necesidades se deben considerar los siguientes seis factores, para garantizar que está tomando la decisión más informada.

2.2.2.1. Presupuesto

Su presupuesto afecta el tipo de ensacadora que elige y el nivel de automatización, un presupuesto inicial le otorga acceso a una variedad más amplia de tecnología, lo que incluye las ensacadoras robotizadas. Tenga presente que una ensacadora automatizada debe tener un planificación de retorno de inversión más rápido que un modelo más modesto, además, debe acompañarla con un nivel alto de asistencia técnica. El paso más importante para elegir una ensacadora de boca abierta, o cualquier otro equipo, es seleccionar al proveedor apropiado, quien lo ayudará a tomar decisiones correctas sobre el equipo. La empresa de alimentos, donde se desarrolla la solución, invertirá como tope máximo los \$ 180.000,00 dólares.

2.2.2.2. Tamaño

Es importante elegir una ensacadora que brinde el rendimiento que necesita con el menor tamaño posible. Mientras menor es el tamaño, es más fácil instalar e integrar el equipo a la línea de empaque existente. El área de diseño corresponde a un área de 2500 m², por lo que el espacio no es considerado como un problema para la elección.

2.2.2.3. Velocidad de producción

Para seleccionar una ensacadora adecuada, es crucial tener en cuenta la producción deseada como uno de los factores más importantes. Asimismo, si se proyecta un aumento en la capacidad de producción a futuro, es esencial optar por una ensacadora que pueda manejar un volumen mayor al que se produce actualmente. En la actualidad, los ciclos de producción tardan hasta 2 minutos, y se plantea como objetivo final cuadruplicar esta capacidad, reduciendo el tiempo de cada ciclo a 30 segundos.

2.2.2.4. Tipos de sacos

Se seleccionaron sacos de polietileno debido a sus propiedades termosellables y su adaptación inicial a la humedad presente en el área de empaque, especialmente al manejar sacos de 25 kg. Las dimensiones estándar de las sacos son: un ancho de entre 45 y 55 cm, una altura de 75 a 90 cm, y un grosor que varía entre 100 y 200 micrones (µm) para garantizar su resistencia y hermeticidad. Estas especificaciones serán consideradas en el diseño final.

2.2.2.5. Tipo de producto

El producto ya elaborado que está listo para ensacar es alimento para camarón en forma de pellets o gránulos completamente secos, lo que hace necesario el ensacado en el menor tiempo posible para evitar la acumulación de humedad que causaría la descomposición o formación de moho dañando el producto elaborado. Estos pellets son lo suficientemente resistentes para no romperse durante el proceso de ensacado, pero a la vez deben ser fáciles de consumir por los camarones. Se recomienda empacar el alimento en sacos de polietileno de alta densidad (HDPE), generalmente de 25 kg, que es el estándar en la industria acuícola. Asimismo el tamaño de los sacos facilita el transporte y almacenamiento, ofreciendo resistencia y protección contra la humedad y factores externos como la luz solar. El termosellado de los sacos asegura que el alimento esté bien protegido, evitando derrames y manteniendo la frescura del producto al impedir la entrada de aire o humedad que podría comprometer su calidad.

2.2.2.6. Elección de su línea de automatización

Considerando los cinco factores previamente mencionados como son presupuesto, tamaño del equipo a instalar, velocidad de producción, tipo de sacos, y producto a ensacar más los objetivos de la empresa, facilitarán la toma de la mejor decisión para la automatización del proceso.

El tamaño de los pellets a considerar será según la fase de desarrollo del camarón y sus necesidades nutricionales específicas. Para las larvas, el tamaño fluctúa entre 100 y 300 μm ; para los camarones juveniles, entre 0.5 y 1.2 mm; y para los camarones adultos, de 1.5 a 3.0 mm; el tamaño es crucial para certificar que los camarones puedan consumir el alimento fácilmente, evitando el desperdicio y optimizando tanto la nutrición como la eficiencia del proceso de alimentación en la acuicultura.

2.2.3 Producción necesaria para ensacar

El proceso de ensacado comienza con el pesaje del producto en la tolva, lo que permite conocer la cantidad exacta de material disponible para el ensacado. Si se desean empaquetar 200 sacos de 25 kg cada uno, se puede determinar con precisión la cantidad de insumos necesarios

2.2.3.1 Cálculo de insumos

En base que la densidad (ρ) de un elemento está en directa relación a su peso (m) y al espacio (V) que ocupa podemos despejar y establecer la fórmula para calcular el volumen de la tolva:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

donde, V es volumen de la Tolva, M masa del producto y ρ es la densidad del producto.

El llenado de la tolva va a depender de su volumen en m^3 y de la densidad del producto para balanceados, el mismo que está en el orden de los 700 kg/m^3 , dato que es proporcionado por el fabricante de balanceado.

$$\text{Volumen Tolva} = \frac{5000 \text{kg}}{700 \text{kg/m}^3} = 7.1 \text{ m}^3$$

El número de sacos es dado por:

$$\frac{5000 \text{ kg}}{25 \text{ kg/saco}} = 200 \text{ sacos}$$

Para calcular los palets, divides el número total de sacos entre la cantidad de sacos por palet:

$$\frac{200 \text{ sacos}}{32 \text{ sacos/palet}} = 6,25 \text{ palets}$$

Los resultados son entonces:

- 200 sacos de polietileno,
- 5 toneladas de producto de granos, y
- 7 palets de 32 sacos

2.2.4 Estructuras y marcos robustos

En vista que el espacio no es problema porque la implementación contara con una bodega de 1000 m^2 , se plantea las estructuras donde se monta el sistema de ensacado manteniendo marcos robustos estables y resistentes para soportar cargas y movimientos repetitivos. Para garantizar el proyecto se eligen las estructuras que se instalan para tener el sistema de ensacado listo siendo estas:

- Máquina de pesaje para sacos
- Máquina dispensadora aplanadora de sacos
- Cinta transportadora
- Máquina ensacadora
- Máquina dispensadora de palets
- Máquina transportadora y apiladora
- Curvas transportadoras y cintas inclinadas

2.2.4.1 Máquina de Pesaje para sacos

Características de la máquina de pesaje a instalarse:

El sistema de pesaje que se instalara debe proporcionar una medición precisa y rápida de sacos, garantizando un rango altamente ajustable que permita futuras expansiones. Su diseño presenta una plataforma extensa, adecuada para albergar sacos de diversas dimensiones, y su estructura está construida con materiales resistentes a la corrosión, asegurando durabilidad in entornos industriales rigurosos. Asimismo, se exige que el equipo se integre sin dificultad en la línea de producción y disponga de medidas de seguridad, además de que la interfaz de control y comunicación facilite su conexión a sistemas de gestión y PLC, asegurando una operación eficiente y segura. Además, debe incorporar funciones de calibración automática y sensores de seguridad para detener el sistema en caso de sobrecarga o error. Por esto, en la Tabla 2, se resumen las especificaciones técnicas de la máquina de pesaje, mientras que en la Tabla 3 están las características del sistema de pesaje. Es importante señalar que las especificaciones presentadas en las tablas son configurables de acuerdo con las necesidades del proceso industrial y pueden modificarse para satisfacer los requisitos particulares de cada planta.

Tabla 2.

Especificaciones Técnicas máquina de pesaje

Datos Técnicos	Rangos
Fuente de Energía	220V o 380V
Consumo de Energía	Aproximadamente 200 W
Peso de la Máquina	Entre 150 kg y 300 kg

Tiempo de Respuesta	Menos de 1 segundo
Rango de Pesaje	0 a 100 kg
Precisión	± 20 g
Dimensiones de la Plataforma	600 mm x 800 mm

Tabla 3.

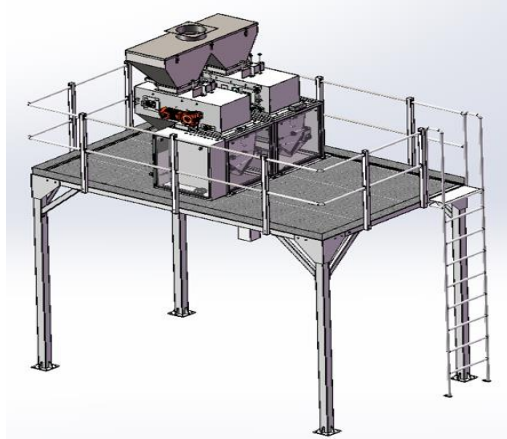
Características del Sistema de Pesaje

Capacidad de Pesaje	Sacos de 25 kg con alta precisión
Altura de Carga	Diseño ergonómico para facilitar la carga y descarga
Tipo de Celdas de Carga	Celdas de alta precisión, tipo strain gauge
Material	Acero inoxidable o aluminio para resistencia y durabilidad
Pantalla Digital	Visualización clara con mensajes de error y notificaciones
Controles	Botones para iniciar, detener y recalibrar
Interfaces de Comunicación	Conexión con PLC, RS232 o Ethernet
Salida de Datos	Exportación a sistemas de gestión
Calibración	Automática y manual para asegurar precisión y mantenimiento
Protecciones	Seguridades alrededor de la celda de carga y plataforma
Sensores de Seguridad	Detención automática por sobrecarga o error
Interfaz con Máquina Ensacadora	Sincronización con el proceso de llenado y cosido
Sistema de Control	Combinación con el PLC para gestionar el flujo de trabajo

En la Figura 18, sintetiza la máquina de pesaje, sobre la cual va la tolva.

Figura 17.

Máquina de pesaje, la tolva va encima de esta máquina.



Nota. Imagen provista por el proveedor en la empresa de alimentos

2.2.4.2 Máquina Dispensadora Aplanadora de Sacos

El sistema de distribución y aplanamiento de sacos está diseñado para recibir y aplanar automáticamente las sacos plegadas, preparándolas para su embalaje. Con capacidades de producción que van de 300 a 600 sacos por hora, según el tamaño y la aplicación, la máquina permite un procesamiento eficiente y continuo. Sus piezas ajustables garantizan la compatibilidad con sacos de 25 kg y varios tamaños, mientras que la robusta construcción de acero inoxidable o acero galvanizado garantiza una durabilidad duradera en entornos industriales difíciles. Además, cuenta con control API automatizado, una interfaz de usuario HMI y medidas de seguridad avanzadas para proteger a los operadores y mejorar las operaciones. La Tabla 4 resume los parámetros técnicos de la máquina aplanadora de sacos y la Tabla 5 sus principales características. Como en el caso anterior, las especificaciones de la tabla se pueden configurar según las necesidades del proceso industrial y se pueden modificar para cumplir con los requisitos específicos de cada planta. Mientras que la Figura No. 19 es una fotografía de esta máquina proporcionada por la empresa de alimentos.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la máquina aplanadora de sacos

Especificación	Detalle
Fuente de Energía	220V o 380V, trifásico
Consumo de Energía	Aproximadamente 3-5 kW
Peso de la Máquina	Alrededor de 1000 kg

Dimensiones de la Máquina	2.5 m largo x 1.5 m ancho x 2.0 m alto
Velocidad de Aplanado	Ajustable entre 5 y 15 sacos por minuto
Capacidad de Producción	300 a 600 sacos por hora
Capacidad del Depósito	Almacena hasta 100 sacos

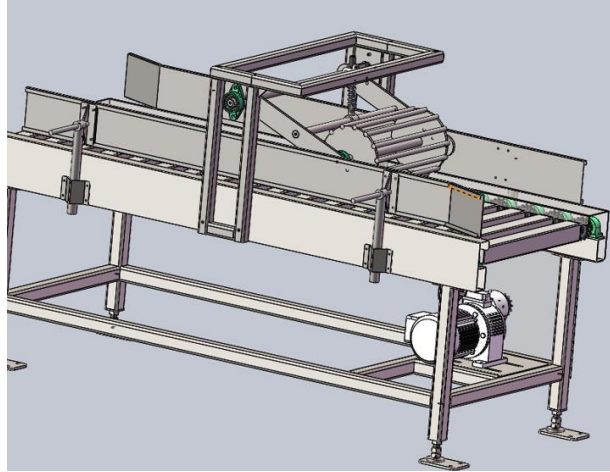
Tabla 5

Características de la maquina aplanadora de sacos

Característica	Descripción
Tamaño de Sacos Compatibles	Sacos de 25 kg (40 cm x 60 cm)
Dimensiones de Sacos Admitidos	Entre 30 cm y 60 cm de ancho, y 50 cm a 80 cm de largo
Mecanismo de Aplanado	Rodillos ajustables o prensas neumáticas
Ajustabilidad	Ajuste de presión y ancho según el tipo de saco
Controlador Lógico Programable (PLC)	Control automático y sincronización con otros procesos
Interfaz de Usuario (HMI)	Control de parámetros y monitoreo en tiempo real
Estructura	Acero inoxidable o galvanizado para mayor durabilidad

Figura 18.

Maquina dispensadora aplanadora de sacos.



Nota. Imagen provista por el proveedor en la empresa de alimentos

2.2.4.3 Cinta Transportadora

La cinta transportadora es pieza fundamental en la manipulación y transporte de sacos durante el proceso de envasado, y está especialmente diseñada para sacos de 25 kg. Los 5 m de largo y 0,6 m de ancho permiten un flujo continuo de productos, mientras que la construcción de acero y el revestimiento de PVC garantizan durabilidad y resistencia a la corrosión. Una capacidad de carga de 200 kg con márgenes de seguridad adecuados y una velocidad de 1 m/s mejora el rendimiento del sistema. Un motor trifásico de 0,5 kW proporciona la potencia necesaria y el controlador integrado, combinado con un sensor de presencia, permite un funcionamiento preciso y seguro. Como en los casos anteriores, las dos tablas siguientes resumen los parámetros técnicos y las características del portador, respectivamente.

Tabla 6.

Especificaciones Técnicas de la Cinta Transportadora

Especificación	Detalle
Longitud de la Cinta	5 metros
Ancho de la Cinta	0.6 metros
Material	Cinta de PVC
Capacidad de Carga	200 kg (margen de seguridad)
Velocidad de Transporte	1 m/s

Motor

0.5 kW, trifásico

Tabla 7.

Características de la Cinta Transportadora

Característica	Descripción
Tipo de Material	Cinta fabricada en PVC para mayor durabilidad
Sistema de Control	Botones de inicio/parada y sensores de presencia
Capacidad de Carga	Diseñada para soportar hasta 200 kg con margen de seguridad
Velocidad Ajustable	Velocidad constante de 1 m/s
Motor	Motor trifásico de 0.5 kW para garantizar eficiencia energética

2.2.4.4 Máquina Ensacadora Automatizada

El sistema de llenado es una solución automatizada diseñada para simplificar el proceso de llenado, sellado y preparación de sacos, especialmente en entornos industriales que requieren alta eficiencia y precisión. El dispositivo incluye un cargador de sacos, un mecanismo de extracción, un sistema de llenado preciso y una máquina de sellado. Gracias a su diseño avanzado, con control PLC e interfaz HMI, el sistema garantiza que cada paso del proceso esté sincronizado para una máxima productividad, mientras que el sistema de seguridad garantiza un funcionamiento seguro y continuo. La Tabla 7 resume los parámetros técnicos de la envasadora automática y la Tabla 8 sus principales características. Como en el caso anterior, las especificaciones de la tabla se pueden configurar según las necesidades del proceso industrial y se pueden modificar para cumplir con los requisitos específicos de cada planta. La Figura 21 muestra dos imágenes de dos vistas diferentes de este dispositivo.

Tabla 8.*Especificaciones Técnicas del Sistema de Ensacado de Sacos*

Especificación	Detalle
Capacidad de Producción	600 sacos/hora
Tamaño del Saco	25 kg
Fuente de Energía	Eléctrico (220V o 380V, trifásico)
Peso de la Máquina	Aproximadamente 1500 kg
Material de Construcción	Acero inoxidable
Dimensiones	3 m (largo) x 2 m (ancho) x 2.5 m (alto)

Tabla 9.*Características del Sistema de Ensacado de Sacos*

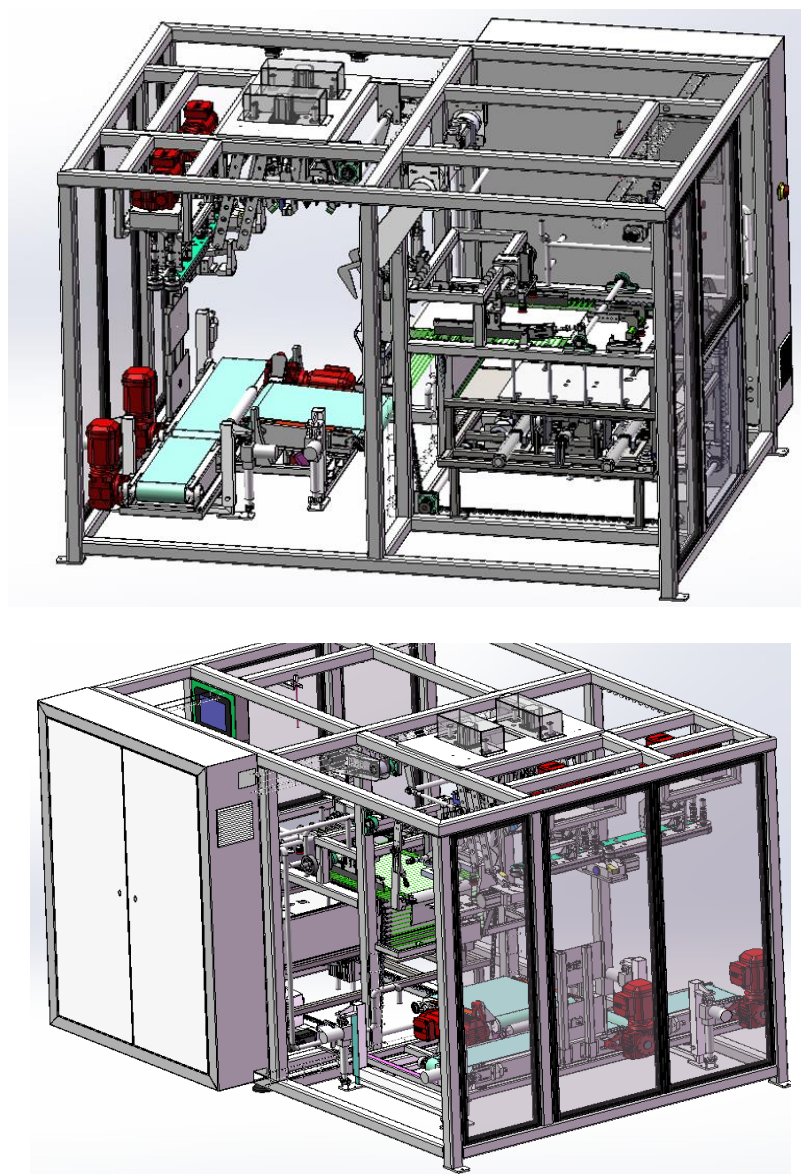
Características	Descripción
Depósito de Sacos	Almacena varios sacos y facilita su acceso mediante un sistema de carga
Mecanismo de Extracción	Alimentador con herramientas de agarre para extraer sacos uno a uno
Sistema de Sostenimiento	Pinzas neumáticas y mecánicas para sujetar los sacos firmemente
Control de Posicionamiento	Sensores capacitivos para detectar y alinear el saco antes del sellado
Llenado de Sacos	Sistema de llenado rápido con tolva dosificadora precisa
Sistema de sellado	Máquina integrada que cierra la parte superior del saco
Sistema de Control	PLC para coordinar todas las etapas del proceso
Interfaz de Usuario (HMI)	Pantalla que permite monitoreo y ajustes operacionales
Sensores de Seguridad	Sensores que detienen la operación en caso de fallos o problemas

Integración con Paletizador

Sincronización con el sistema de paletizado para transporte automático de los sacos llenos

Figura 19.

Maquina ensacadora automatizada



Nota. Imagen provista por el proveedor en la empresa de alimentos vista frontal y lateral

2.2.4.5 Máquina Dispensadora de Palés

El repartidor de palés móvil es un dispositivo esencial en un sistema automatizado de manipulación de materiales, diseñado para distribuir, apilar y transportar palés vacíos o cargados en líneas de producción y almacenamiento. Este sistema, utilizado

principalmente en las industrias de logística y fabricación, mejora la eficiencia operativa mediante el reabastecimiento automatizado de las líneas de paletas sistema de control avanzado y medidas de seguridad, este distribuidor garantiza un funcionamiento seguro, preciso y fiable en entornos industriales difíciles. La Tabla 9 resume las especificaciones técnicas de esta máquina, mientras que la Tabla 10 muestra sus principales características. Como en el caso anterior, las especificaciones de la tabla se pueden configurar según las necesidades del proceso industrial y se pueden modificar para cumplir con los requisitos específicos de cada planta. La figura 20 muestra imágenes de tres vistas diferentes de este dispositivo.. Equipado con un

Tabla 10.

Especificaciones Técnicas del Dispensador Transportador de Palés

Especificación	Detalle
Capacidad de Dispensado	15 a 30 palés por hora
Capacidad de Almacenamiento	Hasta 50 palés
Dimensiones de la Máquina	2.5 m (largo) x 1.5 m (ancho) x 2.0 m (alto)
Compatibilidad de Palés	Palés de 1200 mm x 1000 mm
Fuente de Energía	220V o 380V
Consumo de Energía	1-2 kW
Peso de la Máquina	500 kg a 800 kg
Tiempo de Ciclo	Menos de 30 segundos por pallet

Tabla 11.

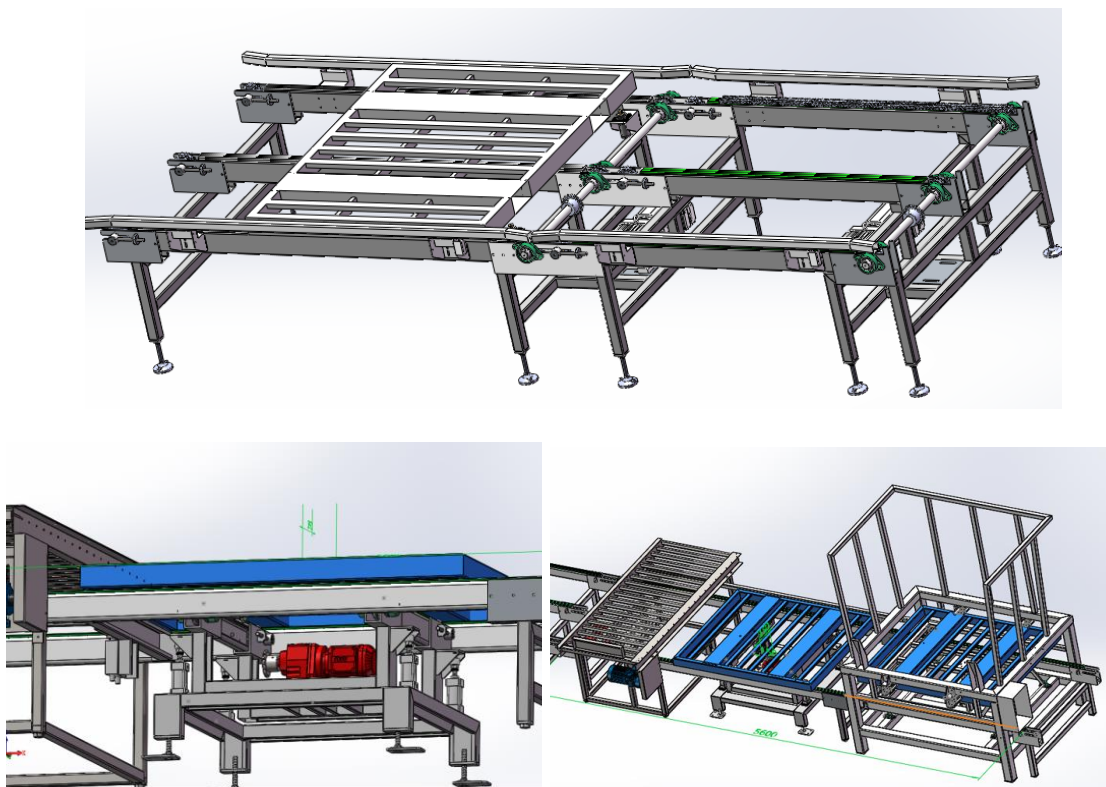
Características del Dispensador Transportador de Palés

Característica	Descripción
Alimentador de Palés	Sistema que separa y posiciona los palés para su dispensado
Sistema de Agarre	Pinzas neumáticas o eléctricas para sujetar y mover los palés

Control de Movimiento	Ejes lineales y servomotores para un dispensado preciso
Controlador Lógico Programable (PLC)	Para coordinar las operaciones y sincronización con el sistema de ensacado
Interfaz de Usuario (HMI)	Pantalla que permite monitoreo y ajustes del operador
Sensores de Seguridad	Sistemas infrarrojos o capacitivos para detener la operación en caso de obstrucciones
Material de Construcción	Acero inoxidable o galvanizado para durabilidad y resistencia
Facilidad de Mantenimiento	Diseño accesible para limpieza y mantenimiento, con componentes autolubricantes
Control de Inventario	Monitoreo de la cantidad de palés disponibles con alertas de reabastecimiento

Figura 20.

Dispensador transportador de palés



Nota. Imagen provista por el proveedor en la empresa de alimentos

2.2.4.6 Transportador apilador

Un transportador apilador es un sistema automatizado diseñado para manipular y organizar productos como sacos, cajas o paletas de 25 kg en pilas ordenadas. Este equipo es fundamental en los sectores de logística y fabricación, ya que buscan optimizar el espacio de almacenamiento y la eficiencia en la preparación de los envíos. Se integran en líneas de producción para apilar productos de forma precisa, rápida y segura. El sistema incluye una cinta transportadora que ajusta la velocidad en conjunto con el proceso de carga, un sistema de elevación automático y un PLC para control operativo. Además, cuenta con sensores posicionales para evitar errores y un sistema de evacuación que retira las pilas de producto al terminar. Como en los casos anteriores, en la Tabla 11, Tabla 12 y Figura 23 se presentan respectivamente las especificaciones técnicas, características principales y fotografías de esta máquina.

Tabla 12.

Especificaciones Técnicas del Transportador Apilador

Especificación	Detalle
Capacidad de Carga	De 500 kg a 2 toneladas por palet o pila de sacos
Altura Máxima de Apilado	1.5 a 2 metros
Capacidad de Apilado	Columnas de 5 a 10 sacos de 25 kg
Velocidad de Transporte y Apilado	Ajustable para grupos de 8 sacos por fila de palet
Material de Construcción	Acero inoxidable
Sistema de Control	Controlador Lógico Programable (PLC)

Tabla 13.

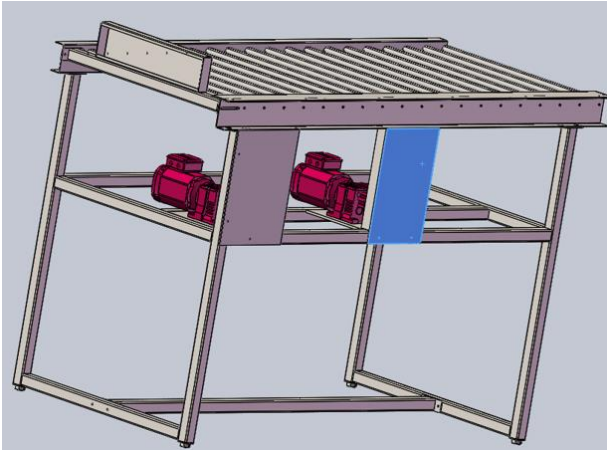
Características del Transportador Apilador

Característica	Descripción
Cinta Transportadora o Rodillos	Transporta productos hacia el sistema de apilado

Apiladores con Elevadores Verticales	Elevan y apilan productos de manera automática
Sistema de Empuje o Ubicación	Un brazo mecánico organiza los productos en la pila
Sensores de Posición y Presencia	Monitorean la ubicación de los productos
Sistema de Evacuación	Robot paletizador que retira la pila completada
Material de Construcción	Fabricado en acero inoxidable por exigencias sanitarias

Figura 21.

Transportador apilador



Nota. Imagen provista por el proveedor en la empresa de alimentos.

2.2.4.7 Curvas transportadoras y cintas inclinadas

En los sistemas automatizados de manipulación de sacos, como las operaciones de envasado en las industrias de procesamiento de productos alimenticios, los transportadores curvos e inclinados son elementos esenciales que mueven sacos de manera eficiente entre diferentes niveles y áreas de trabajo. La curva del transportador es un componente clave de la cadena transportadora, diseñada para cambiar continuamente la dirección del flujo del producto y nunca dejar de moverse. Particularmente útil en espacios de trabajo donde las limitaciones físicas impiden el uso de líneas rectas. Estas curvas permiten un manejo eficiente de sacos y otros productos, asegurando un flujo

continuo y sincronización con el resto del recorrido de transporte. La siguiente tabla detalla las principales especificaciones y características de estas curvas.

Tabla 14.

Especificaciones Técnicas de la Curva Transportadora

Especificación	Detalle
Ángulo de Curva	30°, 45°, 60°, 90°, 180°
Tipo de Transporte	Curvas de rodillos (para sacos pesados) o de banda (para productos ligeros)
Velocidad de Transporte	Ajustable: 0.5 m/s a 1.5 m/s
Capacidad de Carga	Entre 50 kg y 200 kg por metro lineal
Material de Construcción	Acero inoxidable
Accionamiento	Motores eléctricos con variadores de frecuencia

Tabla 15.

Características de la Curva Transportadora

Característica	Descripción
Ángulo de Curva	Ofrece flexibilidad en el diseño del espacio mediante ángulos ajustables para cambiar la dirección del flujo de productos
Tipos de Transporte	Curvas de rodillos adecuadas para sacos pesados que reducen la fricción; curvas de banda para productos más ligeros o pequeños
Velocidad Sincronizada	Velocidades ajustables para integrarse con el resto de la línea de transporte y mantener un flujo constante
Alta Capacidad de Carga	Soporta entre 50 kg y 200 kg por metro lineal, adaptándose a las necesidades del proceso
Material de Construcción Resistente	Estructura de acero inoxidable para soportar ambientes industriales húmedos y polvorientos
Control Preciso	Motores eléctricos con variadores de frecuencia para un control eficiente de la velocidad y la dirección

Las cintas inclinadas son componentes clave en los sistemas transportadores automatizados, diseñados para facilitar el movimiento vertical de sacos entre diferentes niveles en un proceso de producción o almacenamiento. Este tipo de cinta se utiliza para levantar sacos desde el suelo hasta la plataforma de carga. El diseño garantiza un transporte eficiente y seguro, evitando que la bolsa se resbale o caiga al subir o bajar. En la Tabla 15 se detallan los parámetros técnicos de la cinta inclinada y en la Tabla 16 sus principales características. La Figura 24 muestra curvas del transportador tanto curvilíneas como oblicuas.

Tabla 16.

Especificaciones Técnicas de la cinta inclinada

Especificación	Detalle
Inclinación	30°
Longitud	6 metros (para elevación de 3 m)
Material de la banda	Caucho
Capacidad de carga	25 kg - 50 kg por saco
Velocidad	0.3 m/s - 1.2 m/s
Motor y control	Motor eléctrico con variador de frecuencia
Frenos	Frenos integrados para pendientes altas

Tabla 17.

Características de la cinta inclinada

Característica	Descripción
Eficiencia en transporte	Permite transportar sacos entre distintos niveles sin interrupción
Durabilidad	Banda de caucho resistente, diseñada para un uso prolongado
Adaptabilidad	Velocidad ajustable para sincronización con otros sistemas de transporte
Seguridad	Frenos integrados evitan el deslizamiento en caso de paradas inesperadas

Capacidad

Soporta sacos de hasta 50 kg, ideal para líneas de producción pesadas

Figura 22.

Curva transportadora y cinta inclinada para cambiar de niveles



Nota. Imagen provista por el proveedor en la empresa de alimentos.

2.2.5 Robot paletizador

El ABB IRB 660 es un robot paletizador de alto rendimiento, diseñado específicamente para automatizar operaciones de paletizado en industrias de alta demanda, como la alimentaria, la agrícola y la de materiales de construcción. Este robot es capaz de manipular sacos, cajas y otros productos pesados con una alta eficiencia gracias a su capacidad de carga útil de hasta 250 kg y un amplio alcance de hasta 3,15 metros. Además, su diseño permite trabajar en líneas de producción de alta velocidad, hasta 20 rpm, ayudando a maximizar la productividad (Robotics ABB, 2021). El IRB 660 está diseñado para funcionar en espacios limitados gracias a su estructura compacta, lo que facilita su integración en plantas de fabricación. A pesar de su rápida velocidad, aún mantiene una alta precisión en el apilamiento de productos, lo que garantiza que los lotes de productos sean uniformes y estables para un transporte y almacenamiento convenientes. Sus características permiten realizar con la misma eficacia y seguridad operaciones como la manipulación de sacos, cartones y productos frágiles.

El IRB 660 se programa utilizando el software RobotStudio de ABB, y está equipado con botón de parada inmediata, y sensores tipo encoder para establecer su ubicación absoluta para monitorear la posición y el ángulo de los brazos robóticos. De esta manera, el sistema de control sabe en todo momento dónde están las diferentes partes del robot, lo que es

esencial para movimientos precisos y para evitar errores durante el proceso de paletizado o manipulación de objetos; garantizando una operación sin riesgos de colisiones, protegiendo tanto al personal como a los productos durante todo el proceso. En las Tablas 17 y 18 se encuentran las especificaciones técnicas y características del Robot ABB IRB 660, respectivamente. Una imagen de este robot se puede observar en la Figura 23.

Tabla 18.

Especificaciones del Robot ABB IRB 660

Especificación	Detalle
Capacidad de Carga	Hasta 250 kg
Alcance	3.15 metros
Velocidad	Hasta 20 ciclos por minuto
Dimensiones	Diseño compacto para espacios reducidos
Precisión	Alta precisión en apilado
Programación	Programable con RobotStudio de ABB
Compatibilidad	Integración con software de control
Fuente de Energía	Eléctrica, adaptada a entornos industriales

Tabla 19.

Características del Robot ABB IRB 660

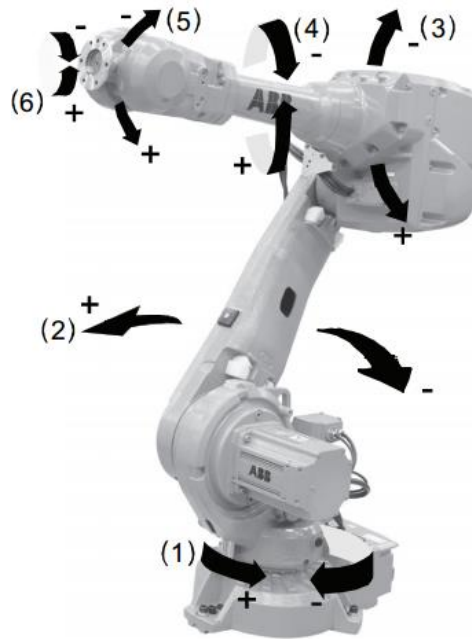
Característica	Descripción
Flexibilidad	Puede manejar una amplia variedad de productos, desde sacos pesados hasta materiales frágiles
Rendimiento	Operación rápida y eficiente, ideal para procesos de alta demanda
Durabilidad	Diseñado para operar de manera continua en entornos industriales rigurosos
Seguridad	Equipado con sensores avanzados para evitar colisiones y proteger al personal
Facilidad de Integración	Compatible con distintos sistemas de control y software automatizados

Aplicaciones

Ideal para paletizado de sacos, cajas, productos frágiles, entre otros

Figura 23.

Robot ABB 660 y sus ejes de rotación calibrados en posición cero



Nota. Presentación del robot ABB 660 tomado de (Robotics ABB, 2021)

2.2.6 Sistemas de seguridad

En los sistemas de seguridad de procesos se implementa una solución avanzada, integrando tecnología de visión e inteligencia artificial (IA) como complemento esencial al proceso automatizado de embalaje y paletizado. Este sistema inteligente utiliza cámaras ubicadas estratégicamente combinadas con algoritmos de inteligencia artificial para monitorear el estado de los sacos y su ubicación precisa en el palet en tiempo real, asegurando una perfecta alineación y apilamiento. Además, la IA podría encargarse de inspeccionar la calidad del producto, detectando posibles errores o fallos en el proceso, lo que no sólo mejora la eficiencia sino que aumenta enormemente la precisión del sistema. La integración del sistema de visión AI incluye dos cámaras, cada una de las cuales se enfoca en puntos clave del proceso: una para monitorear el empaque y la otra para garantizar que el proceso de carga se desarrolle sin problemas. Con este enfoque, existe un alto nivel de automatización y seguridad, lo que garantiza que cada paso se lleve

a cabo con precisión y sin interrupciones, reduciendo así los riesgos y mejorando la productividad general.

2.2.5.1 Sistema de Visión Artificial con IA

El sistema de visión artificial con inteligencia artificial (IA) es una pieza clave en la automatización del ensacado y paletizado, permite la supervisión y control del proceso en tiempo real, en la implementación se usará como un sistema de seguridad de empleados para no permitir accidentes donde involucren al ser humano. El sistema emplea cámaras industriales de alta resolución, procesadores potentes, y algoritmos avanzados de IA para detectar errores, asegurando la correcta alineación y apilado de los sacos, y garantizando la calidad del producto. Las cámaras capturan imágenes y videos desde distintos ángulos, mientras que el software analiza la información para identificar patrones, corregir desalineaciones y predecir fallos potenciales. Todo esto se integra con los sistemas de control de la planta a través de sensores y conexiones Ethernet, logrando una sincronización precisa entre el sistema de visión y los equipos de ensacado y paletizado. En las Tablas 19 y 20 se encuentran las especificaciones técnicas y características del Sistema de Visión Artificial con IA. Una imagen de la ubicación de las cámaras y de su uso se puede observar en la Figura 26

Tabla 20.

Especificaciones del Sistema de Visión Artificial con IA

Componente	Especificación
Cámaras Industriales	2D, Resolución: 10 MP, Velocidad: 45 fps, Conexión Ethernet, Iluminación LED.
Procesadores/Controladores	CPU multicore (Intel i7/Xeon), GPU (NVIDIA con CUDA), RAM: 16 GB o superior.
Software de Visión Artificial	Frameworks de Deep Learning para ABB RobotStudio Vision, seguimiento en tiempo real.
Sensores de Distancia	Sensores láser o de profundidad para medir apilado y alineación.
Conexión con el PLC	Protocolo Ethernet/IP, sistema de alarmas y control de calidad.

Tabla 21.

Características del Sistema de Visión Artificial con IA

Característica	Descripción
Detección de defectos	Evalúa si los sacos están correctamente llenos y sellados.
Reconocimiento de patrones	Detecta la orientación y posición correcta de los sacos.
Seguimiento en tiempo real	Controla la trayectoria de los sacos y su ubicación en el palet.
Interfaz HMI	Monitoreo del sistema en tiempo real.
Seguridad del operador	paradas de emergencia, y señalizaciones en todo el proceso.

Figura 24.

Cámaras IA para trayectoria de sacos



Nota. Imagen provista por el proveedor para fines educativos

La Tabla 21 enumera el hardware necesario para la implementación; Se colocarán cámaras de alta resolución estratégicamente para capturar fotografías instantáneas de los sacos desde diferentes ángulos. Se coloca una cámara encima de la cinta para monitorear la alineación y otra cámara en la esquina lateral para monitorear el progreso

y la estabilidad de la mochila. Esto permite al sistema verificar la posición y dirección, detectar cualquier anomalía en el camino y compararlo con el modelo de camino óptimo ingresado al comienzo del proceso. El operador debe asegurarse durante la operación de que la luz en bolsa tenga brillo lumínico. Son 900 lux para evitar sombras o lecturas incorrectas de la cámara. Los requerimientos de equipamiento se resumen en la Tabla 22 para la implementación.

Tabla 22.

Listado de elementos necesarios para implementar el sistema de supervisión de trayectoria de sacos.

Material	Cantidad
Cámara de visión artificial (5 MP)	2
Iluminación LED industrial	2
GPU de alto rendimiento	1
Unidad de inferencia IA	1
Computadora industrial	1
Sensores de proximidad	2
Switch Ethernet industrial	1
Soportes de montaje	2
Carcasa de cámara IP65	2
Disco SSD (1 TB)	1
UPS	1

2.2.7 Programación del sistema de ensacado

El programa de control que maneja el PLC está dividido en módulos para cada etapa del proceso, siendo los mismos:

- Control del Ensacado
- Cierre del Saco

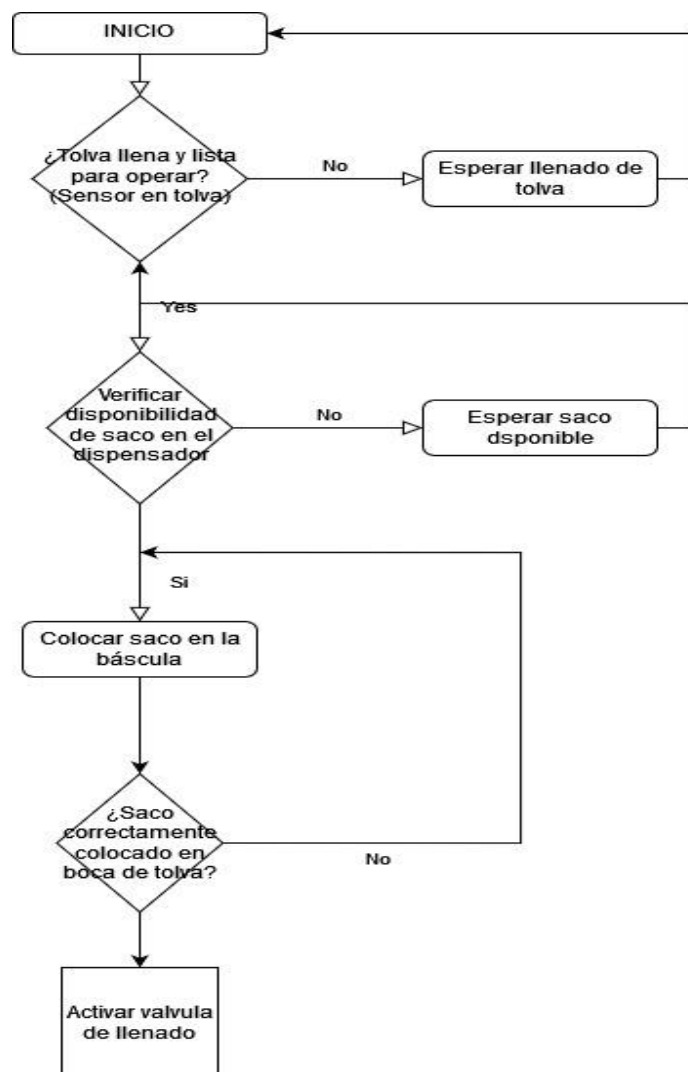
- Transporte de los Sacos y Paletizado
- Programación del robot

2.2.7.1 Control del Ensacado

Para llenar la bolsa, el controlador activa la válvula de llenado cuando la bolsa está en la posición correcta (detectada por el sensor de presencia). Utilice la señal de la báscula para detener el llenado cuando se alcance el peso objetivo (25 kg). En la Figura 25 se muestra un diagrama esquemático del proceso de llenado.

Figura 25.

Diagrama de flujo del control del llenado de sacos de 25 Kg.



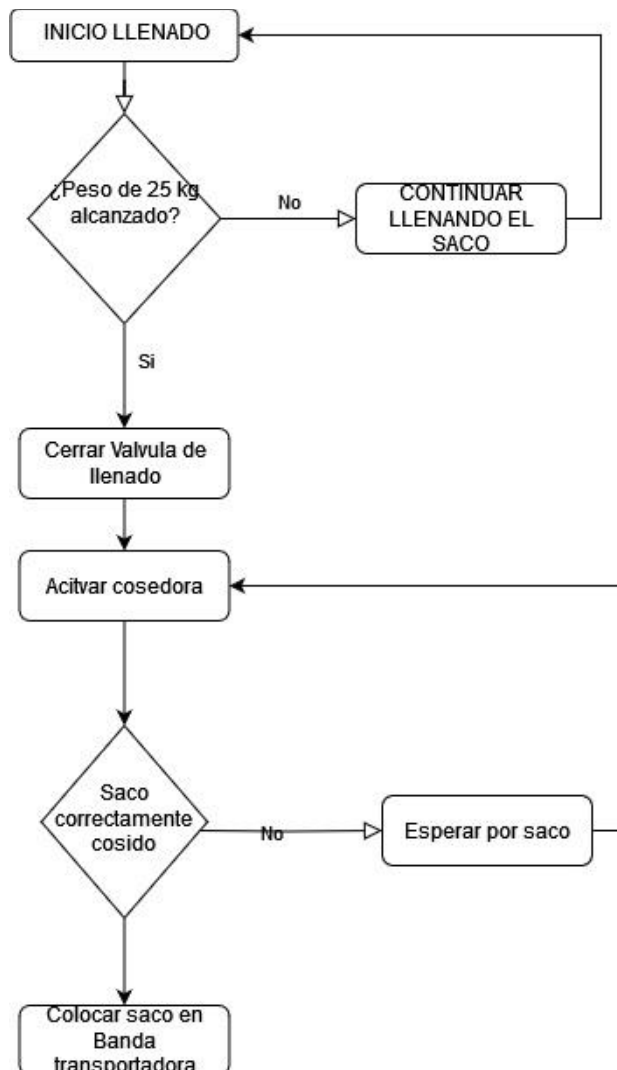
Nota. Descripción del diagrama de control de la ubicación y llenado del saco de 25 kg. Realizado por (el autor)

2.2.7.2 Cierre del Saco

Una vez que el saco está lleno, el PLC activa la selladora automática. Los pasos de este proceso se resumen en el diagrama de la Figura 26.

Figura 26.

Diagrama de flujo del control del peso, cosido y activación de la banda transportadora de sacos de 25 Kg.



Nota. Descripción del diagrama de control del peso, cosido y activación de la banda transportadora de saco de 25 kg. Realizado por (el autor)

2.2.7.3 Transporte de los Sacos y Paletizado

Cuando la bolsa esté llena y sellada, el PLC activará el transportador para mover la bolsa a la plataforma de carga. Estos pasos se resumen en el diagrama de la Figura 27. La

detección de posición se realiza mediante sensores ubicados a lo largo de la cinta y se informa una posición. al PLC. De la bolsa. Además, el PLC también controla los movimientos del robot para recoger sacos y colocarlas en palets según un patrón predeterminado. Los sensores de peso y posición garantizan que las sacos se apilen correctamente y no superen la capacidad del palet.

Figura 27.

Diagrama de flujo del control del saco en la banda transportadora de sacos de 25 Kg. Hasta el brazo robótico y acción en el palet.



Nota. Diagrama realizado por el autor

2.2.7.4 Programación del robot

El robot ABB IRB 660 se puede programar utilizando RobotStudio, el software propietario de ABB diseñado para simulación y programación avanzadas. También es posible programar directamente desde la unidad de control robótica utilizando RAPID, el lenguaje de programación patentado de ABB. El primer paso para gestionar y programar robots es instalar RobotStudio, que está disponible para descargar desde el sitio web oficial de ABB. La Tabla 23 detalla los requisitos mínimos y recomendados del sistema para garantizar un rendimiento óptimo del software.

Tabla 23.

Requisitos computacionales para instalación de RobotStudio

Categoría	Requisitos
Sistema Operativo	<ul style="list-style-type: none">- Windows 10 o Windows 11 (64 bits).- No se recomienda la versión Home.- No es compatible con macOS, pero se puede utilizar en una máquina virtual con Windows.
Procesador	<ul style="list-style-type: none">- Intel Core i7, i9 o equivalente AMD Ryzen 5/7/9.- Al menos 4 núcleos y soporte para virtualización.
Memoria RAM	<ul style="list-style-type: none">- 16 GB o más.- Especialmente importante para simulaciones complejas o modelos CAD pesados.
Tarjeta Gráfica	<ul style="list-style-type: none">- Tarjeta gráfica dedicada como:<ul style="list-style-type: none">- NVIDIA GeForce GTX/RTX (serie 10 o superior).- AMD Radeon RX (serie 500 o superior).- Mínimo 2 GB VRAM (recomendado 4 GB).
Espacio en Disco	<ul style="list-style-type: none">- Mínimo: 5 GB de espacio libre.- Recomendado: Unidad SSD con al menos 10 GB libres para mejorar velocidad y manejo de simulaciones.- Mínimo: 1280 x 768 píxeles.

Resolución de Pantalla

- Recomendado: Full HD (1920 x 1080) o superior para mejor visualización.

Otros Requisitos

- Microsoft .NET Framework: Versión 4.8 o superior (generalmente se instala automáticamente).

- Conexión a Internet: Necesaria para descargas y actualizaciones.

- Dispositivo de Entrada: Ratón con rueda de desplazamiento (recomendado).

Requisitos Adicionales

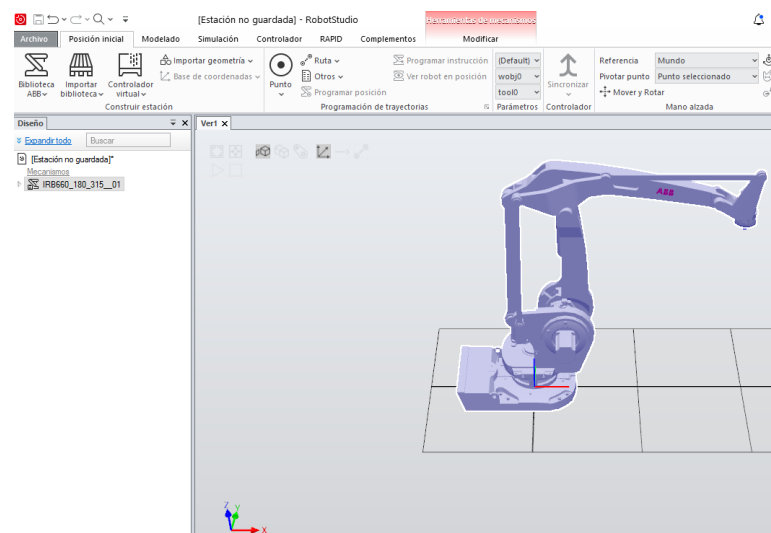
- Modelos CAD pesados: Procesador de última generación y al menos 32 GB de RAM.

- Conexión al robot físico: Tarjeta de red Ethernet para conexión al controlador.

Una vez instalado el software, el controlador de la computadora y el robot deben estar conectados a una red Ethernet o Wi-Fi, lo que dependerá de la red de la industria en la que se esté implementando el proyecto. Una vez establecida la conexión, se creará un nuevo proyecto seleccionando el modelo de robot que se muestra en la Figura 28 y configurando a su vez su entorno de trabajo.

Figura 28.

Pantalla de entorno de RobotStudio con ABB IRB 660

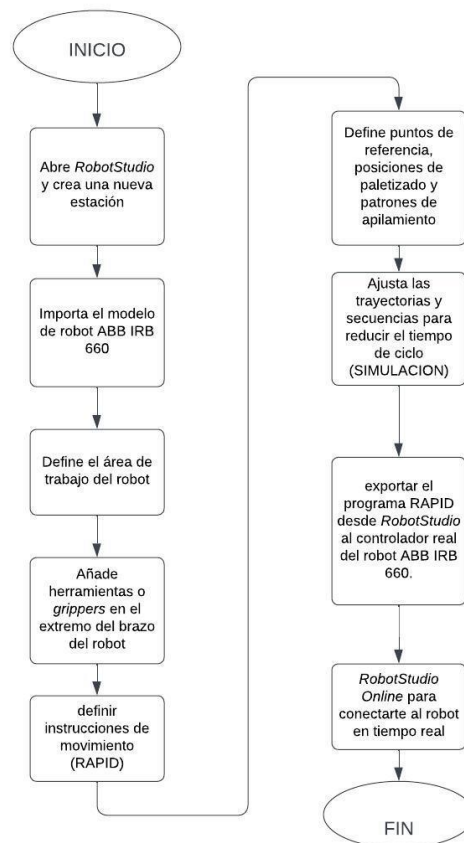


Nota. Creación de entornos, trayectorias y aplicaciones

Los pasos de este proceso se muestran en la Figura 29 donde el punto central de la herramienta (punto central de la herramienta TCP), que generalmente es el punto central de la pinza del robot de carga, se determina según la posición (x, y, z) y dirección (rotación alrededor de los ejes Rx, Ry y Rz) relativa a la base del robot o al sistema de coordenadas de la herramienta. y el sistema de coordenadas de trabajo (WObj), necesario para garantizar que el robot interactúe correctamente con objetos como plataformas o transportadores. A continuación se describe el programa en el lenguaje RAPID típico de los robots ABB. Este software proporciona detalles de los movimientos del robot, incluidos movimientos lineales y articulados hacia puntos predefinidos en el espacio 3D. Una vez que el software está listo, la ruta se simula en RobotStudio para comprobar si hay colisiones o errores durante el movimiento. Si todo funciona correctamente, el programa se transferirá al controlador del robot mediante una conexión USB o TCP/IP directa. A continuación, en el panel de control FlexPendant del robot, se realiza una prueba para garantizar que las acciones programadas se realicen según lo previsto.

Figura 29.

Diagrama de flujo de programación en RobotStudio



Nota. Flujo seguido para la programación de movimientos del robot por el proveedor

Finalmente, con la programación del robot lista, se ajustan parámetros finales y se activa el sistema en modo automático para integrarlo a la producción, asegurando que cumpla con las normas de seguridad industrial. Este proceso combina tecnología y precisión para automatizar tareas repetitivas y optimizar el rendimiento en la planta. Esto significa que puedes diseñar, probar, y optimizar los movimientos y tareas del robot en un entorno virtual, sin necesidad de detener la línea de producción.

2.2.7.4.1 Sistema operativo RobotWare

RobotWare es el sistema operativo y software de control que gestiona las operaciones del robot ABB IRB 660 y otros robots de la misma familia. Este software se ejecuta en la unidad de control del robot, llamada IRC5, y es esencial para programar, operar y monitorear el robot en tiempo real. Su función principal es proporcionar el entorno necesario para realizar tareas como movimientos precisos, control de instrumentos conectados e integración con sistemas periféricos. Un componente clave de RobotWare

es la compatibilidad con RAPID, el lenguaje de programación patentado de ABB para robótica. RAPID permite a los programadores crear secuencias de movimiento, gestionar entradas y salidas e implementar estructuras de control complejas para automatizar una variedad de tareas industriales, desde el ensamblaje hasta la soldadura. La capacidad de definir rutas 3D y controlar con precisión el robot y sus herramientas es una de las características que hace que RobotWare sea esencial para que el robot funcione correctamente. RobotWare también proporciona una interfaz de usuario integrada con el controlador, y esto normalmente se logra a través de un periférico FlexPendant (un dispositivo portátil de ABB utilizado para programar y controlar robots industriales) o mediante simulación con RobotStudio en una PC. Estas interfaces permiten a los operadores y programadores monitorear el estado del robot, modificar programas en tiempo real y ajustar parámetros sin interrumpir las operaciones. Además, el sistema está diseñado para ser altamente flexible, facilitando la integración de nuevos periféricos y sensores, ampliando así las capacidades del robot. ABB desarrolla el software como una versión regular, con actualizaciones que mejoran la funcionalidad, agregan nuevas funciones y corrigen posibles errores. Es importante que cada versión de RobotWare sea compatible con el modelo de robot específico, como el IRB 660, para garantizar que todas las funciones estén disponibles y funcionen correctamente. En cuanto a la plataforma sobre la que se ejecuta, RobotWare se basa en un sistema operativo en tiempo real adaptado a las necesidades industriales y, en el caso de IRC5, utiliza una versión personalizada de Windows Embedded. Esta plataforma permite que el sistema opere con alto rendimiento y estabilidad, características esenciales en entornos industriales que requieren un funcionamiento preciso y continuo. En definitiva, RobotWare es el corazón que permite que el robot ABB IRB 660 funcione correctamente, proporcionando la infraestructura necesaria para programar, monitorear y ejecutar tareas complejas. Sin este sistema operativo, el robot no sería capaz de realizar sus movimientos con precisión ni integrarse eficazmente con otros dispositivos, lo que lo convierte en una herramienta indispensable en la automatización industrial.

2.3. Tipo y métodos de investigación

Para comparar los sistemas de envasado manual y los sistemas de envasado automatizados, se identificarán diferencias y similitudes en términos de eficiencia, precisión, velocidad, ergonomía y costo. Esta comparación se centrará en los tipos de

investigación y métodos de recopilación de datos aplicados a ambos sistemas y, en particular, la investigación cuantitativa y cualitativa utilizada para evaluar ambos sistemas.

2.3.1 Investigación Cuantitativa

Este tipo de investigación se basa en métodos cuantitativos y comparativos con el objetivo de medir y analizar las diferencias entre sistemas manuales y robóticos en el proceso de envasado. Las principales variables del estudio incluyen tiempo, productividad, precisión y costos operativos. Al recopilar datos experimentales para el método manual y datos informáticos del sistema automatizado, se logró una comparación directa entre el rendimiento de los dos sistemas. Este método implica realizar experimentos controlados en los que ambos sistemas funcionan en condiciones similares. Se recogen datos específicos para cada variable (como el número de minutos en cada actividad, el número de sacos por hora, la desviación estándar del peso, etc.). Luego se aplican técnicas estadísticas como el análisis de varianza para determinar si las diferencias observadas entre sistemas son significativas. Esto nos permite determinar si un sistema automatizado proporciona mejoras significativas sobre un sistema manual. La Tabla 24 resume los datos que se midieron y utilizaron con fines de comparación.

Tabla 24.

Datos cuantitativos para medir en el proceso

Variable	Definición	Método de Medición	Resultado Esperado
Tiempo	Duración de las operaciones de llenado, sellado y paletización.	Cronometrar el tiempo en minutos para cada operación en ambos sistemas.	El sistema con menor tiempo de operación será más eficiente.
Productividad	Número de sacos ensacados por hora en cada sistema.	Medir la cantidad de sacos llenados y paletizados por hora en cada sistema.	El sistema con mayor cantidad de sacos ensacados será más productivo.
Precisión	Variabilidad en el peso de los sacos y consistencia en la paletización.	Calcular la desviación estándar del peso y analizar la homogeneidad en palés.	Menor variabilidad indicará un sistema más preciso.

Costo	Comparación de costos operativos a largo plazo: mano de obra, energía, etc.	Análisis de costos: mantenimiento, mano de obra, consumo energético.	El sistema que presente menores costos a largo plazo será más rentable.
--------------	---	--	---

Nota. Los datos serán tomados antes y después de la implementación

2.3.2 Investigación Cualitativa

Este enfoque tiene como objetivo analizar las percepciones, experiencias y opiniones de trabajadores y operadores respecto a dos sistemas de embalaje: manual y robótico. El objetivo es evaluar cómo la introducción del sistema automatizado afecta a aspectos clave como la facilidad de uso, la satisfacción laboral y la adaptabilidad del operador. Este método implica recopilar los datos cualitativos que se muestran en la Tabla 25 a través de encuestas y entrevistas estructuradas en las que se pide a los trabajadores que comparen los dos sistemas en función de sus experiencias personales. Las escalas de calificación se utilizan para medir las percepciones de los trabajadores sobre aspectos específicos como la facilidad de uso, la satisfacción laboral y la adaptabilidad a los sistemas automatizados. Estos datos se analizan para identificar tendencias y determinar si los sistemas robóticos crean percepciones más positivas que los sistemas manuales.

Tabla 25.

Datos cualitativos de la implementación.

Variable	Definición	Método de Medición	Resultado Esperado
Facilidad de Uso	Percepción de los trabajadores sobre la facilidad para operar ambos sistemas.	Encuestas utilizando una escala de Likert (1 = muy difícil, 5 = muy fácil).	Se espera que el sistema robotizado sea percibido como más fácil de operar.
Satisfacción Laboral	Grado de satisfacción de los trabajadores respecto a las condiciones de trabajo, seguridad y carga física.	Encuestas y entrevistas sobre la satisfacción general y condiciones laborales.	Se espera que el sistema automatizado incremente la satisfacción laboral.
Adaptación	Facilidad con la que los trabajadores se ajustan al sistema robotizado frente al manual.	Encuestas sobre el nivel de dificultad experimentado al adaptarse al nuevo sistema.	Se espera que los trabajadores se adapten rápidamente al sistema robotizado.

Nota. Los datos serán tomados antes y después de la implementación

2.3.3. Métodos de Investigación

La metodología de investigación propuesta combina métodos cuantitativos y cualitativos para realizar una comparación integral entre los sistemas de embalaje manuales y robóticos. Los datos se recopilan a través de encuestas, observaciones directas y planificación operativa, lo que permite analizar el desempeño, las percepciones de los trabajadores y los costos asociados con cada sistema. Cuantitativamente, variables clave como el tiempo de actividad, la productividad, la precisión del pesaje de sacos y los costos operativos se miden utilizando muestras representativas para garantizar una confianza confiable en el análisis estadístico.

En total se realizaron mediciones durante 30 ciclos para cada sistema, analizando la productividad diaria tres días a la semana y pesando 100 sacos en cada sistema. A nivel cualitativo, las percepciones de los empleados se evaluaron mediante encuestas estructuradas en escala Likert (1 a 5) y entrevistas a una muestra de 15 empleados. Este enfoque proporciona información sobre la satisfacción laboral, el entorno laboral y cómo los trabajadores perciben las transiciones de un sistema a otro. Los resultados cuantitativos se analizarán utilizando técnicas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los dos sistemas, mientras que los datos cualitativos proporcionarán información sobre las percepciones y experiencias del personal. La Tabla 26 presenta los métodos y variables a analizar.

Tabla 26.

Método y variables para analizar en la implementación

Variable	Definición	Método de Medición	Muestra	Resultado Esperado
Tiempo	Duración de los ciclos de llenado, sellado y paletizado.	Cronometrar 30 ciclos de operación en ambos sistemas.	30 ciclos por sistema	El sistema robotizado debería reducir el tiempo por ciclo.
Productividad	Número de sacos procesados por hora.	Registro de producción diaria durante tres días (lunes, miércoles y viernes).	3 días de registro	Se espera que el sistema robotizado tenga una mayor productividad.

Precisión	Consistencia en el peso de los sacos llenos.	Medición del peso de 100 sacos en cada sistema.	100 sacos por sistema	El sistema robotizado debería mostrar menor variabilidad en el peso.
Costo	Análisis de costos fijos y variables.	Recopilación de datos confidenciales proporcionados por la empresa.	Estimación basada en costos globalizados	Se espera que el sistema robotizado tenga mayores costos iniciales, pero menores a largo plazo.
Ergonomía y Seguridad	Condiciones ergonómicas y de seguridad de los trabajadores.	Encuestas a trabajadores sobre sus experiencias en el sistema manual durante 6 meses.	Datos recogidos por encuestas	El sistema robotizado debería mejorar las condiciones ergonómicas.
Satisfacción Laboral	Percepción de los trabajadores sobre sus condiciones laborales.	Encuestas a 15 empleados utilizando escalas tipo Likert.	15 empleados por sistema	Se espera que el sistema robotizado incremente la satisfacción laboral.
Adaptación	Capacidad de los trabajadores para adaptarse al sistema.	Encuestas y entrevistas a empleados sobre la facilidad de adaptación al sistema robotizado.	15 empleados por sistema	Los trabajadores deberían adaptarse rápidamente al sistema robotizado.

Nota. Los datos serán tomados antes y después de la implementación

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El método de recopilación de datos para este estudio será un enfoque mixto, utilizando técnicas tanto cuantitativas como cualitativas; Evaluar y comparar el rendimiento de los sistemas de embalaje manuales versus los sistemas automatizados. El análisis cuantitativo se centra en medir variables objetivas como el tiempo, la productividad, la precisión de la bolsa, el costo y la ergonomía. Por otro lado, el análisis cualitativo se centra en las percepciones y experiencias de los trabajadores, evaluando variables como la satisfacción laboral, la facilidad de uso y la adaptabilidad al sistema automatizado.

2.4.1 Técnicas Cuantitativas

Estas incluyen:

Medición de tiempos y estudios de tiempos: Para medir los tiempos de ejecución se utilizan cronómetros para sistemas manuales y herramientas de software para sistemas robóticos.

Medición de productividad: Los sacos por hora se registran mediante el sistema HMI en el sistema automatizado y manualmente en el sistema convencional.

Precisión del peso del saco: Se utilizaron básculas precisas para evaluar la variación en el peso de la bolsa llena en ambos sistemas.

Evaluación de costos: Se comparan costos fijos y variables, garantizando la seguridad de los datos.

2.4.2 Técnicas Cualitativas

Se utilizaron encuestas cerradas y abiertas, utilizando una escala Likert, para medir la satisfacción laboral, la facilidad de uso y la capacidad de adaptación de los empleados.

2.5. Procesamiento de la evaluación

Para los sistemas manuales y robóticos, se recopilarán datos cuantitativos (tiempo de funcionamiento, productividad, precisión de pesaje, costo, ergonomía) y cualitativos (facilidad de uso percibida, facilidad de uso, adaptabilidad, satisfacción laboral) utilizando el tiempo, encuestas y observación directa, ver Tabla 27. Los datos en gráficos reflejan tiempo, capacidad, satisfacción laboral, precisión de pesaje, costo y facilidad de uso. Luego se aplicarán análisis estadísticos como el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis descriptivo para evaluar las diferencias en productividad, costo y facilidad de uso entre los dos sistemas. Los datos cualitativos se procesarán analizando percepciones, codificando respuestas y comparando percepciones entre los dos sistemas.

Tabla 27.

Variables por medir y comparar resultados

Variable	Técnica	Instrumento	Método de Recolección
----------	---------	-------------	-----------------------

Tiempo de Operación	Cronometría y Estudio de Tiempos	Cronómetro, HMI del sistema robotizado	Registro de los tiempos en ambas fases, manual para el sistema tradicional, automático para el robotizado
Productividad	Registro de producción	Formatos de control de la empresa, HMI	Medición del número de sacos producidos por hora en ambos sistemas
Precisión	Pesaje de sacos	Balanza de precisión	Pesaje de 50 sacos en cada sistema, análisis de variabilidad
Costos	Análisis de costos	Estimaciones de costos proporcionados por la empresa	Evaluación de costos fijos y variables (inversión, mantenimiento, energía, mano de obra)
Ergonomía y Seguridad	Encuestas sobre condiciones de trabajo	Encuestas físicas o Google Forms	Evaluación de bienestar y salud de los trabajadores mediante encuestas
Satisfacción Laboral	Encuestas de percepción	Google Forms o encuestas físicas con escala Likert	Medición de satisfacción laboral y facilidad de uso del sistema robotizado
Adaptación	Entrevistas y encuestas	Google Forms o encuestas físicas	Evaluación de la facilidad de adaptación al sistema robotizado frente al manual
Análisis Estadístico	Análisis de varianza y otros métodos estadísticos	Software estadístico (SPSS, MATLAB, R)	Aplicación de ANOVA para comparar las diferencias en el rendimiento de los sistemas

Nota. Los datos serán tomados antes y después de la implementación

2.6. Evaluación de los Resultados

La evaluación se realiza comparando dos sistemas (manual y robótico) en función de seis variables principales: tiempo, productividad, precisión, costo, ergonomía y satisfacción

laboral. Para cada variable se utilizarán métodos de análisis cuantitativos y cualitativos, como análisis de varianza (ANOVA) sobre tiempo y precisión, así como encuestas sobre percepciones y satisfacción laboral. El objetivo es determinar si el sistema automatizado ofrece mejoras significativas sobre el sistema manual. La Tabla 28 presenta los métodos y resultados esperados de la evaluación.

Tabla 28.

Comparación de resultados de sistemas manual y automatizado

Variable	Método de Evaluación	Resultado Esperado
Tiempos de Operación	ANOVA para comparar tiempos entre sistemas	Diferencia significativa = sistema más eficiente
Productividad	Comparación de sacos ensacados por hora	Sistema con mayor productividad por hora
Precisión del Peso	ANOVA para comparar la desviación estándar del peso de los sacos	Menor desviación estándar = mayor precisión
Costos	Análisis comparativo de costos operativos y de inversión inicial	Sistema más rentable a largo plazo
Satisfacción Laboral	Encuestas sobre percepción de trabajadores	Sistema que aumente la satisfacción laboral

Nota. Los datos serán tomados antes y después de la implementación

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de tiempos por fase

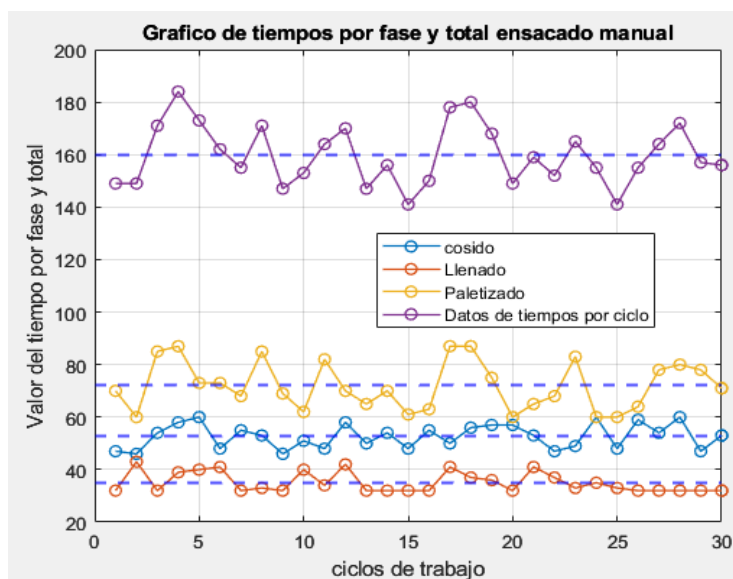
Esta empresa de alimentos, que lleva más de 15 años en el mercado de producción de alimentos para camarones, realiza el envasado a mano, inspeccionando cada paso del proceso. Sin embargo, con el objetivo de mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de producción, se implementó un sistema de embalaje automático. Para evaluar la efectividad de este cambio, se realizó una comparación detallada entre el tiempo de procesamiento manual y el del sistema automatizado, con el objetivo de analizar el tiempo y los beneficios de producción de sacos empacados de 25 kg.

3.1.1 Tiempos por proceso manual

El tiempo de procesamiento manual se registró en 30 ciclos de trabajo seleccionados al azar, y las mediciones se tomaron con un cronómetro. Estos valores están organizados en una base de datos de Excel llamada "tiempos_manual.xlsx". Los datos se procesaron mediante una rutina MATLAB, diseñada para analizar los tiempos de procesamiento manual y compararlos con los obtenidos en sistemas automatizados. La programación de este procedimiento se detalla en los apéndices y los resultados se muestran en la Figura 30 y la Tabla 29.

Figura 30.

Presentación de datos de tiempos por proceso y total



Nota. Tiempo por ciclo por saco mínimo 140 máximo 184 promedio del ejercicio 158 s.

Tabla 29.

Tabla de tiempos del proceso manual de ensacado para alimento de camarones en sacos de polietileno de 25 Kg.

Llenado del saco	Cierre y sellado del saco	Ubicación en el palet
Ubicación del saco debajo de la tolva: 14 s.	Retiro del saco de la tolva y traslado a la máquina de coser: 10 s.	Traslado del saco al palet: 10 segundos.
Apertura de la válvula y llenado del saco: 28 s.	Sellado mediante máquina de coser industrial: 16 s.	Apilamiento manual en el palet: 12 s.
Control de peso con báscula: 10 segundos.	Verificación del peso y del sellado correcto: 8 s.	Movimiento del palet con carro hidráulico: 50 s.
Tiempo total de llenado: 52,5s.	Tiempo total de cierre y sellado: 34 s.	Tiempo total de ubicación en el palet: 72 s.

Nota. El tiempo total del proceso desde el inicio al final del proceso de ensacado para de un saco de 25 kg. es de 158 s.

3.1.2 Peso del saco proceso manual

Durante la producción manual de sacos de 25 kg se realizan 263 pesajes en tres días diferentes. La distribución y la incertidumbre de la información se determinaron mediante el software MATLAB. Los apéndices presentan el programa de cálculo, la Figura 31 presenta un cuadro que compara la información obtenida junto con los errores de distribución y los pesos, la Tabla 30 presenta las cifras de los datos.

El cálculo se realiza utilizando la función de densidad de probabilidad para la distribución normal, que tiene la forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

μ es la media, σ es la desviación estandar, x es el valor en el eje x

Tabla 30.

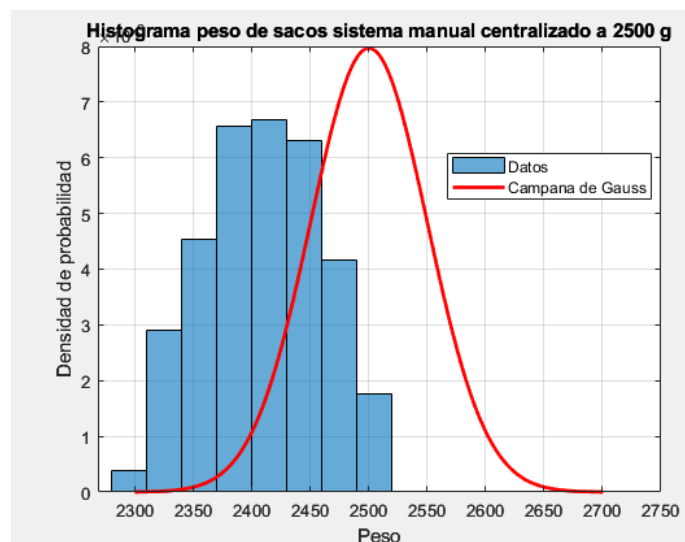
Datos estadísticos del proceso de ensacado manual de sacos de 25 kg.

Métrica	Valor
---------	-------

Promedio peso sacos	2411.62 g
Varianza σ	2354.74
Error respecto a 2500 g	-88.38 g
Número de valores iguales a 2500 g	11
Número de valores por encima de 2500 g	0
Número de valores por debajo de 2500 g	253

Figura 31.

Distribución de datos en referencia a una campana de Gauss



3.1.2.1. Análisis de resultados ensacado manual

El peso medio (2.411,62 g) estuvo por debajo del objetivo de 2.500 g, lo que indica un llenado insuficiente. Esto indicaría que el proceso manual no está calibrado correctamente o que el operador está tratando de evitar el sobrellenado por error o descuido. La desviación de 2354,74 g muestra una gran diferencia en los datos. Esto refleja desigualdad en el peso de los sacos, lo que puede deberse a factores como el uso de equipos incorrectos o la falta de estandarización en el llenado manual. Con 253 sacos (99,57%) por debajo del peso requerido, hay una diferencia significativa con respecto al estándar de 2.500 g.

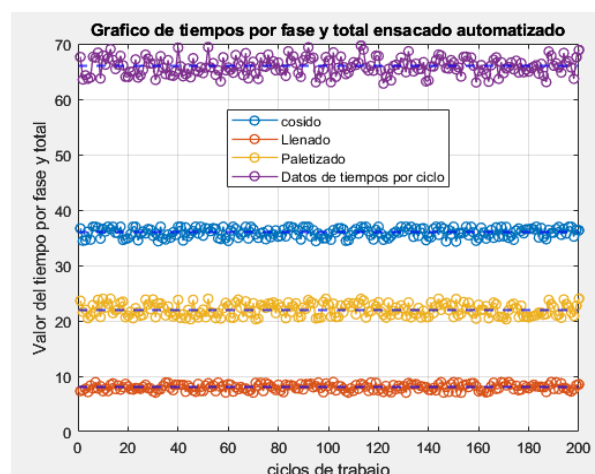
Esto no sólo afecta la percepción de calidad de los clientes, sino que también podría constituir una violación de regulaciones o contratos que exigen un peso mínimo: apenas 11 sacos tienen el peso ideal. El peso era exactamente de 2500 g, lo que sugiere que lograr el objetivo fue más una coincidencia que un resultado efectivo de control. Dependiendo de las habilidades humanas crea una variabilidad que es difícil de controlar y puede abordarse mediante procesos automatizados.

3.1.3 Tiempos de producción de sacos automatizado

La información de HMI para el proceso automatizado se recupera para realizar comparaciones de tiempo detalladas entre los procesos manuales y automatizados. Además, la ubicación de cada saco se controla cuidadosamente, desde la recogida en el almacén hasta la colocación en los palés, lo que garantiza que se realicen comparaciones en condiciones equivalentes. Los datos recibidos se guardan en un archivo en formato .xlsx, permitiendo una visualización clara del tiempo de cada fase. Luego, estos datos se procesan en MATLAB utilizando un programa diseñado para calcular la mejora a lo largo del tiempo (el programa se encuentra en el apéndice), tanto por período como por período, para evaluar las ganancias de rendimiento mediante la automatización. La programación de este proceso se describe detalladamente en el anexo de investigación y los resultados se muestran en la Figura 32.

Figura 32.

Presentación de datos de tiempos por proceso y total



3.1.4 Datos peso del saco proceso automatizado

Gracias a la producción automatizada de sacos de 25 kg, se recogieron aleatoriamente 263 mediciones de peso durante un período de tres días. Los datos recopilados se procesan en MATLAB, donde un código especial permite analizar la distribución y precisión de las mediciones. La Figura 33 muestra un histograma de los datos obtenidos junto con la distribución del error y los pesos. De manera similar, la Tabla 31 presenta los datos. Toda la información recopilada y la aplicación de un método estadístico particular proporcionan datos para probar una hipótesis, proporcionando una base rigurosa para confirmar o refutar el procedimiento resumido en la conclusión.

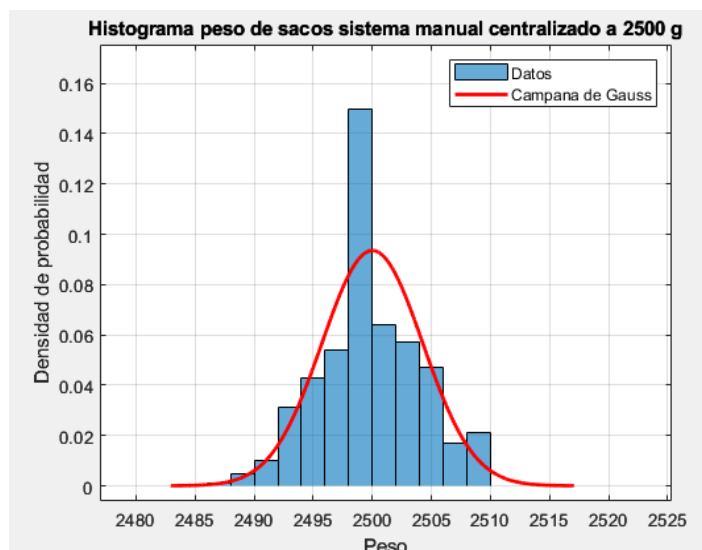
Tabla 31.

Datos estadísticos del proceso de ensacado manual de sacos de 25 kg.

Métrica	Valor
Promedio	2500.00 g
Varianza	18.19
Error respecto a 2500 g	0.0011
Número de valores iguales a 2500 g	100
Número de valores por encima de 2500 g	156
Número de valores por debajo de 2500 g	244

Figura 33.

Distribución de datos ensacado, llenado y paletizado automatizado referenciado a distribución campana de Gauss



3.1.4.1 Análisis de resultados de ensacado automatizado.

La masa promedio de carga de **los sacos es de 2500,00 g lo cual** muestra que el sistema automatizado está perfectamente centrado en relación con el peso objetivo, lo que demuestra un alto nivel de calibración y control. La baja variación (18.19) significa que el peso de la bolsa está mucho más cerca de la media que con el proceso manual. Esto refleja un excelente nivel de consistencia.

Los datos muestran que el sistema automatizado minimiza las desviaciones del valor objetivo (0,0011 g), lo que garantiza que los clientes reciban sacos que cumplan con los estándares de llenado.

3.1.4.2 Discusión y áreas de mejora

Eficiencia económica:

Los valores por encima del objetivo podrían representar costos adicionales si se suman en grandes volúmenes de producción. Una recalibración para reducir este exceso puede mejorar la eficiencia económica sin comprometer la calidad.

Control de subllenados:

Aunque el número de sacos por debajo del peso objetivo es menor que en el proceso manual, sigue siendo una cantidad significativa. Esto puede mejorarse ajustando los parámetros de llenado y pesaje en el sistema.

Ajustes en la tolerancia:

La definición de tolerancias más estrictas en los sistemas de control puede equilibrar aún más el número de sacos por encima y por debajo del objetivo.

3.2 Encuestas a colaboradores para medir nivel de satisfacción.

Para determinar las preguntas de la encuesta, se utiliza un cuestionario actualizado y validado sobre satisfacción laboral industrial, desarrollado por QuestionPro en 2021. Este instrumento abarca áreas críticas como el trabajo en equipo, las necesidades de formación y la relación con los supervisores, incluyendo un total de 30 preguntas diseñadas para identificar factores clave que impactan en la productividad y la retención dentro de la organización. El cuestionario de Satisfacción Laboral de QuestionPro 2021 (Musayon Herrera, 2024) sirve como base para el análisis de las respuestas en estas áreas de interés.

Las 30 preguntas incluidas en el cuestionario son: **Relación organizacional y satisfacción**

1. ¿Tienes un entendimiento claro de los objetivos estratégicos de la organización?
2. ¿Comprendes lo que demanda tu rol en relación con los objetivos de la empresa?
3. ¿Crees que hay oportunidades de crecimiento y desarrollo dentro de la empresa?
4. ¿Te ves trabajando en esta organización dentro de los próximos 2 años?
5. ¿Estás satisfecho con tu trabajo en general?

Trabajo en equipo y satisfacción

6. ¿Te sientes contento de ser parte de tu equipo?
7. ¿Tu equipo te inspira a dar lo mejor en el trabajo?
8. ¿Recibes apoyo de tu equipo cuando lo necesitas?

Información y recursos

9. ¿Te resulta difícil obtener la información necesaria para tomar mejores decisiones en el trabajo?
10. ¿Sabes a quién acudir cuando surge un problema inusual?
11. ¿La organización te informa sobre todas las herramientas y recursos necesarios para realizar tu trabajo?

Relación con el supervisor

12. ¿Tus superiores te animan a dar tu mejor esfuerzo?

13. ¿Sientes que eres recompensado por tu dedicación y compromiso con el trabajo?
14. ¿Tu opinión es escuchada y valorada por tu superior?
15. ¿Ves oportunidades de crecimiento personal, como la mejora de habilidades?

Pasión por el trabajo y autoevaluación

16. ¿Experimentas crecimiento personal, como aprender nuevas tareas además de las habituales?
17. ¿La dirección te involucra en decisiones de liderazgo?
18. ¿Crees que tu gerente te valora?
19. ¿Sientes que superas tus límites para cumplir con una tarea?
20. ¿Crees que tu trabajo hace una diferencia positiva en la vida de otros?
21. ¿Has recibido suficiente formación para resolver problemas de los clientes?
22. ¿La dirección respeta tu tiempo personal y familiar?

Retroalimentación

23. ¿Recibes retroalimentación constructiva de tu gerente?
24. ¿Tu gerente te elogia cuando has hecho un buen trabajo?

Equilibrio entre trabajo y vida personal

25. ¿El entorno laboral te ayuda a lograr un buen equilibrio entre el trabajo y la vida personal?
26. ¿Tu trabajo te causa un nivel de estrés razonable?
27. ¿Tu gerente entiende la importancia de un equilibrio saludable entre la vida laboral y personal?

Justicia en el trabajo

28. ¿Tu gerente trata a todos los miembros del equipo de manera equitativa?
29. ¿La organización tiene políticas justas de promoción para todos los empleados?
30. ¿La dirección se preocupa más por cumplir con las políticas que por el bienestar de los empleados?

A partir de una encuesta utilizada y probada en varias empresas, se desarrolló una encuesta adaptada a una escala Likert para evaluar la satisfacción de los empleados con la automatización. Está claro que, si bien el cambio es un proceso inevitable, es importante que no sea destructivo. La información obtenida de la encuesta permite a los

empleados participar en el proceso de cambio y no los obliga a cambiar, especialmente a cambiar su rol en la organización. Este enfoque tiene como objetivo facilitar la transición y garantizar que los empleados se sientan parte integral del proceso de automatización. El formato de la encuesta se muestra en la Tabla 32.

Cuestionario sobre la experiencia laboral (escala de Likert)

Cuestionario realizado antes de la automatización

Sección 1: Evaluación del Clima Laboral pregunta 1 a la 5

Sección 2: Pasión por el trabajo y autoevaluación pregunta 6 a las 10

Formato de la encuesta

Tabla 32.

Formato de encuesta en escala de Linker

Pregunta	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3	Respuesta 4	Respuesta 5
1 ¿Cómo calificarías tu satisfacción general en el trabajo?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
2 ¿Sientes que tu trabajo es valorado por tus superiores?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
3 ¿Te sientes parte de un equipo?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
4 ¿Hay buena comunicación entre los miembros del equipo?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
5 ¿Experimentas crecimiento personal, como aprender nuevas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

tareas además de las habituales?						
6	¿La dirección te involucra en decisiones de liderazgo?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
7	¿Crees que tu gerente te valora?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
8	¿Sientes que superas tus límites para cumplir con una tarea?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
9	¿Te ves trabajando en esta organización dentro de los próximos 2 años?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
10	¿Estás satisfecho con tu trabajo en general?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

A cada respuesta en la escala de Likert (que en este caso va desde “Totalmente en desacuerdo” hasta “Totalmente de acuerdo”) se le asigna un puntaje. La razón de esto es convertir las respuestas cualitativas en datos cuantitativos para poder calcular promedios y realizar análisis más precisos.

Formula usada para ponderar los datos y poderlos comparar cuantitativamente

$$\begin{aligned}
 & \textit{ponderacion} \\
 & = \frac{(1 * T \textit{ en desacuerdo}) + (2 * \textit{ en desacuerdo}) + (3 * \textit{ ni acuerdo ni desac.}) + (4 * \textit{ de acuerdo}) + (5 * T \textit{ de acuerdo})}{20}
 \end{aligned}$$

Así podremos comparar el antes y después de las encuestas realizadas, el método fue tomado de (Gómez, 2002), quien cita este método de ponderación. La encuesta se realizó a 20 empleados de la empresa de alimentos 16 obreros y 4 supervisores, obteniéndose los siguientes resultados, asimismo los programas de cálculo de las fórmulas planteadas se encuentran en los anexos y sus resultados son presentados en la Tabla 33.

Tabla 33.

Datos de satisfacción de cada pregunta y comparados con el antes y después de la automatización.

	Manual	Automatizado
¿Cómo calificarías tu satisfacción general en el trabajo?	3,05	2,5
¿Sientes que tu trabajo es valorado por tus superiores?	3,75	2,5
¿Te sientes parte de un equipo?	3,55	2,3
¿Hay buena comunicación entre los miembros del equipo?	4,2	3,3
¿Experimentas crecimiento personal, como aprender nuevas tareas además de las habituales?	3,75	3,15
Promedio Sección 1	3,66	2,75
¿La dirección te involucra en decisiones de liderazgo?	3,35	2,4
¿Crees que tu gerente te valora?	3,4	2,35
¿Sientes que superas tus límites para cumplir con una tarea?	3,95	3
¿Te ves trabajando en esta organización dentro de los próximos 2 años?	4,3	2,1
¿Estás satisfecho con tu trabajo en general?	3,75	2,55
Promedio Sección 2	3,75	2,48

A la encuesta realizada entre los empleados que utilizan el sistema de embalaje automatizado se agregaron 3 preguntas elaboradas por RR.HH., que la empresa acordó podrían incluirse en este trabajo.

Tabla 34.

Encuesta de trabajadores con sistema automatizado en escala de Linker y resultados

Pregunta	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3	Respuesta 4	Respuesta 5
SECCION 3.					
Pregunta	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3	Respuesta 4	Respuesta 5
11 ¿Cómo calificarías la efectividad del nuevo proceso de automatización?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
12 ¿Consideras que la automatización ha mejorado tu carga de trabajo?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
13 ¿Te sientes capacitado para operar las nuevas máquinas automatizadas?	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Satisfacción					
¿Cómo calificarías la efectividad del nuevo proceso de automatización?					3,5
¿Consideras que la automatización ha mejorado tu carga de trabajo?					2,75
¿Te sientes capacitado para operar las nuevas máquinas automatizadas?					2,15

3.3 Análisis económico.

Como parte de la modernización de los procesos industriales, comparar los costos de los sistemas de embalaje manuales y automatizados es fundamental para evaluar la viabilidad económica y operativa de la implementación de tecnologías avanzadas. La Tabla 30

proporciona un análisis detallado de los costos asociados con ambas opciones, tomando en cuenta factores como la inversión inicial, los costos de operación, el mantenimiento y las pérdidas por monitoreo. El propósito de este análisis es crear una base sólida para la toma de decisiones estratégicas basadas en la eficiencia, la reducción de costos a largo plazo y la mejora de la productividad.

Tabla 35.

Comparación de costos de sustentación de ensacado manual vs costos globales de un sistema de ensacado automatizado

Manual (mensual)	Automatizado
Costos de Paletizado manual : 4000 dólares	Robot Paletizador: 60000 dólares
Costo de ensacado y pesado manual: 4000 dólares	máquina ensacadora: 75000 dólares
Supervisión y perdidas: 3000 dólares	Bandas transportadoras: 15000 dólares
	Montaje mecánico-eléctrico: 28000 dólares
Total mensual: 11000 dólares	Mantenimiento anual:5000 dólares
Costo Anual: 132000 dólares	Total: 178000 dólares

Nota. Inversión inicial de cada método

3.4 Discusión de resultados

3.4.1 Análisis de la satisfacción laboral

El análisis de satisfacción laboral revela una caída importante en la percepción de los empleados tras la automatización, evaluada en dos secciones principales: Satisfacción General y Relación con la Dirección y Perspectiva a Futuro. Los datos resumidos en la Tabla 31 muestran una reducción significativa en la satisfacción general y una percepción negativa en la relación con la gerencia y las perspectivas de futuro, lo que sugiere un impacto emocional y motivacional en los empleados.

Tabla 36.*Comparación de estados cualitativos del impacto en la vida de los empleados***1. Satisfacción General**

Categoría	Antes de la Automatización	Después de la Automatización	Observación
Percepción de Valoración del Trabajo	Alta percepción de reconocimiento y valoración.	Disminución significativa en la percepción de que el trabajo es valorado.	Menor interacción humana podría estar afectando la percepción de valor individual.
Sentido de Pertenencia al Equipo	Se sentían parte integral del equipo y el trabajo en equipo era una prioridad.	Menor sentimiento de pertenencia; menos colaboración humana directa.	Reducción en interacción directa entre compañeros.
Comunicación entre Miembros del Equipo	Comunicación alta y efectiva en el entorno laboral.	Percepción de comunicación deteriorada.	La automatización reduce la necesidad de coordinación interpersonal.
Oportunidades de Crecimiento Personal	Existían oportunidades para aprender nuevas tareas y mejorar habilidades.	Menor oportunidad de crecimiento personal, variedad de tareas reducida.	Limitación en el desarrollo profesional debido a la automatización de tareas repetitivas.

Nota. Datos tomados de las encuestas realizadas

En la Sección 2 de la encuesta se mide la relación a futuro del personal es decir medir la pertinencia de la empresa hacia el trabajador, lo que resume en la Tabla 32.

Tabla 37.*Comparación de estados cualitativos del impacto en la vida de los empleados***2. Relación con la Dirección y Perspectiva a Futuro**

Categoría	Antes de la Automatización	Después de la Automatización	Observación
Involucración en Decisiones	Alta participación en decisiones importantes relacionadas con el trabajo.	Reducción en la percepción de involucración en decisiones significativas.	El enfoque tecnológico podría estar limitando la participación humana en decisiones.

Valorización por el Gerente	Alta percepción de apoyo y valoración por parte de la gerencia.	Percepción de menor valorización; cambio en la dinámica de interacción con gerencia.	Cambios en la gestión a raíz de procesos automáticos afectan la percepción de respaldo.
Desafíos y Superación de Límites	Frecuentes desafíos y oportunidad de superar límites en el trabajo.	Menor sensación de reto, tareas repetitivas reducen la demanda en habilidades.	La automatización de tareas reduce la necesidad de desafiar a los empleados.
Perspectiva de Futuro en la Organización	Alta disposición a continuar en la empresa, perspectivas de desarrollo a largo plazo.	Caída drástica en la disposición de continuar, afectando el compromiso emocional.	La desconexión emocional podría indicar insatisfacción y menor vinculación a la empresa.
Satisfacción General con el Trabajo	Generalmente alta, con buena percepción del entorno y del rol propio.	Satisfacción general con el trabajo se reduce considerablemente.	Confirma un descenso en la percepción positiva tras la automatización.

Nota. Datos tomados por la encuesta a empleados.

3.4.2 Análisis cuantitativo después de la automatización.

3.4.2.1 Eficiencia de nuevos procesos de automatización (calificación: 3,5)

Una puntuación de 3,5 sobre 5 significa que los empleados consideran que la automatización es moderadamente eficaz, pero no completamente satisfactoria. Esto podría significar que aunque el proceso ha mostrado mejoras en algunos aspectos de rendimiento, todavía hay áreas que podrían mejorarse, como la integración con los empleados o la optimización de un determinado número de flujos de trabajo. Un sistema automatizado puede hacer el trabajo en términos de eficiencia técnica o reducción de errores, pero los empleados todavía no lo consideran una “excelente” solución.

3.4.2.2 Impacto en la carga de trabajo (puntuación: 2,75)

Una puntuación de 2,75 está por debajo del promedio en términos de mejora de la carga de trabajo. Esto muestra que los empleados no experimentan una reducción significativa en la carga de trabajo después de la automatización. En algunos casos, la automatización puede haber cambiado la naturaleza de las tareas en lugar de facilitarlas, lo que puede

haber dado lugar a nuevas responsabilidades o requisitos que los empleados encuentran difíciles o no satisfechos. Es posible que el sistema automatizado no haya cumplido con las expectativas al reducir las tareas repetitivas o que consumen mucho tiempo, o que la carga de trabajo se haya distribuido de una manera que proporcionó pocos beneficios a los empleados.

3.4.2.3 Formación en máquinas nuevas (calificación: 2,15)

Esta es la calificación más baja de las tres: 2,15. Esto refleja preocupaciones sobre la capacitación de los empleados en el uso de nueva maquinaria automatizada. Los empleados pueden sentirse inadecuadamente capacitados o inseguros al utilizar tecnologías automatizadas, lo que puede generar estrés, frustración o resistencia al cambio. La falta de confianza en su capacidad para operar maquinaria puede afectar negativamente la eficiencia general del proceso, así como la motivación y la satisfacción laboral.

3.4.3 Análisis de inversiones

Un sistema automatizado requiere una inversión inicial mucho mayor que un sistema manual. El costo mensual del paletizado manual es de \$11,000, con una inversión inicial de \$178,000 para la automatización.

3.4.3.1 Costos anuales

El costo anual del sistema manual es de \$132,000 e incluye todos los procesos manuales de carga, empaque y monitoreo. El costo de mantenimiento anual del sistema automatizado es de \$5,000 después de la inversión inicial. Aunque no se han determinado otros costos operativos, después de compensar los costos de inversión, los costos de mantenimiento son significativamente menores que los costos anuales asociados con la operación manual.

3.4.3.2 Retorno de la inversión (ROI)

Para calcular el retorno de la inversión, podemos comparar la inversión inicial de \$178 000 en el sistema automatizado con el costo anual del sistema manual (\$132 000). El sistema automatizado se amortizará en aproximadamente 1,35 años ($178.000/132.000$), lo que significa que después de sólo un año, el coste acumulado de la automatización será

menor que en el caso de un sistema manual. Hay valores que no se consideran como los nuevos operadores del sistema y que se tiene un costo fijo de mantenimiento.

3.4.3.3 Beneficios adicionales de la automatización

Además de reducir los costos a largo plazo, la automatización también mejora el rendimiento, reduce el error humano y aumenta la eficiencia de la producción. También reduce las pérdidas por errores de paletizado y embalaje, más habituales en los procesos manuales.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos al comparar los procesos de ensacado manual y automatizado, se presentan las siguientes conclusiones, estructuradas en torno a aspectos clave como precisión, consistencia, impacto organizacional y análisis económico. Este análisis no solo refleja el desempeño técnico de ambos sistemas, sino que también abarca las implicaciones humanas y financieras, brindando una visión integral del proyecto.

Analizar los plazos y la calidad del desempeño.

Precisión. Los sistemas de embalaje automatizados demuestran una precisión significativa, alcanzando niveles que garantizan un cumplimiento preciso de los pesos objetivo. Esto reduce las desviaciones, mejora la calidad del producto final y reduce los rechazos por errores de pesaje.

Consistencia. El empaque automatizado proporciona mayor consistencia que el empaque manual, asegurando una producción uniforme y consistente, lo cual es esencial para cumplir con los estándares de calidad y las expectativas del cliente.

Errores de embalaje. El embalaje manual suele dar lugar a desviaciones y los productos suelen pesar menos de los objetivos establecidos, mientras que los procesos automatizados muestran un control más preciso, con tendencia a sobrellenados muy ligeros, lo que garantiza un mejor cumplimiento de la norma de 2.500 g por saco.

La influencia de la organización y el ambiente de trabajo.

Satisfacción general y ambiente de trabajo. La automatización del ambiente de trabajo ha reducido la satisfacción general de los empleados, ha afectado la cohesión del equipo y ha reducido los sentimientos de aprecio por parte de la gerencia. Estos cambios reflejan la percepción de la automatización como una amenaza más que como una oportunidad de progreso.

Crecimiento personal y compromiso. Los empleados informan una reducción de las oportunidades de aprendizaje y desarrollo personal debido a la automatización, lo que afecta negativamente su compromiso y aumenta el riesgo de rotación de empleados. Esta observación resalta la necesidad de estrategias de comunicación y capacitación que posicionen la automatización como un aliado para el desarrollo profesional.

Recomendaciones sobre el entorno regulatorio

Para abordar estos desafíos, se deben implementar programas de capacitación y redistribución que permitan a los empleados adaptarse al nuevo entorno de automatización y promover una cultura de inclusión tecnológica.

Análisis económico

Inversión inicial y costos a largo plazo. Aunque un sistema automatizado requiere una alta inversión inicial, los beneficios a largo plazo incluyen una reducción significativa en costos de mano de obra, errores y pérdidas en el monitoreo y localización de este sistema, y es una opción económicamente viable.

Viabilidad económica. El análisis de viabilidad muestra que, aunque los costos operativos son más altos en el corto plazo, los sistemas automatizados pueden ser más rentables en el largo plazo a través de la eficiencia operativa, la reducción del error humano y el mejor uso de los recursos.

Reducción de pérdidas y errores. La automatización elimina la mayoría de las pérdidas asociadas con errores humanos, lo que no sólo mejora la calidad del producto final sino que también mejora la competitividad del sistema.

Conclusión finales

Un análisis exhaustivo de los procesos de embalaje manuales y automatizados enfatiza la implementación de un sistema automatizado como una solución efectiva y rentable, especialmente en situaciones donde la demanda es alta y los estándares de calidad son estrictos. Para garantizar el éxito del proyecto, es necesario respaldar la automatización con estrategias de gestión del cambio, capacitación de los empleados y comunicación efectiva para permitir que los empleados lleven a cabo la transición, mostrando a la solución como una oportunidad de crecimiento, reduciendo resistencias y mejorando el clima organizacional.

Económicamente, la automatización proporciona importantes beneficios a largo plazo que superan con creces los costos iniciales, lo que justifica su adopción como estrategia clave para aumentar la productividad y la competitividad empresarial.

RECOMENDACIONES

Para mejorar y ampliar las conclusiones analíticas de los métodos de embalaje manuales y automatizados, se hacen las siguientes recomendaciones:

Dados los resultados altamente precisos y consistentes logrados en el proceso de envasado automatizado, se debe dar prioridad a invertir en la automatización total del proceso en áreas donde se requiere mayor precisión y consistencia, ya que la automatización del proceso no solo mejora la precisión sino que también mejora la presentación del producto. Su implementación total ayudará a cumplir con los más altos estándares de calidad, reducir las devoluciones o quejas de los clientes y reducir las pérdidas causadas por productos de calidad inferior.

Supervise y calibre periódicamente el sistema automatizado:

Mantenga un programa regular de calibración y mantenimiento para su equipo de llenado automático para garantizar que continúe funcionando correctamente y evitar desequilibrios con el tiempo. Si bien los sistemas automatizados son muy precisos, el mantenimiento preventivo y correctivo evitará futuras desviaciones por desgaste o falla mecánica.

Reducir el sobrellenado en procesos automatizados:

A pesar del excelente rendimiento del embalaje automático, la presencia de algunas sacos con sobrepeso se puede superar ajustando la programación de los controladores y sensores del sistema, mejorando así aún más la utilización del material. Minimizar el sobrellenado ayudará a evitar el desperdicio y garantizará que se mantengan márgenes de beneficio más estables, aumentando así la eficiencia en el uso de la materia prima.

Procedimiento de inspección de calidad:

Establecer medidas periódicas de control de calidad para evaluar el desempeño del envasado manual y automático. Se pueden realizar controles de muestreo de sacos para garantizar que el peso y la consistencia se mantengan dentro de los estándares especificados. Esto ayudará a detectar problemas en tiempo real y tomar medidas correctivas rápidamente, garantizando que se mantengan altos niveles de calidad durante todo el proceso.

Recomendaciones para mejorar el ambiente laboral

Mejorar la comunicación y el trabajo en equipo: implementar estrategias para mantener una buena dinámica de equipo, a pesar de la automatización, puede ayudar a mitigar estos efectos negativos. Apreciación y reconocimiento de los empleados: Es necesario que la gerencia y los jefes encuentren formas de mostrar más aprecio y reconocimiento a los empleados, para restaurar la confianza y el sentido de pertenencia. Capacitación y apoyo emocional: Brindar capacitación adecuada, así como apoyo emocional y profesional a los empleados, puede ayudarlos a sentirse más empoderados y valorados en un nuevo entorno de trabajo automatizado.

Recomendación de inversión

Se debe realizar un análisis detallado del retorno de la inversión (ROI) para determinar cuánto tiempo llevará recuperar los costos iniciales de la automatización. Utilizando datos aproximados sólo se pueden estimar tiempos de devolución imprecisos. Evaluar la capacidad de la empresa para afrontar la inversión inicial y si esta se justifica en función de los beneficios que se obtendrán en productividad, reducción de errores y ahorro de mano de obra. No olvide el costo de despedir a un empleado que no trabaja. Nuevo sistema.

REFERENCIAS

- ABB IRB 140 Robot.* (2022). Robots.Com. <https://www.robots.com/industrial-robots/abb-irb-140>
- Aucatoma Madruñero, A. D., & Moreira Romero, I. J. (2023). *Diseño e implementación de un prototipo para realizar la intercomunicación entre variadores multimarca utilizando PLC Siemens s7-1200 simulando un proceso de pilado de arroz para la capacitación de los estudiantes.* <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58250>
- Báscula Pesa Sacos Industrial—Serie K3-F / BALANZAS GALICIA.* (s. f.). Recuperado 3 de octubre de 2024, de <https://www.balanzasgalicia.com/spa/bascula-pesa-sacos-industrial-serie-k3-f-1.html?srsId=AfmBOoomBftlevc3ck5IX3tNmiDOVMzORhVD1FLecYHN3KbRa9sedrig>
- Bembenek, M., Dmytriv, V., Banha, V., Horodniak, R., & Pawlik, J. (2024). A Mathematical Model for Conical Hopper Mass Efficiency. *Applied Sciences*, *14*(16), 7373. <https://doi.org/10.3390/app14167373>
- Cabanillas Rojas, F., & Ipanaque, E. (2022). *Diseño de un sistema de control automatizado para pesaje y ensacado en el proceso productivo de harina de pescado.* Universidad Cesar Vallejo.
- Campos Tafur, E., & Segura, J. (2022). *Diseño de una máquina ensacadora automatizada para reducir el tiempo de ensacado de arroz pilado del Molino Latino S.A.C.* [Cesar Vallejo].
- Chen, S., Han, Y., Wan, Y., & Yang, D. (Directores). (2020, abril 28). *Automatic bagging robot* [Video recording]. <https://typeset.io/papers/automatic-bagging-robot-2h43n446d5>
- Cintas transportadoras y rodillos.* (2014, junio 27). SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/cintas-transportadoras-y-rodillos/36371864>

- Contenedor, tolva para el vaciado de sacos y tolva de material: ACHBERG®.* (2023).
<https://www.achberg.com/es/productos/container/contenedor-cea1/?sectionid=p214>
- Cosedoras Portátiles / Manuales para Sacos y Bolsas. (2022). *Seproma*.
<https://seproma.co.cr/cosedoras-portatiles-manuales/>
- DKA series—Válvula de mariposa by HOSOKAWA SOLIDS, S.L. / DirectIndustry.* (s. f.).
 Recuperado 10 de septiembre de 2024, de <https://www.directindustry.es/prod/hosokawa-solids-sl/product-243365-2461616.html>
- Ensacadora automática para sacos con o sin fuelles—ILERSAC L - TMI.* (s. f.).
 Recuperado 3 de octubre de 2024, de <https://www.tmipal.com/es/ensacadora-automatica-ilersac-l>
- Festo. (2021). *El apilamiento, embalaje y paletización de Festo USA.*
https://www.festo.com/us/en/e/journal/in-practice/picking-packing-and-palletizing-id_23493/
- García Moreno, E. (2020). *Automatización de procesos industriales: Robótica y automática.* Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones.
- García, P. C., & Yáñez, A. L. N. (2023). *EL IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA EVOLUCIÓN DEL EMPLEO Y LOS PERFILES DEMANDADOS.*
- García, U. (2023). *Manejo y almacenamiento de cebada y malta.* 32-43.
- Gómez, J. L. P. (2002). Estrategias de ponderación de la respuesta en encuestas de satisfacción de usuarios de servicios. *Metodología de Encuestas*, 4(2), Article 2.
- Guía de Tolvas Industriales: Selección y Comparativa.* (2024, julio 9).
<https://agroenlace.co/comparativa-de-tolvas-industriales/>
- INNOVENTC.A. (2023, marzo 27). *Automatización Industrial partes del PLC S7-1200 de Siemens.* Instagram.
https://www.instagram.com/innovent_ca/p/CqTp4X_h9ne/

- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203-217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
- Kondratyev, S., Pikalov, V., Belokopytov, R., Muravyev, A. A., & Boikov, A. (2023). Designing an Advanced Control System for ABB IRB 140 Robotic Manipulator: Integrating Machine Learning and Computer Vision for Enhanced Object Manipulation. *Summa*, 1076-1080. <https://doi.org/10.1109/summa60232.2023.10349427>
- Multivac. (2021). *Thermoforming Packaging Machines*. <https://multivac.com/int/en>
- Musayon Herrera, M. A. (2024). El clima organizacional y su influencia en el desempeño laboral de los colaboradores de una empresa privada de servicios de limpieza en el distrito del Callao -2023. *Universidad Ricardo Palma. Repositorio institucional - URP*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7712>
- Panasiuk, J., Kaczmarek, W., Siwe, M. J., & Borys, S. (2022). Test Bench Concept for Testing of Gripper Properties in a Robotic Palletizing Process. *Problemy Mechatroniki*, 13(2), 51-64. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.9065>
- Peralta, A. M. L., Saucedo, R. M. M., & Carrasco, A. M. (2021). *PRÁCTICA PROFESIONAL AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL S.A (AINSA)*.
- Robotics ABB. (2021). *Especificaciones del producto—IRB 660*.
- Rosato, D. V., & Rosato, M. V. (2004). *Plastic Product Material and Process Selection Handbook* (3era ed., p. 618).
- Rovebloc / CARTOPACK Selladoras para complejos. (s. f.). Rovebloc. Recuperado 4 de octubre de 2024, de <https://rovebloc.com/es/selladoras-para-complejos/cartopack>
- Saco / Bolsa Papel Kraft 7 Kg 40gr (100 Unidades)—\$ 6.000. (s. f.). Recuperado 3 de octubre de 2024, de https://www.overfood-spa.cl/MLC-1489985713-saco-bolsa-papel-kraft-7-kg-40gr-100-unidades-_JM
- Sacos Industriales / Venta de bolsas de polipropileno / Iberoplast. (s. f.). Recuperado 3 de octubre de 2024, de <https://www.iberoplast.pe/p/sacos/>

Staccioli, J., & Virgillito, M. E. (2021). Back to the past: The historical roots of labor-saving automation. *Eurasian Business Review*, *11*(1), 27-57. <https://doi.org/10.1007/s40821-020-00179-1>

Tolva de alimentación por gravedad modelo 40 de la marca Hamer. (2021, mayo 8). nVenia. <https://www.nvenia.com/es/equipment/model-40-gravity-feed-hopper/>

Tummala, R. R. (Ed.). (2019). *Fundamentals of Device and Systems Packaging: Technologies and Applications* (2nd Edition). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259861550>

ANEXOS

Anexo 1: Modulo

A1 Programación del robot

A1.1 Programa en RAPID para mover el robot de un lugar a otro

Programa para mover el robot de posición inicial a posición final (plano xyz)

x=-2, y=3, z=2; a una posición final x=4 , y=2,5, z=1

Programa RAPID

MODULE MoveRobot

! Declaración de variables de posición

VAR robtarget initialPos:= [[-2, 3, 2],[1, 0, 0, 0],[0, 0, 1, 1],[9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];

VAR robtarget finalPos:= [[4, 2.5, 1],[1, 0, 0, 0],[0, 0, 1, 1],[9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];

PROC main()

! Activa el motor del robot y lo mueve a la posición inicial

MoveJ initialPos, v500, z50, tool0;

\$ v500 y v300: Definen la velocidad en mm/s para los movimientos

! Mueve el robot en línea recta hacia la posición final

MoveL finalPos, v300, fine, tool0;

\$ z50 y fine: Configuran la zona de aproximación (precisión). fine significa que el robot

\$ debe detenerse exactamente en el punto sin considerar zonas de tolerancia.

\$ too10 error admisible de acercamiento del robot al lugar

ENDPROC

ENDMODULE

En la Industria de alimentos se paletiza sacos de 25 kg. a palés de 8 sacos por piso 5 pisos en total, el robot se configura para que paletiza sacos de 2 en 2.

La programación seria:

MODULE Palletizing

Declarar las variables de posición.

```

VAR robtarget pickPos := [[100, 200, 500], [1, 0, 0, 0], [0, 0, 1, 1], [9E9, 9E9, 9E9,
    9E9]];
VAR robtarget placePos[5,4]; ! Array para las posiciones en el pallet (5 pisos, 4 filas)
! Definir variables para ajustar las coordenadas de cada saco
VAR num piso, fila, columna; VAR num x_offset := 600; ! Separación en X entre
    sacos en una fila
VAR num y_offset := 400; ! Separación en Y entre las filas
VAR num z_offset := 250; ! Altura entre pisos
PROC InitPlacePositions()
    ! Inicializar las posiciones del pallet
    FOR piso FROM 1 TO 5 DO
        FOR fila FROM 1 TO 4 DO
            ! Calcular las posiciones de ubicación
            placePos[piso, fila] := [[800 + (columna-1)*x_offset, 1000 + (fila-1)*y_offset,
                1000 + (piso-1)*z_offset], [1,0,0,0], [0,0,1,1], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
        ENDFOR
    ENDFOR
ENDPROC
PROC main()
    ! Inicializar las posiciones del pallet
    InitPlacePositions();
    ! Loop para recoger y ubicar los 40 sacos
    FOR piso FROM 1 TO 5 DO
        FOR fila FROM 1 TO 4 DO
            ! Recoger el saco del punto de recogida
            MoveL pickPos, v500, z50, tool0;
            WaitTime 0.5; ! Simula el tiempo de recogida del saco
            ! Llevar el saco a la posición correspondiente en el pallet

```



```

MoveL placePos[piso, fila], v300, fine, tool0;
WaitTime 0.5; ! Simula el tiempo de liberación del saco
ENDFOR

ENDFOR

    ! Fin del proceso de paletización StopMove;

ENDPROC

END MODULE

```

A 1.2 Programación procesos de automatización en PLC

En base a los diagramas podemos programar un pseudocódigo de la siguiente manera

Inicio

// Inicialización

Inicializar Sistema Configurar Pantalla HMI

// Variables del sistema

Definir estadoTolva (Vacía, Llena)

Definir estadoEscala (Listo, EnProceso)

Definir estadoEnvasado (Activo, Inactivo)

Definir estadoPaletizado (Completo, Incompleto)

// Loop principal del sistema

Mientras (Sistema está encendido)

// Mostrar estado actual en HMI

ActualizarHMI(estadoTolva, estadoEscala, estadoEnvasado, estadoPaletizado)

// Control de Tolva

Si (estadoTolva es Vacía) Entonces

ActivarMotorTolva()

EsperarHastaQue(Tolva esté Llena)

estadoTolva = Llena

Fin Si

// Control de Escala

Si (estadoTolva es Llena y estadoEscala es Listo) Entonces

IniciarProcesoEscala()

```

estadoEscala = EnProceso
Fin Si
// Control de Envasado
Si (estadoEscala es EnProceso) Entonces
ActivarSistemaEnvasado()
EsperarHastaQue(Espacio en Saco esté lleno)
PararSistemaEnvasado() estadoEscala = Listo
estadoEnvasado = Activo
Fin Si
// Control de Paletizado
Si (estadoEnvasado es Activo) Entonces
ActivarSistemaPaletizado()
EsperarHastaQue(Saco esté en Palet)
estadoEnvasado = Inactivo
estadoPaletizado = Completo
Fin Si
// Actualizar HMI con nuevo estado
ActualizarHMI(estadoTolva, estadoEscala, estadoEnvasado, estadoPaletizado)
// Control de errores Si (Se detecta un error) Entonces
MostrarErrorEnHMI()
PararSistema()
Fin Si
Fin Mientras
Fin

```

A2. Programas estadísticos

A.2.1 Cálculo de promedio, error y varianza en MATLAB

```

% Leer datos desde el archivo Excel

filePath = 'C:\Users\Victor Salguero\Desktop\TESIS\pesaje_automatizado.xlsx';

datos = readmatrix(filePath); % Cambiar 'filename' a 'filePath'

% Valor de referencia

```

```

valor_referencia = 2500;

% Cálculos
promedio = mean(datos);
varianza = var(datos);
error = promedio - valor_referencia;

% Mostrar resultados
fprintf('Promedio: %.2f\n', promedio);
fprintf('Varianza: %.2f\n', varianza);
fprintf('Error respecto a %d: %.2f\n', valor_referencia, error);

```

A.2 Grafico de distribucion y varianza programa en MATLAB

MATLAB

```

% Leer datos desde el archivo Excel
filePath = 'C:\Users\Victor Salguero\Desktop\TESIS\pesaje_automatico.xlsx';
datos = readmatrix(filePath);

% Verificar que los datos se hayan leído correctamente
if isempty(datos)
    error('No se han cargado datos. Verifica el archivo y la ruta. ');
end

% Valor de referencia
valor_referencia = 2500;

% Cálculos
promedio = mean(datos);
desviacion_estandar = std(datos);

% Crear un rango de valores para la gráfica

```

```

x = linspace(promedio - 4*desviacion_estandar, promedio + 4*desviacion_estandar,
100);

% Calcular la función de densidad de probabilidad (PDF) de la distribución normal
y = (1 / (desviacion_estandar * sqrt(2 * pi))) * exp(-0.5 * ((x - promedio) /
desviacion_estandar).^2);

% Graficar
figure;
histogram(datos, 'Normalization', 'pdf', 'BinWidth', 3); % Histograma normalizado
hold on;
plot(x, y, 'r-', 'LineWidth', 2); % Campana de Gauss
xlabel('Datos');
ylabel('Densidad de Probabilidad');
title('Distribución de los Datos con Campana de Gauss');
legend('Histograma de Datos', 'Campana de Gauss');
grid on;
hold off;

```

Anexo 3 Calculo de valores exactos y por debajo o encima a ese valor en MATLAB

```

% Leer datos desde el archivo Excel
filePath = 'C:\Users\Victor Salguero\Desktop\TESIS\pesaje_automatgico.xlsx';
datos = readmatrix(filePath);
% Verificar que los datos se hayan leído correctamente
if isempty(datos)
    error('No se han cargado datos. Verifica el archivo y la ruta. ');
end
% Contar cuántos valores son iguales a 2500
contador_igual = sum(datos == 2500);
% Contar cuántos valores están por encima de 2500
contador_encima = sum(datos > 2500);
% Contar cuántos valores están por debajo de 2500

```

```

contador_debajo = sum(datos < 2500);
% Mostrar los resultados

fprintf('Número de valores iguales a 2500: %d\n', contador_igual);

fprintf('Número de valores por encima de 2500: %d\n', contador_encima);

fprintf('Número de valores por debajo de 2500: %d\n', contador_debajo);

```

A4 programación para presentar datos en MATLAB

```

% Leer los datos desde el archivo Excel

filePath = ['C:\Users\Victor Salguero\Desktop\TESIS\datos
informe\pesaje_automatizado.xlsx'];

datosTabla = readtable(filePath);

% Asumiendo que los datos numéricos están en la columna 'Peso' datos =
datosTabla.Peso;

% Definir los rangos rangos = [2475 2485; 2486 2495; 2496 2505; 2506 2515]; etiquetas =
{'2475-2485', '2486-2495', '2496-2505', '2506-2515'};

% Inicializar un vector para contar la frecuencia en cada rango frecuencia =
zeros(size(rangos, 1), 1);

% Contar cuántos datos caen en cada rango
for i = 1:size(rangos, 1)

    frecuencia(i) = sum(datos >= rangos(i, 1) & datos <= rangos(i, 2));

end

% Crear tabla de distribución

tabla_distribucion = table(etiquetas, frecuencia, 'VariableNames', {'Rango',
'Frecuencia'});

% Mostrar la tabla

disp('Tabla de distribución de los datos:');

disp(tabla_distribucion);

```

```

% Guardar la tabla en un archivo Excel
writetable(tabla_distribucion, 'tabla_distribucion.xlsx');
disp('Tabla de distribución guardada en "tabla_distribucion.xlsx".');

% Graficar los datos y la campana de Gauss
% -----

% Fijar la media en 2500 y calcular la desviación estándar de los datos
mu = 2500; % Media centrada en 2500

sigma = std(datos); % Desviación estándar calculada a partir de los datos

% Crear un histograma de los datos
figure;
histogram(datos, 'Normalization', 'pdf');
hold on;

% Crear la campana de Gauss centrada en 2500
x = linspace(mu - 4*sigma, mu + 4*sigma, 1000); % Valores de x en el rango de -4sigma
a +4sigma

y = normpdf(x, mu, sigma); % Función de densidad de probabilidad (PDF)

% Graficar la campana de Gauss
plot(x, y, 'LineWidth', 2, 'Color', 'r');
title('Histograma peso de sacos sistema manual centralizado a 2500 g');
xlabel('Peso');
ylabel('Densidad de probabilidad');
legend('Datos', 'Campana de Gauss');
grid on;
hold off;

```

Anexo 4 Programa de Análisis de encuestas

```
file_path <- "C:/Users/Victor Salguero/Documents/encuesta.xlsx"
# Cargar los datos de las encuestas
data_pre <- read_excel(file_path, sheet = "Pre-Automatización")
data_post <- read_excel(file_path, sheet = "Post-Automatización")

>

# Asegúrate de que las columnas tienen los nombres correctos
colnames(data_pre) <- c("Pregunta", "Totalmente_en_desacuerdo", "En_desacuer$
"Ni_de_acuerdo_ni_en_desacuerdo", "De_acuerdo",
"Totalmente_de_acuerdo", "Total_encuesta")
colnames(data_post) <- c("Pregunta", "Totalmente_en_desacuerdo", "En_desacue$
"Ni_de_acuerdo_ni_en_desacuerdo", "De_acuerdo",
"Totalmente_de_acuerdo", "Total_encuesta")

>

# Convertir las columnas relevantes a numérico
data_pre[,2:6] <- lapply(data_pre[,2:6], function(x) as.numeric(as.character$
data_post[,2:6] <- lapply(data_post[,2:6], function(x) as.numeric(as.charact$

>

# Verificar la estructura de los datos
str(data_pre)

tibble [10 × 7] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)

 $ Pregunta          : chr [1:10] "¿Cómo calificarías tu satisfacción general en el
trabajo?" "¿Sientes que tu trabajo es valorado por tus superiores?" "¿Te sientes parte de
un equipo?" "¿Hay buena comunicación entre los miembros del equipo?" ...
 $ Totalmente_en_desacuerdo : num [1:10] 2 2 2 1 1 2 2 1 2 1
 $ En_desacuerdo       : num [1:10] 5 1 2 1 3 2 2 2 2 1
 $ Ni_de_acuerdo_ni_en_desacuerdo: num [1:10] 10 11 3 2 9 10 11 3 0 2
 $ De_acuerdo         : num [1:10] 2 1 9 5 2 3 3 5 2 14
```

```
$ Totalmente_de_acuerdo      : num [1:10] 1 5 4 11 5 3 2 9 14 2
$ Total_encuesta             : num [1:10] 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
```

- str(data_post)

```
tibble [15 × 7] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
```

```
$ Pregunta                   : chr [1:15] "¿Cómo calificarías tu satisfacción general en el
trabajo?" "¿Sientes que tu trabajo es valorado por tus superiores?" "¿Te sientes parte de
un equipo?" "¿Hay buena comunicación entre los miembros del equipo?" ...
```

```
$ Totalmente_en_desacuerdo   : num [1:15] 2 2 3 1 1 6 2 2 2 4 ...
```

```
$ En_desacuerdo              : num [1:15] 10 9 8 1 3 6 9 3 13 5 ...
```

```
$ Ni_de_acuerdo_ni_en_desacuerdo: num [1:15] 5 3 3 2 9 4 6 7 1 5 ...
```

```
$ De_acuerdo                 : num [1:15] 2 1 3 5 2 2 2 5 2 4 ...
```

```
$ Totalmente_de_acuerdo      : num [1:15] 1 5 3 11 5 2 1 3 2 2 ...
```

```
$ Total_encuesta             : num [1:15] 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ...
```

```
>
```

```
# Análisis Pre y Post Automatización
```

```
analyze_data <- function(data) {
```

```
total_respuestas <- rowSums(data[, -1], na.rm = TRUE) # Calcula total de $
```

```
data <- data %>%
```

```
mutate(Satisfaccion = rowSums(data[,2:6] * c(1, 0.75, 0.5, 0.25, 0), na.$
```

```
+
```

```
data <- data %>%
```

```
mutate(Pregunta = paste("Pregunta", Pregunta),
```

```
Satisfaccion = round(Satisfaccion, 2))
```

```
+
```

```
return(data %>% select(Pregunta, Satisfaccion))
```

```
# Realizar análisis
```

```
pre_analysis <- analyze_data(data_pre)
```

```
post_analysis <- analyze_data(data_post)
```


>

```
# Unir análisis
```

```
combined_analysis <- pre_analysis %>%  
  rename(Satisfaccion_Pre = Satisfaccion) %>%  
  inner_join(post_analysis, by = "Pregunta") %>%  
  rename(Satisfaccion_Post = Satisfaccion)
```

>

```
# Visualizar resultados
```

```
ggplot(combined_analysis, aes(x = Pregunta)) +  
  geom_bar(aes(y = Satisfaccion_Pre), stat = "identity", fill = "blue", alpha = 0.5) +  
  geom_bar(aes(y = Satisfaccion_Post), stat = "identity", fill = "red", alpha = 0.5) +  
  labs(title = "Satisfacción Laboral Pre y Post Automatización", x = "Pregunta") +  
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1)) +  
  scale_y_continuous(labels = scales::percent)
```

>

- # Mostrar resultados
- print(combined_analysis)

```
# A tibble: 10 × 3
```

>