

Evaluation and design of an automated system to increase productivity in the pineapple peeling and cutting process

Deivi A. Flores Baldera, Industrial Engineer¹; Katerine A. Castillo Diaz, Industrial Engineer²; Maria F. Laos Gastiaburú, Industrial Engineer³; Estrella B. Barboza Vilchez, Industrial Engineer⁴; Joselito Sánchez Pérez, Master's Degree⁵ Maximiliano Arroyo Ulloa, Ph.D.⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, deivifloresbaldera@gmail.com, katerineabigailcastillodiaz@gmail.com, laosgastiaburumaria@gmail.com, estrella.barbozav@gmail.com, jsanchez@usat.edu.pe, marroyo@usat.edu.pe

Abstract– The overall objective of the research was to increase the productivity of the pineapple peeling and cutting process in the agro-industrial freezing stage by designing an automated system. For the first specific objective, the performance of the manual process was diagnosed using direct observation, analysis of production records, and ergonomic evaluation. During the annual season, 1,124,948.2 kg of fresh pineapple were processed, yielding an average net yield of 34.85%, a rejection rate of 65.15%, a cycle time of 39 s per pineapple, and a Total Factor Productivity (TFP) of 1.103, evidencing low efficiency and high raw material waste. For the second objective, an automated system was designed using SolidWorks for the mechanical design, CADe SIMU for the electrical and pneumatic system, and SoMachine for the simulation of the control logic with PLC. The simulation made it possible to reduce the cycle time to 25 seconds per pineapple, representing a 35.89% improvement in productivity, in addition to projecting a reduction in the rejection rate to 22.80% and an increase in overall net yield to 77.20%. Finally, the comparative economic analysis showed a reduction of 476,415.56 kg in waste, an estimated saving of S/ 1,191,038.91, and an increase in PTF to 2.73. The financial evaluation yielded a NPV of S/ 221,773.81 and an IRR of 40.35%, confirming the technical and economic viability of the proposal

Keywords– Industrial automation; Pineapple peeling and cutting; Agro-industrial productivity; Waste reduction; Automatic control with PLC.

Evaluación y diseño de un sistema automatizado para incrementar la productividad del proceso de pelado y corte de piña

Deivi A. Flores Baldera, Ingeniero Industrial¹; Katerine A. Castillo Diaz, Ingeniera Industrial²; Maria F. Laos Gastiaburú, Ingeniera Industrial³; Estrella B. Barboza Vilchez, Ingeniera Industrial⁴; Joselito Sánchez Pérez, Magister en Ingeniería⁵; Maximiliano Arroyo Ulloa, Doctor⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, deivifloresbaldera@gmail.com, katerineabigailcastillodiaz@gmail.com, laosgastiaburumaria@gmail.com, estrella.barbozav@gmail.com, jsanchez@usat.edu.pe, marroyo@usat.edu.pe

Resumen— La investigación tuvo como objetivo general aumentar la productividad del proceso de pelado y corte de piña en la etapa de congelado agroindustrial mediante el diseño de un sistema automatizado. Para el primer objetivo específico, se diagnosticó el desempeño del proceso manual utilizando observación directa, análisis de registros productivos y evaluación ergonómica. Durante la temporada anual se procesaron 1 124 948,2 kg de piña fresca, obteniéndose un rendimiento líquido global promedio de 34,85 %, una tasa de rechazo de 65,15 %, un tiempo de ciclo de 39 s por piña y una Productividad Total de los Factores (PTF) de 1,103, evidenciando baja eficiencia y elevado desperdicio de materia prima. Para el segundo objetivo, se diseñó un sistema automatizado empleando SolidWorks para el diseño mecánico, CAdE SIMU para el sistema eléctrico y neumático, y SoMachine para la simulación de la lógica de control con PLC. La simulación permitió reducir el tiempo de ciclo a 25 s por piña, lo que representa una mejora del 35,89 % en productividad, además de proyectar una reducción de la tasa de rechazo a 22,80 % y un incremento del rendimiento líquido global a 77,20 %. Finalmente, el análisis económico comparativo evidenció una reducción de 476 415,56 kg de merma, un ahorro estimado de S/ 1 191 038,91 y un incremento de la PTF hasta 2,73. La evaluación financiera arrojó un VAN de S/ 221 773,81 y una TIR de 40,35 %, confirmando la viabilidad técnica y económica de la propuesta.

Palabras clave — Automatización industrial; Pelado y corte de piña; Productividad agroindustrial; Reducción de mermas; Control automático con PLC.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de congelado agroindustrial de piña constituye una etapa fundamental para garantizar la calidad, inocuidad y competitividad de los productos en los mercados internacionales [1]. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en países industrializados las pérdidas durante las etapas de postcosecha y procesamiento superan el 40 % [2], lo que afecta directamente la eficiencia y la rentabilidad de las agroindustrias [3].

En el proceso de congelado, el pelado y corte de piña son operaciones críticas porque influyen directamente en el rendimiento de pulpa y la generación de residuos. A nivel internacional, la adopción de sistemas mecánicos y semiautomatizados ha permitido estandarizar estos procesos. Estudios indican que las peladoras semiautomáticas alcanzan eficiencias de 99,3 %, con pérdidas de 1,69 % y capacidades de 305,5 kg/h [4]. En contraste, los sistemas manuales presentan eficiencias menores al 94,1 % [5], con tiempos promedio de 11 s por fruta y rendimientos de 327,6 kg/h, evidenciando limitaciones para su aplicación a escala industrial [6].

Entre 2020 y 2024, la piña peruana consolidó su crecimiento agroindustrial, con exportaciones que aumentaron 171 % en valor US\$ 34,6 millones y 249 % en volumen 11 260 toneladas [7]. Asimismo, ingresó a 33 mercados y en el 2025, se exportaron 2 833 toneladas por US\$ 8,82 millones [8].

En Lambayeque, el rubro agroexportador creció entre 2000 y 2023, llegando a 39 países y 110 subpartidas [9]. En 2025, el sector concentró 98,6 % de envíos por US\$ 239 millones, pese a limitaciones tecnológicas [10].

En este contexto, la empresa agroindustrial en estudio, dedicada a la exportación de piña congelada y conformada por aproximadamente 50 trabajadores, enfrenta elevados niveles de mermas durante las etapas de pelado y corte manual con cuchillo. La destreza del operario, determinada por factores como el ángulo, la profundidad y la continuidad del corte, influye directamente en el rendimiento del proceso, generando pérdidas significativas de pulpa aprovechable.

En una evaluación preliminar por operario, realizada con una muestra de 10 piñas, se determinó que para una fruta de 2,928 kg se generan 1,174 kg de desperdicio entre cáscara y corazón, obteniéndose 1,754 kg de pulpa, lo que representa un rendimiento del 59,9 % y pérdidas cercanas al 40 %.

A nivel de planta, los indicadores son aún más críticos, ya que en un turno de 9 horas con 10 127,2 kg de materia prima procesada se obtuvo un rendimiento global de apenas 39,6 %, mientras que los residuos alcanzaron el 60,4 %. A ello se suma un costo de mano de obra de US\$ 0,314/kg de producto, lo que incrementa el costo unitario y del proceso. Estas condiciones se agravan debido a la fatiga física del personal, dado que el corte manual exige esfuerzo constante y alta precisión.

Ante esta problemática, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo aumentar la productividad a través del diseño de un sistema automatizado de pelado y corte en el proceso de congelado de piña agroindustrial? En respuesta a ello, el objetivo general es aumentar la productividad a través del diseño de un sistema automatizado de pelado y corte en el proceso de congelado de piña agroindustrial, para alcanzar este propósito, se establecen como objetivos específicos, como diagnosticar el nivel de productividad actual del proceso de pelado y corte de piña en la etapa de congelado agroindustrial, diseñar un sistema automatizado de pelado y corte que aumente la productividad del proceso de congelado de piña agroindustrial, y evaluar el impacto económico del sistema automatizado diseñado en la productividad del proceso de pelado y corte de piña.

La justificación económica radicó en la necesidad de mejorar el aprovechamiento de la materia prima mediante la automatización del proceso de pelado y corte de piña, lo que contribuye a reducir costos y fortalecer la competitividad de la empresa agroindustrial; la justificación social se sustenta en la mejora de las condiciones laborales, ya que la automatización disminuye la carga física del trabajo manual, reduce los riesgos ergonómicos y favorece un entorno de trabajo más seguro y saludable; la justificación ambiental se fundamenta en la reducción de mermas y residuos generados durante el procesamiento, promoviendo un uso más eficiente de los recursos naturales y alineándose con los principios de sostenibilidad y producción responsable; finalmente, la justificación académica se basa en el aporte de conocimiento aplicado en ingeniería y automatización de procesos agroindustriales, integrando herramientas de diseño y simulación y proporcionando una referencia metodológica para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en el sector.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La agroindustria de frutas tropicales, impulsado por la demanda internacional de productos congelados, evidencian que los procesos de pelado y corte continúan siendo etapas críticas dentro de la cadena productiva [11], y suelen presentar bajos niveles de productividad, altos costos operativos y dependencia de mano de obra intensiva [12].

Para el primer objetivo, se determinaron indicadores según plantea [13], como tasa de pérdida por pelado, la tasa de rechazo, el porcentaje de materia prima perdida, el rendimiento del proceso, el tiempo de operación y el nivel de estandarización del corte. La literatura también resalta la importancia de considerar las condiciones ergonómicas asociadas a las operaciones manuales, que según un estudio realizado en la India en la operación manual de piña evidenciaron una alta prevalencia de trastornos musculoesqueléticos (79,61%), y mostrando que el 100 % de las posturas evaluadas se ubicaron en niveles de riesgo alto y muy alto (Riesgo musculoesquelético ≥ 8) [14], evidenciando riesgos significativos para la salud del trabajador, reforzando la necesidad de intervenciones como la automatización, para mejorar la productividad del proceso [15].

En los últimos años, la literatura especializada ha destacado por el diseño de sistemas automatizados en la agroindustria para mejorar la productividad y la sostenibilidad de los procesos de transformación de frutas [16]. El diseño de sistemas automatizados permite integrar componentes mecánicos, sensores, sistemas de control y criterios ergonómicos, orientados a lograr operaciones repetitivas, precisas y controladas [17]. Los resultados experimentales evidenciaron que, bajo parámetros de diseño óptimos, se espera una capacidad de pelado aproximada de 530 frutas por hora, con una eficiencia del 98,2 % [18], e incluso pueden alcanzar un tiempo de procesamiento aproximado de 20,92 segundos por piña, destacando el potencial de la automatización y del uso de tecnologías inteligentes para reducir los tiempos de operación, mejorar la precisión del proceso y aumentar la productividad en las etapas de pelado y acabado del fruto [19].

Estos resultados ponen de manifiesto que la incorporación de tecnologías de pelado más eficientes no solo mejora los indicadores técnicos del proceso, sino que también genera beneficios económicos directos, al reducir costos operativos, incrementar la productividad y el aprovechamiento de la materia prima debido a la reducción de residuos sólidos de entre 16 % y 52 % [20], impactando directamente en la reducción de costos asociados a la gestión de residuos, convirtiéndose así en una alternativa económicamente viable y estratégicamente favorable para la agroindustria, aportando fundamentos sólidos para la presente investigación.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos [21] como el porcentaje de merma, el rendimiento, etc.

Es una investigación de tipo aplicada, pues busca resolver un problema real relacionado con las pérdidas durante el proceso del pelado y corte manual [22]. El diseño es no experimental debido a que las variables no serán manipuladas sino observadas en su entorno natural [23]. El estudio posee un corte transversal, puesto que la información será recolectada en un periodo único durante el ciclo operativo de la planta [24].

La población estuvo conformada por las operaciones involucradas en el proceso productivo de pelado y corte de piña, y la muestra se seleccionó por conveniencia y se concentró en dichas etapas. Se consideraron como unidades de análisis los operarios, las herramientas y equipos utilizados, la materia prima procesada y las condiciones operativas y ambientales del área de trabajo, lo que permitió obtener información representativa del desempeño real del sistema productivo.

Para diagnosticar la situación actual del proceso de pelado y corte de piña, se aplicaron técnicas de observación directa, medición de tiempos y revisión de registros productivos durante la temporada anual. Se evaluaron indicadores como tiempo de ciclo por unidad, productividad laboral y total por factores, rendimiento general y tasa de rechazo. Además, se realizó un muestreo de materia prima para clasificar defectos dimensionales, físicos y superficiales. Por último se evaluaron condiciones ergonómicas en el software Ergonautas 3.5, los cuales permitieron identificar posturas forzadas, esfuerzos repetitivos y niveles de carga biomecánica.

Para el segundo objetivo específico se desarrolló una propuesta de diseño de un sistema automatizado orientado a mejorar la productividad del proceso. El diseño conceptual y mecánico se realizó en Solidworks 2020. Además, se diseñó el plano de control en CAdE SIMU 4.1, como la programación en SoMachine 4.3, incorporando variables eléctricas, neumáticas y de proceso mediante sensores, actuadores, variadores de frecuencia y un controlador lógico programable.

Finalmente, para cumplir con el tercer objetivo específico orientado a evaluar el impacto económico, se realizó un análisis comparativo entre el proceso actual y el escenario proyectado con el sistema automatizado. Se consideraron los costos de rechazos y los beneficios asociados a la reducción de mermas, la disminución del tiempo de ciclo y el incremento de la productividad, permitiendo determinar la viabilidad económica de la propuesta.

IV. RESULTADOS

Para comprender la situación actual de la empresa, durante la temporada anual 2025, la empresa procesó un total de 1 124 948,2 kg de materia prima, registrándose un rendimiento líquido global (RGL) promedio de 34,85 %, lo que implica una elevada proporción de rechazo asociada a la falta de estandarización del corte. A partir de este dato se determina la tasa de rechazo global, y en consecuencia el volumen de rechazo (VR):

$$\text{Tasa de rechazo: } 1 - 0,3485 = 0,6515$$

$$\text{VR: } 1\,124\,948,2 \text{ kg} \times 0,6515 = 732\,903,75 \text{ kg}$$

El cálculo de la Productividad Total de Factores (PTF), se consideró un lote de procesamiento de 1000 kg de piña fresca, que según el rendimiento determinado en planta (34,85%), se obtuvo un total de 348,5 kg de producto útil (cortes comerciales). El precio de venta del producto es de S/ 9,50/kg, mientras que el costo de la materia prima es de S/ 2,50/kg.

Para la estimación del costo de los factores se consideraron los siguientes elementos: materia prima en un costo total de S/ 2500; mano de obra directa (6 operarios durante 8 horas a una tarifa de S/ 6,50 por hora) representando un gasto de S/ 312; energía eléctrica de S/ 90; e insumos y materiales auxiliares valorizados en S/ 100. En consecuencia, el costo total en el proceso fue de S/ 3002. De este modo, la PTF se calculó mediante la relación entre el valor económico del output y el costo económico de los insumos:

$$PTF = \frac{348,5 \text{ kg} \times S/9,50/\text{kg}}{S/3\,002} = 1,103$$

Adicional a ello, la productividad laboral se calculó en base a la relación de la producción con el número de trabajadores y las horas realizadas.

El 70% de los 50 trabajadores corresponde a los operarios quienes manipulan la materia prima:

$$OP_{\text{Pelado-Corte}} = 0,7(50) = 35 \text{ Operarios}$$

Cabe resaltar que al mes se procesó en promedio 140 618,53 kg y la jornada laboral fueron de 50 turnos de 9 horas cada una:

$$Productividad_{\text{laboral}} = \frac{140\,618,53 \text{ kg}}{35 \text{ Op} \times 50 \text{ turnos} \times \frac{9\text{h}}{\text{turno}}} = 8,93 \frac{\text{kg}}{\text{Op} \cdot \text{h}}$$

En el indicador de la variabilidad del corte en el proceso manual, se analizaron los registros acumulados de producción correspondientes:

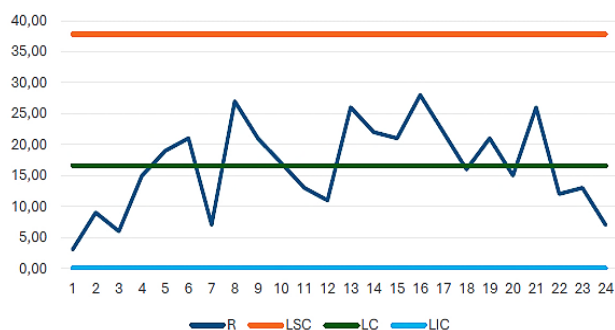


Fig.1 Gráfico de rangos del corte de piña

En la Figura 1 se puede ver que el proceso se encuentra bajo control; no obstante, la elevada variabilidad observada evidencia falta de uniformidad y problemas en el corte.

Esta variabilidad se intensificó cuando se analizaron los defectos en los cortes de piña en una carta de control p como en la Figura 2.

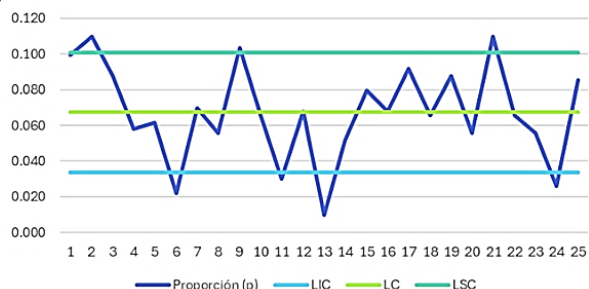


Fig.2 Proporción de defectos en el corte de piña

Donde la mayoría de los puntos fuera de control estarían dados por los cortes irregulares, presencia de bordes deshilachados, pérdida excesiva de pulpa comestible, zonas mal perfiladas y, principalmente, el arrastre de los “ojos” de la piña proveniente del proceso de pelado.

Por otro lado, la producción por hora presentada en la Figura 3, se observa una tendencia descendente a lo largo de la jornada, pasando de valores iniciales altos (315–325 kg/h) a niveles más bajos (260–270 kg/h), lo que evidencia fatiga y pérdida de rendimiento del personal.

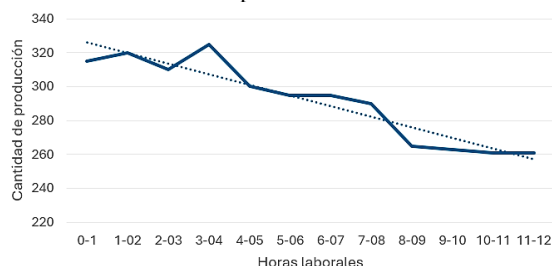


Fig.3 Producción por hora (kg/h) durante la jornada laboral

Estas causas se justifican con los resultados ergonómicos obtenidos, ya que el método RULA arrojó una puntuación de 7 y el método JSI registró un valor de 3,38, superior al límite de seguridad debido a que el esfuerzo físico prolongado, repetitivo y sin descanso, provocando una caída en la producción.

Para determinar el impacto económico, se observó que bajo el método manual el costo de herramientas según TABLA I es elevado:

TABLA I
COSTO ANUAL DE HERRAMIENTAS MANUALES

Herramienta	Uso o función principal	Costo anual estimado (S/)
Cuchillos de acero	Pelado manual de piña	S/ 10 368,00
Cajas cortadoras de piña	Corte de extremos y separación de cáscara	S/ 1 780,00
Termómetros digitales	Control de temperatura en almacenamiento	S/ 660,00
Vernier	Medición del calibre del corte	S/ 114,40
Balanza	Pesaje de fruta pelada y residuos	S/ 100,00
Tablas de picar	Superficie de corte	S/ 1 488,00
TOTAL		S/ 14 510,40

Además, dentro de este análisis se consideró el volumen de rechazo generado por el proceso actual y, a partir de este, se estimó el costo desaprovechado, mediante la siguiente relación:
 $VR \times Costo = 732\,903,75\text{ kg} \times S/.2,50/\text{kg} = S/.1\,832\,259,38$
 Este monto resulta altamente preocupante y técnicamente justificable debido al bajo rendimiento obtenido.

Para alcanzar el segundo objetivo, centrado en el diseño de un sistema automatizado de corte y picado de piña, se propuso diseño elaborado en CAD según se presenta en la Figura 4.

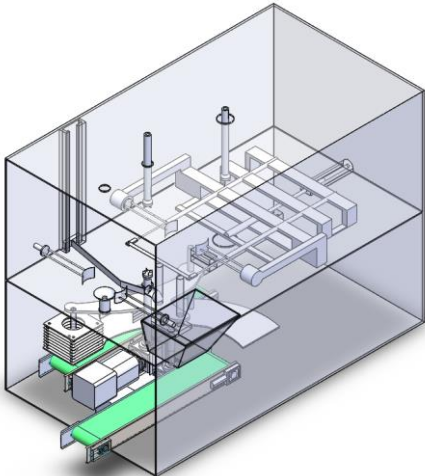


Fig. 4 Diseño del sistema automatizado

Asimismo, con el fin de detallar de manera precisa la composición interna del equipo y facilitar el análisis técnico del ensamblaje, en la Figura 5 se presenta la vista explosiva del sistema, en la cual se identifican individualmente cada uno de los componentes mecánicos y elementos de transmisión, así como su relación y orden de montaje. Esta vista permite, evidenciar la interacción entre las piezas y verificar la viabilidad constructiva.

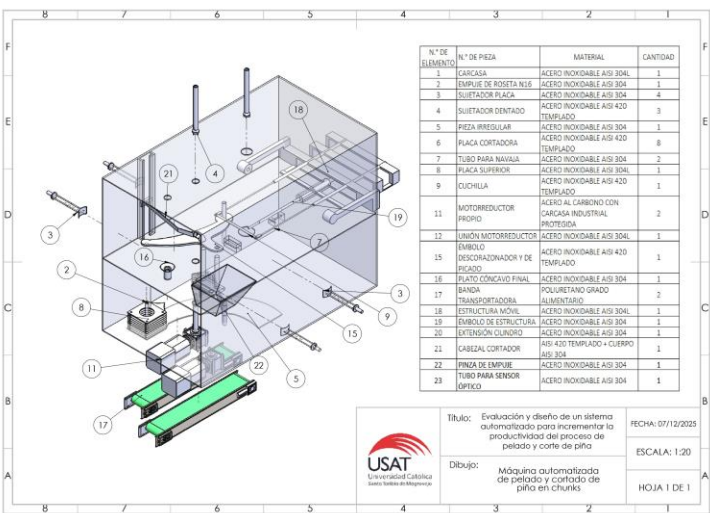


Fig. 5 Plano explosivo del sistema automatizado

La Figura 6 muestra distintas vistas del mecanismo de la máquina, permitiendo comprender la integración y disposición de los subconjuntos mecánicos dentro de la estructura. El proceso inicia con la detección de la piña mediante un sensor óptico, tras lo cual los sujetadores mecánicos la aseguran y la trasladan a la estación de pelado, donde un motor eléctrico hace girar el fruto mientras una cuchilla de pelado elimina la cáscara de manera uniforme. Posteriormente, la piña es posicionada en la base de corte, donde una cuchilla transversal retira la corona y un empujador mecánico la conduce hacia la siguiente etapa. A continuación, el producto es guiado hasta la estación de descorazonado, donde se extrae el núcleo central, y finalmente pasa al sistema de corte final, en el cual un conjunto de cuchillas horizontales y transversales realiza el seccionamiento en rodajas y chunks, obteniendo un producto uniforme para su procesamiento agroindustrial.

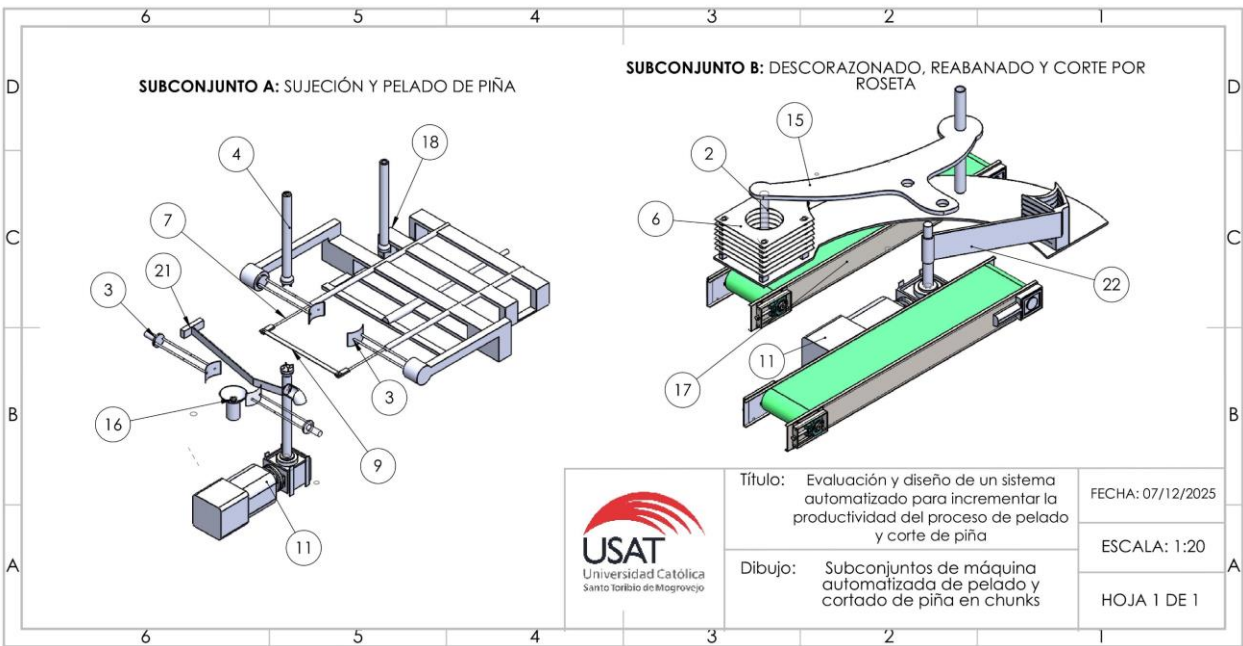


Fig. 6 Vista guiada del sistema automatizado propuesto

Posteriormente, se realizaron los cálculos mecánicos del sistema, orientados a dimensionar correctamente los motores, transmisiones y actuadores, garantizando que las cargas dinámicas generadas durante el pelado y corte no superen los límites operativos del equipo:

En primer lugar, se calculó, para el motor de pelado (M3), el torque y la potencia requerida empleando las fórmulas (1) y (2), considerando que la carga de trabajo depende directamente de la dureza de la cáscara de la piña, el diámetro máximo del fruto y las fuerzas de fricción presentes durante el proceso.

$$T_{req} = F_c \times r \quad (1)$$

Donde: F_c = Resistencia al corte (70N) y r = Radio de torque (0,08m). El valor de $F_c = 70N$ no fue obtenido experimentalmente, sino adoptado como valor referencial en base en [25], quienes reportaron para piña fuerzas mínimas de corte de extremos de 70,12N y de pelado de 72,22N, obtenidas mediante ensayos mecánicos con analizador de textura. Por aproximación técnica, se adoptó $F_c = 70N$ para el cálculo del motor de pelado. Reemplazando:

$$T_{req} = 70N \times 0,08m = 5,6Nm$$

Así mismo para la potencia mecánica en el eje, se consideraron los datos del torque requerido y la velocidad angular de operación del sistema, la cual se convirtió de RPM a rad/s.

$$\omega = 150 \times 2\pi/60 = 15,71rad/s$$

$$P_{eje} = T_{req} \times \omega \quad (2)$$

Reemplazando:

$$P_{eje} = 5,6Nm \times 15,71rad/s = 87,97W$$

Con esos datos se realizó el cálculo de la potencia del motor, con la fórmula (3), considerando las pérdidas de eficiencia en la transmisión (caja reductora $\eta_{caja} = 0,85$) y del motor ($\eta_{motor} = 0,80$), más un factor de servicio (FS) de 1,5 para arranques bajo carga:

$$P_{motor} = \frac{P_{eje}}{\eta_{total}} \times FS \quad (3)$$

Reemplazando:

$$P_{motor} = \frac{89,97}{0,85 \times 0,80} \times 1,5 = 194W = 0,26HP$$

De igual manera para el motor de paleta de empuje (M4), se calculó la potencia lineal requerida y la potencia del motor empleando las fórmulas (4) y (3):

$$P_{lin} = F_{total} \times v \quad (4)$$

Donde: F_{total} = Fuerza total de empuje (230N) y v = Velocidad de avance (0,12m/s).

Reemplazando:

$$P_{lin} = 230N \times 0,12m/s = 27,6W$$

Luego se calculó la potencia del motor respectivo, considerando las pérdidas de eficiencia en la transmisión ($\eta_{mec} = 0,60$) y un factor de servicio (FS) de 2:

$$P_{motor} = \frac{27,6W}{0,60} \times 2 = 92W = 0,12HP$$

Así mismo para los motores de las fajas transportadoras (M1 y M2) que son de operación continua, se calculó la fuerza tangencial, el torque del eje y la potencia requerida empleando las fórmulas (5), (1) y (6).

$$F_t = m \times g \times \mu \quad (5)$$

Donde: m = Carga máxima (15kg) y μ = Fricción (0,5).

Reemplazando:

$$F_t = 15kg \times 9,81m/s^2 \times 0,5 = 73,6N$$

$$T_{req} = 73,6N \times 0,05m = 3,68Nm$$

Con esos datos se realizó el cálculo de la potencia requerida para cada una de las fajas, considerando una velocidad angular de 6 rad/s.

$$P = T \times \omega \quad (6)$$

Reemplazando:

$$P = 3,68Nm \times \frac{6rad}{s} = 22W = 0,03HP$$

Para la selección del variador de frecuencia utilizado en el control dinámico de los motores de proceso M3 (Pelado) y M4 (Paleta de empuje), se calculó la velocidad de salida y la corriente nominal con la fórmula (7) y (8) respectivamente, considerando la velocidad nominal del motor (1370 RPM), una relación de transmisión comercial de $i = 10$, potencia nominal del motor (037kW), tensión nominal de alimentación (380V), factor de potencia (0,73) y eficiencia del motor (0,66).

$$n_{salida} = \frac{1370}{10} = 137 \text{ RPM} \quad (7)$$

$$I_n = \frac{370W}{\sqrt{3} \times 380V \times 0,73 \times 0,66} = 1,17A \quad (8)$$

Del mismo modo, para todos los cilindros en general se consideraron de tipo doble efecto. Con el cilindro de avance de pelado (empuja la cuchilla/peine pelador) se consideró el cálculo del área instantánea, la fuerza de corte y la capacidad del cilindro se emplearon las fórmulas (9), (10) y (11) respectivamente.

$$A = \pi \times D \times t \quad (9)$$

Donde: D = Diámetro medio de piña en estación (160mm) y t = Espesor a retirar (3mm).

Reemplazando:

$$A = \pi \times 160mm \times 3mm = 1508mm^2$$

$$F_{corte} = \tau \times A \quad (10)$$

Donde: τ = Esfuerzo cortante (160mm) y A = Área instantánea (1508mm²).

Reemplazando:

$$F_{corte} = 0,30 \times 1508mm^2 = 452N$$

Considerando un factor de seguridad de 2 la fuerza de diseño aumenta a 905N.

$$F = P \times \pi \times A \quad (11)$$

Donde: P = Presión de trabajo (0,6MPa) y A = Área instantánea (1508mm²).

Reemplazando:

$$F = 0,6MPa \times \pi \times 0,025m^2 = 1178N > 905N$$

La fuerza supera los 905 N calculados como empuje axial total requerido (que incluye la penetración de la cuchilla, fricción de guías y factor de seguridad).

Para el cilindro de sujeción superior (prensa la piña contra cama) se contempló la fuerza de sujeción requerida, fuerza requerida por zapata y la fuerza total empleando para los cálculos las fórmulas (12), (13) y (11).

$$2 \times \mu \times F_{clamp_total} \geq F_c \quad (12)$$

Donde: μ = Coeficiente de fricción (0,4), F_{clamp_total} = Fuerza normal total aplicada y F_c = Fuerza de corte (905N)

Reemplazando:

$$F_{clamp_total} \geq \frac{905}{0,8} = 1131N$$

$$F_{clamp_pad} \geq \frac{F_{clamp_total}}{2} \quad (13)$$

Donde: F_{clamp_pad} = Fuerza de Zapata de sujeción.

Reemplazando:

$$F_{clamp_pad} \geq \frac{1131N}{2} = 565N$$

$$F = 0,6MPa \times \pi \times 0,02m^2 = 754N \text{ por cilindro}$$

Para el cilindro de indexado/eyector (empuja o posiciona la fruta) se consideró una la fuerza mínima requerida para mover 2-3kg a baja velocidad $\geq 100N$ cuya capacidad de empuje fue de 294N.

Igualmente para el cilindro de guillotina (corte transversal/segmentado) se considera una fuerza de diseño conservadora de 1,5kN, la cual incluye la resistencia de la pulpa y fibras del producto. Además, se calculó la fuerza total empleando la formula (11).

$$F = 0,6MPa \times \pi \times 0,0315m^2 = 1,87kN$$

Para los cilindros neumáticos (cilindros A, B, C y D) se tuvo en cuenta el consumo por ciclo y el caudal instantáneo requerido. Para ello se calculó el volumen geométrico del cilindro empleando la formula (14). En la TABLA II, se muestran los resultados de dichos cálculos.

$$V_{geom} = \pi \times \left(\frac{D^2}{4}\right) \times L \quad (14)$$

Donde: D = Diámetro del cilindro y L = Carrera del cilindro

TABLA II

COMPARACIÓN DEL VOLUMEN GEOMÉTRICO Y CONSUMO NEUMÁTICO POR CICLO DE LOS CILINDROS

Cilindro	Diámetro × Carrera (mm)	$V_{geom} (cm^3)$	Consumo por ciclo (NL/ciclo)
A	50 × 50	98	1,37
B	40 × 30	38	0,53
C	25 × 200	98	1,37
D	63 × 150	468	6,55

Fuente: Elaboración propia

El consumo total por ciclo = 9,82 NL (a condiciones normales). Con 360 ciclos/h = $\frac{3,5m^3}{h} = 59 NL/min$. Añadiendo 30% por pérdidas/maniobras = 77NL/min.

Para el diseño del algoritmo de control en PLC, se realizó mediante lógica secuencial, con el propósito de asegurar la repetitividad del proceso, minimizar la intervención del operario y estandarizar los tiempos de ciclo.

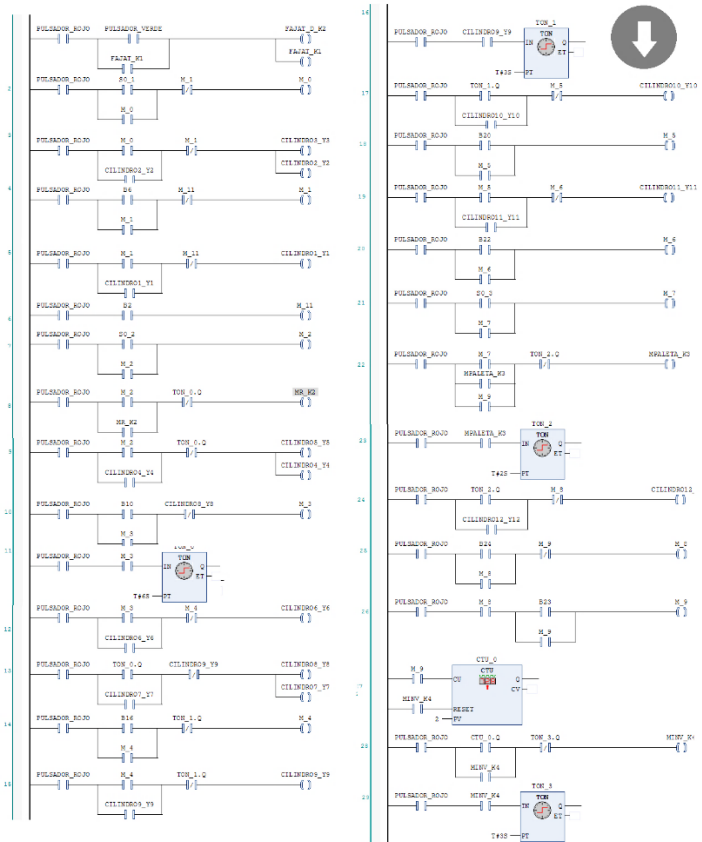


Fig. 7 Lógica en Somachine

Finalmente, para la selección del sistema de control (PLC) se realizó el conteo de señales físicas basándose estrictamente en el plano de conexiones de Entradas/Salidas de la Fig. 8 y la estrategia de control de sensores críticos.

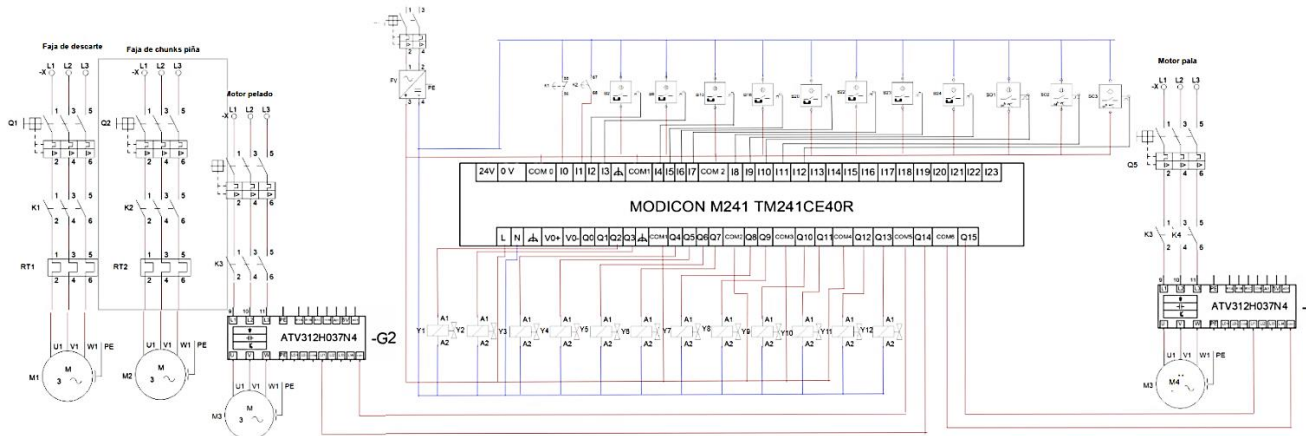


Fig. 8 Plano eléctrico del sistema automatizado

Se realizó una prueba piloto mediante cronometraje digital de diez muestras por operación, siguiendo el método tradicional de estudio de tiempos para ciclos menores o iguales a 2 minutos y bajo condiciones similares de medición. Los resultados se presentan en la Tabla III para la operación de pelado y en la Tabla IV para la operación de corte, obteniéndose tiempos promedio de 11,87 s y 27,04 s, respectivamente. Asimismo, al verificar la suficiencia muestral con un 95 % de confianza y 5 % de error permitido, se obtuvo un mínimo requerido de 4 observaciones para pelado y 2 para corte, por lo que las diez lecturas registradas superan el tamaño necesario y respaldan estadísticamente los tiempos utilizados en la simulación.

TABLA III
TIEMPO PROMEDIO DE PELADO

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo (s)	11,2	10,9	11,6	11,8	12,1	12,5	11,7	11,9	12,3	12,7

Fuente: Elaboración propia

$$T_{\text{prom de pelado}} = \frac{11,2 + 10,9 + 11,6 + 11,8 + 12,1 + 12,5 + 11,7 + 11,9 + 12,3 + 12,7}{10}$$

$$\text{Tiempo promedio de pelado} = 11,87$$

TABLA IV
TIEMPO PROMEDIO DE CORTE

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo (s)	27,2	26,8	25,9	26,5	26,7	27,4	27,6	28,3	26,6	27,4

Fuente: Elaboración propia

$$T_{\text{promedio de corte}} = \frac{27,2 + 26,8 + 25,9 + 26,5 + 26,7 + 27,4 + 27,6 + 28,3 + 26,6 + 27,4}{10}$$

$$\text{Tiempo promedio de corte} = 27,04$$

$$\text{Tiempo promedio total: } 11,87 \text{ s} + 27,04 \text{ s} = 38,91 \text{ s}$$

Este valor combinado evidencia que el tiempo de proceso es mayor aún considerando únicamente dos operaciones en el trabajo manual, debido a las múltiples manipulaciones, pausas y ajustes realizados por el operario.

En contraste, los resultados obtenidos con la máquina propuesta evidencian una mejora significativa en la organización y continuidad del proceso.

Para respaldar los tiempos considerados en la Tabla V, se realizó una validación preliminar del ciclo operativo mediante una simulación audiovisual del funcionamiento del sistema propuesto. A partir del video de simulación, se efectuó el cronometraje de cada actividad del proceso, considerando las etapas de recepción, traslado, pelado, sujeción y corte de la piña. De esta manera, los tiempos asignados a cada operación no fueron estimados de forma arbitraria, sino determinados a partir del registro cronometrado del flujo simulado del equipo. Como resultado, se obtuvo un tiempo total de ciclo de 25 s por piña, el cual fue comparado con el proceso manual previamente medido, evidenciándose una reducción aproximada de 14 s por unidad y una mejora del 35,89 % en el tiempo de ciclo. Si bien esta validación corresponde a una prueba preliminar basada en simulación, permite sustentar técnicamente los parámetros utilizados y constituye una base inicial para futuras pruebas piloto a escala industrial.

TABLA V
TIEMPOS DEL PROCESO

Descripción de la actividad	Tiempo (s)
Recepción de piña en área de preparación	1
Traslado al área de corte	2
Pelado y retiro de base y corona	7
Traslado a sujeción de piña	1
Sujeción de la piña prensa	1
Cortado de corazón de la piña	5
Cortes longitudinales (Cuchillas)	4
Corte en triángulos	4

Fuente: Elaboración propia

TABLA VI
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL TIEMPO DE CICLO

Concepto	Ahora	Después (máquina)	Mejora (Tiempo)	Mejora (%)
Tiempo total del ciclo	39 s	25 s	Reducción de 14 s	+35,89%

Fuente: Elaboración propia

Esta disminución se explica principalmente por la eliminación de movimientos innecesarios, la integración de varias operaciones en una sola secuencia continua y la estandarización del método de trabajo. En consecuencia, el nuevo esquema operativo permite un proceso más ordenado, repetible y eficiente, contribuyendo de manera directa al incremento de la productividad y a la reducción de tiempos muertos en la línea de producción.

Para alcanzar el tercer objetivo, con el fin de estimar el impacto de la automatización sobre la variabilidad del corte, se asumió una reducción del 65% conociendo la Tasa de Rechazo de 65,15%.

$$TR_{\text{nuevo}} = 65,15 \% (1 - 0,65) = 22,80 \%$$

$$RGL_{\text{nuevo}} = 100 \% - 22,80 \% = 77,20 \%$$

Bajo este nuevo escenario, la tasa de rechazo disminuye a 22,80 %, mientras que el rendimiento líquido se incrementa hasta 77,20 %.

Con la nueva tasa de rechazo estimada, se recalculó el volumen de rechazo para el mismo periodo de análisis:

$$VR_{\text{nuevo}} = 1\,124\,948,2 \times 0,2280 = 256\,488,19 \text{ kg}$$

El rechazo total se reduce a 256 488,19 kg, lo que representa una disminución de 476 415,56 kg respecto al proceso manual. Y considerando el mismo costo unitario de materia prima de S/ 2,50, se estimó el ahorro económico.

$$\text{Ahorro} = 476\,415,56 \text{ kg} \times \text{S/ } 2,50 = \text{S/ } 1\,191\,038,91$$

Asimismo, se calcula el nuevo índice de productividad en base a los 1000 kg, y el rendimiento de 77,22%, otorgándonos una eficiencia de materia prima igual a 772,2 kg. Adicional a ello, se le reduce el costo de la mano de obra en los egresos debido a la casi nulidad de la manipulación humana.

$$PTF = \frac{772,2 \text{ kg} \times \text{S/ } 9,50/\text{kg}}{\text{S/ } 3\,002 - \text{S/ } 312} = 2,73$$

Concluyendo con el incremento sustancial de 1,103 en el escenario inicial a 2,73 en el escenario optimizado.

, se realizó una comparación entre el escenario actual y el escenario con máquina cortadora automatizada en la TABLA VII, con el fin de evaluar el impacto de la propuesta sobre la variabilidad del corte.

TABLA VII
COMPARACIÓN DE INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL PROCESO

Concepto	Antes	Después (máquina)
Tasa de rechazo global	65,15%	22,80 %
RGL (rendimiento líquido)	34,85%	77,20 %
Productividad	1,103	2,73
Rechazo	732,903.75 kg	256 488,19 kg
Costo anual de rechazo	S/ 2 443 012,50	S/ 1 251 973,59

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la inversión total estimada para la implementación del sistema de automatización de la línea de pelado y corte de piña asciende a S/ 293 000, monto que comprende principalmente la adquisición e integración de un sistema de automatización y control optimizado (PLC compacto, HMI básica, sensores esenciales, variadores de frecuencia y tablero eléctrico), el desarrollo de software e integración con los equipos existentes, la instalación eléctrica y puesta en marcha simplificada, así como adecuaciones mínimas de infraestructura, capacitación básica del personal operativo y costos indirectos asociados a ingeniería, logística y contingencias, garantizando la operatividad, seguridad y confiabilidad del proceso productivo.

En cuanto a los gastos operativos, se estima un costo anual aproximado de S/ 60 000, correspondiente a la ejecución de un plan de mantención preventiva y correctiva básica del sistema automatizado. Este plan contempla inspección periódica de motores, cilindros neumáticos, sensores, bandas transportadoras, cuchillas y tablero/PLC; así como actividades de lubricación, limpieza técnica, calibración, verificación de fugas, afilado o reposición de elementos de corte y corrección de fallas menores.

Por otro lado, los ingresos mensuales generados por la implementación del sistema automatizado se estiman en S/ 196 022,24, derivados principalmente del incremento de la productividad, la reducción de costos de mano de obra, la disminución de mermas y reprocesos, y la mejora en la eficiencia y uniformidad del proceso, lo que contribuye directamente a la rentabilidad y sostenibilidad económica del proyecto.

TABLA VIII
FLUJO DE CAJA

Periodo	0	1	2	3	4	5	6
Inversión	S/ 293 000						
Ingresos		S/196 022,24	S/196 022,24	S/196 022,24	S/196 022,24	S/196 022,24	S/196 022,24
Egresos		S/60 000	S/60 000	S/60 000	S/60 000	S/60 000	S/60 000
Saldo final	- s/293 000	S/ 136 022,24	S/ 136 022,24	S/ 136 022,24	S/ 136 022,24	S/ 136 022,24	S/ 136 022,24

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados refuerzan esta afirmación, ya que el Valor Actual Neto (VAN) de S/ 221 773,81 evidencia que el proyecto genera valor económico por encima de la inversión inicial, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 40,35 % supera ampliamente el costo de oportunidad del capital, confirmando así la viabilidad financiera y rentabilidad de la propuesta de automatización.

Con el fin de fortalecer la evaluación económica, se incorporó un análisis de sensibilidad financiera mediante dos escenarios críticos asociados a la operación real del sistema automatizado. El primer escenario consideró una reducción del 15 % en la producción mensual y un incremento del 10 % en los costos operativos, debido a una menor disponibilidad de materia prima, reducción temporal de pedidos, mayor consumo energético y ajustes logísticos. El segundo escenario evaluó una condición más restrictiva, con una disminución del 25 % en la producción y un aumento del 20 % en los costos de mantenimiento, asociados a paradas no programadas, fallas técnicas iniciales, reposición de componentes y calibraciones correctivas. Estos escenarios permitieron evaluar la resistencia financiera del proyecto frente a variaciones adversas, evidenciando que, aunque la rentabilidad se reduce, la automatización mantiene beneficios por ahorro de mermas, eficiencia del proceso y reducción del tiempo de ciclo, resaltando la importancia de una adecuada planificación operativa y gestión de mantenimiento para sostener la viabilidad económica del sistema.

V. DISCUSIONES

Los resultados evidencian que el proceso manual de pelado y corte de piña presenta importantes limitaciones en productividad y rendimiento, asociadas principalmente a la alta variabilidad del corte, la dependencia de la destreza del operario y las deficientes condiciones ergonómicas [4]. El rendimiento líquido global promedio de 34,85 % y la tasa de rechazo de 65,15 % se encuentran por debajo de los valores reportados en sistemas semiautomatizados, donde se alcanzan eficiencias superiores al 94 % [18]. La disminución progresiva de la productividad a lo largo de la jornada confirma el efecto de la fatiga física con estudios que reportan elevados riesgos ergonómicos en operaciones manuales de procesamiento de piña [14]. Esta situación refuerza la necesidad de incorporar soluciones tecnológicas que permitan estandarizar el proceso y reducir la dependencia del factor humano.

El sistema automatizado propuesto muestra una mejora significativa, reduciendo el tiempo de ciclo de 39 s a 25 s por unidad (35,89 %), resultado consistente con investigaciones previas sobre automatización del pelado de piña [18]. Asimismo, la proyección de un incremento del rendimiento líquido global hasta 77,20 % y la reducción de la tasa de rechazo a 22,80 % evidencian una mejora sustancial en el aprovechamiento de la materia prima, dentro de los rangos reportados en la literatura [20].

Desde el punto de vista económico, el ahorro estimado de S/ 1 191 038,91 confirma la viabilidad financiera de la propuesta, alineándose con estudios que destacan el impacto positivo de la automatización [16], [17], [26]. Asimismo, los indicadores financieros obtenidos refuerzan esta afirmación, ya que el Valor Actual Neto de S/ 221 773,81 evidencia la generación de valor del proyecto, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 40,35 % supera ampliamente el costo de oportunidad del capital, demostrando la alta rentabilidad de la inversión. Si bien los resultados se basan en simulaciones, estos proporcionan una base sólida para futuras validaciones experimentales a escala industrial.

VI. CONCLUSIONES

En conclusión, la investigación logró cumplir con el objetivo general evidenciando mejoras significativas como la reducción del 35,89 % en los tiempos operativos. Asimismo, el rendimiento líquido global se incrementa hasta 77,20 %, lo que permite disminuir la merma en 476 415,56 kg durante la temporada anual analizada y generar un ahorro económico estimado de S/ 1 191 038,91. De igual forma, la Productividad Total de los Factores (PTF) se incrementa de 1,103 en el escenario actual a 2,73 en el escenario automatizado, reflejando un uso más eficiente de la materia prima, la mano de obra y los recursos energéticos. Finalmente, la evaluación económica confirma la viabilidad del proyecto, al obtenerse un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 221 773,81 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 40,35 %, consolidando a la automatización como una solución técnica y económicamente viable para mejorar la competitividad y sostenibilidad de la agroindustria.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por el apoyo institucional brindado a lo largo de esta investigación, además por la sólida formación académica y metodológica que hizo posible su desarrollo. Asimismo, al aporte de docentes de la Escuela de Ingeniería Industrial, cuya guía, disposición y experiencia resultaron fundamentales durante todo el proceso. Asimismo, agradezco a la empresa que facilitó el acceso a información técnica y operativa, permitiendo elaborar un estudio con enfoque práctico y aplicable al sector agroindustrial.

REFERENCIAS

- [1] «Major Tropical Fruits Market Review Preliminary Results 2023». Accedido: 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ba06aebc-4f47-43e8-8931-b15d48ef146/content>
- [2] «Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo: alcance, causas y prevención». Accedido: 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i2697s/i2697s.pdf>
- [3] «Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de piña en Colombia». Accedido: 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/40032/Ve_r_Documento_40032.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] A. V. Anjali, P. K. Anjitha, K. P. Neethu, A. Arunkrishnan, P. A. Vahid, y S. M. Mathew, «Development and Performance Evaluation of a Semi-Automatic Pineapple Peeling Machine», *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 8, n.º 11, pp. 325-332, nov. 2019, doi: 10.20546/ijcmas.2019.811.041.
- [5] D. E. Ibiyeye, O. O. Olunloyo, O. A. Adesida, T. R. Afolabi, A. O. Akala, y F. B. Okanlawon, «Design and Development of a Pineapple Peeling Machine», 2024.
- [6] «Development of a prototype pineapple peeling machine», *Int. J. Adv. Technol. Eng. Explor.*, vol. 11, n.º 114, may 2024, doi: 10.19101/IJATEE.2023.10102547.
- [7] A. Perú, «Perú exportó 2833 toneladas de piña por US\$8.82 millones en el primer trimestre de 2025», AGROPERÚ Informa. Accedido: 3 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.agroperu.pe/peru-exporto-2833-toneladas-de-pina-por-us8-82-millones-en-el-primer-trimestre-de-2025/>
- [8] «Exportaciones peruanas de piña crecen 171% en valor y 249% en volumen en 2024», Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias. Accedido: 3 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/exportaciones-peruanas-de-pina-crecen-171-en-valor-y-249-en-38558>
- [9] «Propuesta de mejora de la productividad en el proceso de elaboración de mango congelado de la empresa Procesadora Perú SAC, basado en lean manufacturing». Accedido: 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7691/Qui%C3%B1ones%20Carbajal,%20Esteban%20Elder.pdf>
- [10] «Agroexportaciones en Lambayeque, una visión al 2025». Accedido: 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cidecuador.org/jspui/bitstream/123456789/3232/1/Articulo_18_Alfa_N23V8.pdf
- [11] T. Puthmee, B. Matulaprungsan, y S. Kanlayanarat, «Effects of trimming and storage temperature on quality of fresh-cut pineapple cultivar “Tradseethong”», *Acta Hort.*, vol. 989, pp. 193-198, 2013, doi: 10.17660/actahortic.2013.989.24.
- [12] D. Kohli, P. S. Champawat, V. D. Mudgal, S. K. Jain, y B. K. Tiwari, «Advances in peeling techniques for fresh produce», *J. Food Process Eng.*, vol. 44, n.º 10, 2021, doi: 10.1111/jfpe.13826.
- [13] S. V. Manyele, «Analysis of the factors affecting the value-added to dried pineapple fruits using a simple interactive computer model», *Int. J. Eng. Res. Afr.*, vol. 4, pp. 1-14, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.4.1.
- [14] H. J. Singh, J. S. Chauhan, y S. Karmakar, «Ergonomic Risk Factors Associated with Pineapple Harvesting Task in Northeast India», en *Lect. Notes Networks Syst.*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 765-775. doi: 10.1007/978-3-030-94277-9_65.
- [15] N. S. Mezlan, E. Z. Abidin, K. Karuppiah, I. Rasdi, S. N. S. Ismail, y N. H. Ismail, «Development of smart fruit basket for pineapple harvesting», *Malays. J. Med. Health Sci.*, vol. 15, n.º SP4, pp. 26-34, 2019.
- [16] H. Li, H. Sun, H. Wang, Z. Xue, J. Hu, y W. Sun, «Research status and development trend of pineapple harvesting machinery in China», *J. Chin. Agric. Mech.*, vol. 45, n.º 12, pp. 66-72, 2024, doi: 10.13733/j.jcam.issn.20955553.2024.12.011.
- [17] F. He et al., «Research Status and Development Trend of Key Technologies for Pineapple Harvesting Equipment: A Review», *Agric. Switz.*, vol. 14, n.º 7, 2024, doi: 10.3390/agriculture14070975.
- [18] J. S. Jongyingcharoen y E. Cheevitsopon, «Design and development of continuous pineapple-peeling machine», *Agric. Nat. Resour.*, vol. 56, n.º 5, pp. 979-986, 2022, doi: 10.34044/j.anres.2022.56.5.12.
- [19] J. Yasoongnern, P. Imhun, C. Janya-Anurak, A. N. Brezing, S. Torsakul, y A. Watanapa, «Study of Machine Vision System for Automated Pineapple's Eyes Detection», en *IEEE Reg 10 Annu Int Conf Proc TENCON*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 881-886. doi: 10.1109/TENCON58879.2023.10322340.
- [20] E. Eslami, G. Landi, M. Benedetti, y G. Pataro, «Economic and Environmental Impact Analysis of Innovative Peeling Methods in the Tomato Processing Industry», *Sustain. Switz.*, vol. 16, n.º 24, 2024, doi: 10.3390/su162411272.
- [21] A. A. Sánchez Molina, A. Murillo Garza, A. A. Sánchez Molina, y A. Murillo Garza, «Enfoques metodológicos en la investigación histórica: cuantitativa, cualitativa y comparativa», *Debates Por Hist.*, vol. 9, n.º 2, pp. 147-181, dic. 2021, doi: 10.54167/debates-por-la-historia.v9i2.792.
- [22] J. J. Castro Maldonado, L. K. Gómez Macho, y E. Camargo Casallas, «La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI», *Tecnura*, vol. 27, n.º 75, pp. 140-174, ene. 2023, doi: 10.14483/22487638.19171.
- [23] M. C. Cardona Moltó, *Introducción a los métodos de investigación en educación*. EOS, 2002. Accedido: 2 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://observatorio-cientifico.ua.es/documentos/5f0500c22999524666431305>
- [24] C. Manterola et al., «Estudios de Corte Transversal. Un Diseño de Investigación a Considerar en Ciencias Morfológicas», *Int. J. Morphol.*, vol. 41, n.º 1, pp. 146-155, feb. 2023, doi: 10.4067/S0717-95022023000100146.
- [25] J. S. Jongyingcharoen y E. Cheevitsopon, «Design and development of continuous pineapple-peeling machine», *Agric. Nat. Resour.*, vol. 56, n.º 5, pp. 979-986, oct. 2022, Accedido: 24 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/256780>
- [26] E. D. C. Uchofen Ayala, J. Sánchez Pérez, y M. Arroyo Ulloa, «Design of a temperature control system to increase profits in the noodle drying process», en *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2025. doi: 10.18687/LEIRD2025.1.1.310.