Design of an automated conveyor belt system for sorting eggs by weight in the poultry industry

Fernandez Cusquisiban Giannina Grisel[1]; Odiaga Velasquez Johan Ymanol[2]
Universidad Privada del Norte, Perú, N00321388@upn.pe, N00327095@upn.pe

Abstract*– Manual egg grading at the Pungurume S.A.C. poultry farm results in losses, errors, and longer processing times. The objective of this study was to design and technically evaluate an automated conveyor belt system for grading eggs by weight. An applied methodology with a descriptive-analytical approach and a pre-experimental design was used, supported by simulations using AutoCAD and ProModel. The simulation results projected an increase in processing capacity from 7,200 to 8,790 eggs per day, a reduction in processing time from 238 to 186 minutes, and a decrease in losses due to defects from 4.2% to 0.68%, achieving an efficiency of 99.32%. The proposal requires an investment of S/. 144,000 and has a Net Present Value (NPV) of S/. 111,216, demonstrating its economic viability. Furthermore, it generates a positive social impact by improving working conditions, reducing manual handling, and boosting the company's productivity, thereby contributing to Sustainable Development Goals 8, 9, and 12. It is concluded that under the conditions evaluated through simulation, the proposal is technically and economically viable for optimizing the egg sorting process.

***Keywords*-- industrial automation, conveyor belt, egg grading, simulation, productivity.**

Diseño de sistema automatizado de banda transportadora para clasificación de huevos por peso en avícola

Fernandez Cusquisiban Giannina Grisel[1]; Odiaga Velasquez Johan Ymanol[2]
Universidad Privada del Norte, Perú, N00321388@upn.pe, N00327095@upn.pe

Resumen–La clasificación manual de huevos en la avícola Pungurume S.A.C. genera pérdidas, errores y mayores tiempos de procesamiento. El presente estudio tuvo como objetivo diseñar y evaluar técnicamente un sistema automatizado de banda transportadora para la clasificación de huevos por peso. Se empleó una metodología aplicada, de enfoque descriptivo analítico, con diseño preexperimental, apoyada en simulaciones mediante AutoCAD y ProModel. Los resultados de la simulación proyectaron un incremento de la capacidad de procesamiento de 7200 a 8790 huevos por jornada, una reducción del tiempo de procesamiento de 238 a 186 minutos y una disminución de las pérdidas por defectos de 4.2% a 0.68%, alcanzando una eficiencia del 99.32%. La propuesta requiere una inversión de S/. 144 000 y presenta un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 111 216, lo que demuestra su viabilidad económica. Asimismo, genera un impacto social positivo al mejorar las condiciones de trabajo, reducir la manipulación manual y fortalecer la productividad de la empresa, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8, 9 y 12. Se concluye que, bajo las condiciones evaluadas mediante simulación, la propuesta presenta viabilidad técnica y económica para optimizar el proceso de clasificación de huevos.

Palabras clave— automatización industrial, banda transportadora, clasificación de huevos, simulación, productividad.

I. Introducción

[1] Expone que, a nivel global, la producción en el sector avícola llega a cifras importantes, de acuerdo con la (FAO), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, es uno de los sectores más lucrativos, alcanzando más de 97 millones de toneladas de carne de pollo y productos como los huevos; naciones como China, la Unión europea y Estados Unidos muestran elevados niveles de consumos, mientras que Brasil se destaca como el mayor exportador. Este contexto destaca la relevancia del sector como principal fuente de proteína, lo que motiva a la industria a perfeccionar constantemente sus procesos ante el aumento de la demanda.

Las empresas avícolas, en su rol de actividad económica en crecimiento, se enfrentan de manera continua a nuevos retos para cumplir con las demandas de productos de origen avícola; su organización empresarial abarca varias fases tales como la reproducción, la engorda, la generación de huevos y su venta. Por esta razón, la avicultura en el país desempeña un papel significativo en el Valor Bruto de la Producción Agropecuaria en el Perú; en este contexto, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) indica que este ámbito constituye la principal fuente de proteína animal a nivel nacional y regional, con la participación de 19.9% (aves 16.8% y huevo de gallina 3.1% respectivamente) [2].

Para [3], el aumento de la demanda obliga a la industria a optimizar sus procesos y estándares de calidad, en este escenario, los amplios galpones necesitan personal constante para la cosecha de huevos, que se lleva a cabo en grandes cantidades y de forma continua, lo que también implica seguir buenas prácticas de manejo por la delicadeza del producto; estas circunstancias provocan cansancio en los empleados y elevan la probabilidad de fallos en el desarrollo, como resultado, se generan pérdidas ligadas a una inadecuada clasificación por peso, rotura de huevos y fallos en el manejo. De igual manera, [4] afirman que el sector sigue dependiendo en gran medida de técnicas manuales, lo que resulta en ineficiencia y altos costos, restringiendo su competitividad y obstaculizando el avance en la eficiencia productiva, la calidad del producto y el efecto ambiental.

La automatización no es un concepto reciente; su implementación ha permitido a diversas industrias mejorar la eficiencia de sus procesos productivos, reduciendo tiempos de operación, disminuyendo errores y elevando la calidad de los productos [5]. Asimismo, la automatización industrial ha evolucionado desde sistemas de control básicos hacia estructuras más integradas, en las que distintos dispositivos pueden interactuar de manera coordinada para ejecutar tareas de forma automática. En sectores donde predominan actividades manuales y repetitivas, como el avícola, su aplicación resulta especialmente relevante, ya que contribuye a reducir las pérdidas asociadas a la manipulación de productos frágiles y a optimizar el desempeño operativo.

Para la implementación de sistemas automatizados en entornos productivos, es fundamental el uso de estructuras de control que permitan coordinar el funcionamiento de los diferentes componentes del sistema. Un sistema de control se basa en la interacción de elementos como sensores, una unidad de procesamiento y actuadores, los cuales trabajan conjuntamente para captar información del entorno, procesarla y ejecutar acciones en función de condiciones previamente establecidas [6].

Dentro de los sistemas de control aplicados a procesos productivos, las bandas transportadoras permiten el traslado continuo de productos a lo largo de las distintas etapas del

proceso. El transporte mediante bandas se beneficia de la automatización, ya que facilita el movimiento eficiente de los productos a lo largo de la línea de producción [7]. Asimismo, su implementación ofrece una solución eficaz, al estar conformadas por una estructura flexible que se desplaza de manera constante, optimizando el flujo de trabajo [8]. En el caso de productos frágiles, como los huevos, es necesario considerar condiciones adecuadas de operación, como una velocidad controlada y una superficie estable, con el fin de minimizar impactos y evitar daños durante su desplazamiento.

La avícola Pungurume SAC ubicada en Magdalena provincia de Cajamarca enfrenta restricciones en su desarrollo productivo, ya que sus labores dependen en gran medida del trabajo manual. Esta circunstancia provoca errores en toda la cadena productiva, puesto que los empleados no sostienen un ritmo uniforme de trabajo, lo que aumenta los tiempos de procesamiento y clasificación de los huevos, demorando el embarque y la distribución del producto. Igualmente, en los procesos de recolección y clasificación manual se producen pérdidas por la ruptura de huevos, los cuales se vuelven inapropiados para su venta, teniendo en cuenta que la calidad es una de las características más demandantes en el mercado; por lo tanto, esta situación restringe la eficiencia operativa de las avícolas e impacta de manera directa la rentabilidad del negocio.

Ante esta situación, la automatización y la optimización de procesos se consideran elementos clave en la industria, sobre todo en un sector dedicado a elevar la calidad de un producto alimentario de consumo masivo, la falta de sistemas automatizados y de recolección de datos en tiempo real afecta de manera negativa la competitividad y la rentabilidad del sector [9]. En este marco, la adopción de esta solución se configura como una opción eficaz para minimizar pérdidas y acortar los tiempos de procesamiento; de esta manera, la inclusión de una cinta transportadora con sensores de selección tendría un efecto beneficioso en las tareas productivas, al disminuir la necesidad de trabajo manual y optimizar la eficiencia del proceso.

En este contexto, el factor diferenciador de la propuesta radica en una arquitectura integrada, modular y de bajo costo, adaptada a las condiciones de una avícola mediana de Cajamarca. El sistema integra transporte automatizado, desinfección UV-C, visión artificial, clasificación por peso y almacenamiento de datos en SQL Server, lo que constituye una alternativa frente a soluciones industriales orientadas a producciones de mayor escala.

Considerando la problemática asociada a la manipulación manual de huevos, así como las pérdidas generadas por roturas, clasificación inadecuada y tiempos ineficientes de transporte, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el diseño de un sistema automatizado de banda transportadora contribuye a la reducción de mermas y a la optimización del transporte y clasificación de huevos por peso en sistemas avícolas?

Para dar respuesta a esta interrogante, se formula el siguiente objetivo general: Diseñar y evaluar mediante simulación digital un sistema automatizado de banda transportadora para la clasificación de huevos por peso, orientado a la reducción de mermas y la optimización del proceso de transporte en una avícola. Asimismo, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de clasificación de huevos.
- Desarrollar la propuesta técnica del sistema automatizado de banda transportadora y sus componentes.
- Realizar una evaluación técnica comparativa del sistema propuesto mediante simulaciones.
- Determinar la viabilidad económica del proyecto mediante el cálculo de la inversión necesaria y la proyección de indicadores financieros.

II. METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolla mediante una metodología aplicada con enfoque descriptivo y analítico, preexperimental, estructurada en cuatro fases, con el propósito de diseñar un sistema automatizado de banda transportadora para la clasificación de huevos por peso en una avícola.

Fase 1: Diagnóstico del proceso actual

En esta fase se realiza una visita técnica a la avícola con el objetivo de identificar y analizar el proceso actual de recolección, transporte y clasificación de huevos, desde los galpones hasta el área de almacenamiento. Para ello, se emplea la observación directa y el registro de información relacionada con tiempos de operación, cantidad de huevos procesados, número de productos defectuosos, incluyendo roturas y pérdidas ocasionadas durante la manipulación manual.

Asimismo, se elabora un flujograma del proceso actual con la finalidad de representar de manera secuencial las actividades desarrolladas e identificar puntos críticos relacionados con demoras, acumulación de productos y generación de mermas. *(Ver figura 1: Flujograma del proceso actual de clasificación manual)*

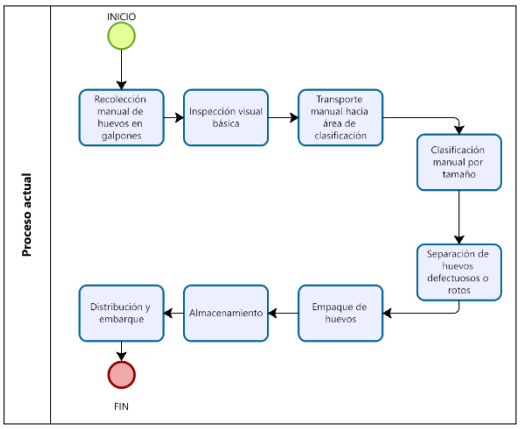


Fig. 1 Flujograma del proceso actual de clasificación manual

Los datos obtenidos permiten establecer indicadores iniciales que posteriormente servirán para comparar el desempeño del sistema propuesto. *(Observar tabla 1: análisis del proceso actual)*

TABLA I
PROCESO ACTUAL

Etapa del proceso	Descripción de la actividad	Tiempo aproximado	Observaciones
Recolección manual de huevos	Los operarios recolectan los huevos directamente desde los galpones	35 min	Existe rotura debido a la manipulación constante
Inspección visual básica	Se verifica visualmente el estado físico de los huevos	13 min	La inspección depende de la experiencia del trabajador
Transporte manual	Los huevos son trasladados manualmente hacia el área de clasificación	20 min	Se genera retrasos por distancias y carga manual
Clasificación manual por peso	Los operarios separan los huevos según criterios visuales y peso	90 min	Existe mala clasificación por error humano
Separación de huevos defectuosos	Se retira huevos rotos o con fisuras	15 min	Las pérdidas incrementan por manipulación repetitiva
Empaque	Los huevos son colocados en bandejas o cajas	37 min	Requiere cuidado para evitar daños
Almacenamiento	Producto almacenado previo a distribución	11 min	Depende de la capacidad del almacén
Distribución y embarque	Preparación del producto para su despacho	17 min	Retrasos afectan tiempos de entrega

Fase 2: Diseño de la propuesta automatizada

En esta fase se desarrolla el diseño del sistema automatizado de transporte y clasificación de huevos por peso, considerando las necesidades identificadas en el diagnóstico previo. Se plantea el diseño estructural de la banda transportadora, definiendo dimensiones, materiales y condiciones adecuadas para el traslado seguro de los huevos.

Asimismo, se incorpora un sistema de sensores, actuadores y un controlador, encargado de automatizar el proceso de clasificación según criterio de peso previamente establecido; para la preparación y validación del sistema se emplean herramientas como SolidWorks y ProModel, permitiendo analizar el funcionamiento de la propuesta y evaluar su impacto en la reducción de mermas y la optimización de los tiempos de procesamiento.

Los parámetros de entrada del modelo en ProModel se establecieron a partir del diagnóstico realizado en Pungurume S.A.C. considerando los tiempos de operación registrados, la cantidad de huevos procesados y las tasas de productos defectuosos observadas. Asimismo, se asumió un flujo continuo de producción, una velocidad constante de banda y condiciones estables de operación durante la simulación.

Fase 3: Evaluación técnica comparativa

En esta fase se comparó el proceso manual con el sistema automatizado propuesto bajo condiciones operativas equivalentes. Los indicadores obtenidos mediante simulación se contrastaron con valores registrados durante el diagnóstico, considerando tiempo de procesamiento, pérdida por defectos, eficiencia y rendimiento. Los resultados representan estimaciones bajo los supuestos definidos en el modelo y no una validación experimental del sistema.

Para ello, se definieron algunos indicadores que se presentan en la siguiente tabla. *(Véase tabla 2: Indicadores)*

TABLA II
INDICADORES

Indicador	Descripción	Fórmula
Tiempo de procesamiento	Tiempo de transporte y clasificación de huevos	$\frac{Tiempo\ total}{N°\ de\ huevos}$
Pérdida por defectos	Huevos dañados	$\frac{Huevos\ rotos}{Total\ de\ huevos} x100$
Eficiencia	Relación entre resultados obtenidos	$\frac{Huevos\ aptos}{Huevos\ procesados} x100$
Rendimiento	Huevos procesados por unidad de tiempo	$\frac{Huevos\ procesados}{Tiempo\ de\ procesamiento}$

Fase 4: Evaluación económica

Se evaluó la viabilidad económica del sistema automatizado propuesto frente al del proceso manual. Se consideraron los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, así como los beneficios por la reducción de

pérdidas y la mejora en la eficiencia. Asimismo, se estimó el Valor actual neto (VAN) y el periodo de recuperación, analizando el impacto en la rentabilidad del sistema productivo.

III. Resultados

1. *Diagnóstico actual*

El diagnóstico realizado mediante la observación directa del proceso de recolección, transporte y clasificación de huevos permitió identificar las etapas con mayor incidencia en el tiempo total de operación. A partir del análisis de los tiempos registrados en cada etapa, se determinó que el proceso completo es de aproximadamente 238 minutos para procesar un lote de producción. Asimismo, la actividad de clasificación manual por peso representa el 37.8% del tiempo total, siendo la etapa de mayor duración dentro del proceso. Por otro lado, las etapas de empaque, recolección y transporte concentran el 15.5%, 14.7% y 8.4% respectivamente, evidenciando la influencia de las actividades manuales en el desempeño general del sistema. *(Observar figura 2: Distribución porcentual del tiempo por etapa del proceso actual).*

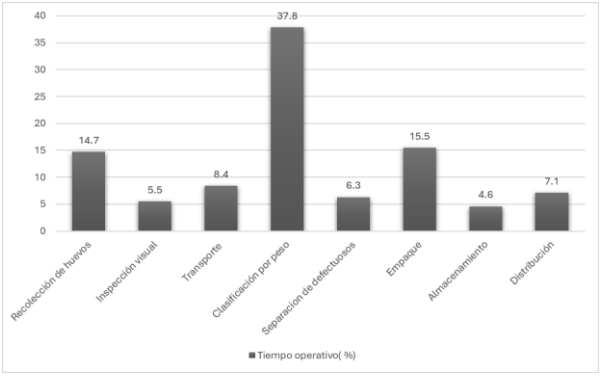


Fig. 2 Distribución porcentual del tiempo por etapa del proceso actual.

Además, se identificó una alta intervención manual en varias etapas del proceso, lo que incrementa el riesgo de errores operativos y pérdidas de producto.

De igual manera, se determinó que durante una jornada de trabajo de 10 horas se procesan aproximadamente 7200 huevos. Sin embargo, la dependencia de actividades manuales generó un 4.2% de pérdidas por roturas y un 6.5% en errores de clasificación, lo que equivale a cerca de 302 huevos dañados y 468 huevos mal clasificados por jornada. Como resultado, la eficiencia del proceso alcanzó únicamente el 89.3% de huevos aptos para la comercialización. *(Ver tabla 3: Análisis operativo del proceso manual).*

TABLA III
ANÁLISIS OPERATIVO DEL PROCESO MANUAL

Parámetro	Valor
Huevos procesados por jornada	7200 und
Tiempo de procesamiento	238 min
Huevos defectuosos por jornada (rotos)	302 und
Huevos mal clasificados por jornada	468 und

2. *Diseño y desarrollo del sistema automatizado*

El sistema diseñado responde a la necesidad de optimizar el procedimiento de recolección de huevos en el sector avícola, sustituyendo métodos tradicionales propensos a error humano por una línea de flujo continuo automatizada. La arquitectura del sistema integra tecnologías de control electromecánico, sensores industriales y sistemas de adquisición de datos para garantizar la inocuidad y la clasificación precisa del producto.

Representación en AutoCAD y layout en simulación

Para la concepción espacial del sistema, se desarrolló un modelo bidimensional mediante AutoCAD, el cual permite visualizar la distribución de los componentes, empezando desde los galpones, seguido de la banda transportadora, las secciones de limpieza, selección por calidad, pesaje y clasificación, finalizando con las 4 bandas que van hacia empaquetado. *(Ver figura 3: Diseño en AutoCAD del proceso automatizado)*

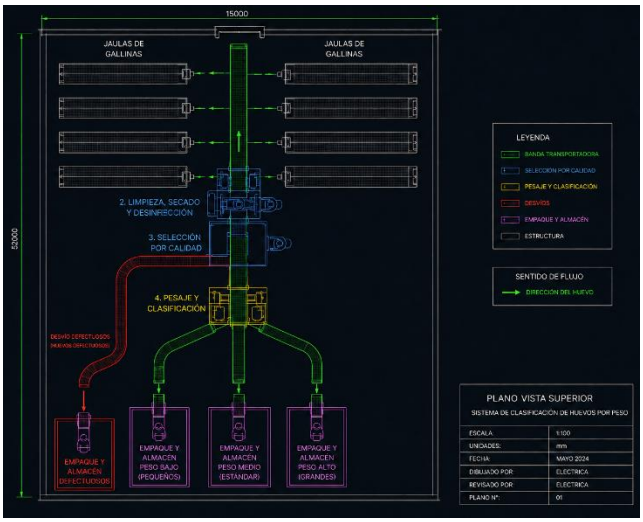


Fig. 3 Diseño en AutoCAD del proceso automatizado

Asimismo, con el fin de validar la capacidad operativa cuellos de botella y dimensionar las colas de espera en los procesos críticos, se modeló el flujo de materiales primero en el programa AutoCAD, luego en el software ProModel. Los parámetros de entrada del modelo se obtuvieron a

partir de los datos registrados mediante el muestreo en la avícola Pungurume S.A.C. A partir de estos datos, se empleó una distribución normal para representar tanto la llegada de huevos como los tiempos de ciclo del proceso.

Mediante esta simulación se logró parametrizar variables como la velocidad de la banda (v = 0.25 m/s), los tiempos de ciclo de desinfección y las tasas de descarte en el control de calidad. *(Observar figura 4: Modelo automatizado en ProModel)*

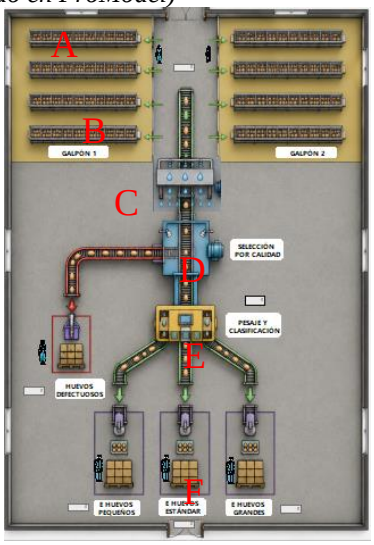


Fig. 4 Modelo automatizado en ProModel

Descripción detallada del funcionamiento por módulos y materiales

La línea de producción se encuentra dividida en cinco módulos secuenciales interconectados, descritos a continuación:

1. *Módulo de recolección manual y alimentación*

Funcionamiento: los operadores recogen los huevos directamente de los galpones, los colocan suavemente sobre la tolva de alineación inicial. Esa tolva cuenta con un mecanismo de rodillos helicoidales que orienta a los huevos de forma longitudinal para evitar colisiones y roturas antes de ingresar a la banda principal.
Criterios de diseño: capacidad de recepción de hasta 1 000 huevos/hora. Velocidad controlada por un variador de frecuencia para sincronizar el suministro manual con el avance automático.
Materiales: Estructura de acero inoxidable AISI 304 del grado alimenticio y rodillos poliuretanos de densidad para amortiguar impactos.

2. *Módulo de transporte principal*

Funcionamiento: Consiste en una banda transportadora segmentada que traslada los huevos de manera continua a través de las estaciones de procesamiento. El movimiento es traccionado por un motorreductor controlado por un PLC.
Criterios de diseño: Movimiento sincrónico y suave, la superficie posee un diseño cóncavo o "tipo cuña" para mantener fijos los huevos a distancias equidistantes (5 cm entre unidades).
Materiales: Banda de PVC grado alimenticio (aprobado por la FDA) con propiedades antiestáticas y eslabones modulares de acetal para facilitar la limpieza.

3. *Módulo integrado de limpieza, secado y desinfección germicida*

Funcionamiento: Este módulo opera como una cámara multifase de flujo continuo para garantizar la inocuidad microbiológica y la presentación estética del producto. Consta de tres subestaciones secuenciales:

1. *Estación de lavado por aspersión:* Al ingresar a la cámara, los huevos son rociados con agua a temperatura controlada entre 38 °C y 40 °C, para evitar que la contracción térmica absorba humedad hacia el interior del huevo, esta será mezclada con un agente sanitizante de grado alimentario como ácido peracético en baja concentración. Simultáneamente, uso cepillos cilíndricos rotativos de cerdas ultra suaves limpian la superficie sin fisurar la cáscara.
2. *Estación de secado por cuchillo de aire:* Inmediatamente después, el huevo pasa por un túnel donde un soplador industrial de alta presión expulsa aire filtrado a través de "cuchillas de aire" (air knivers). Esto remueve la película de agua superficial por arrastre mecánico y evaporación acelerada, preparando la superficie para el último paso.
3. *Estación de irradiación UV-C:* Con la cáscara completamente limpia y seca, los huevos se exponen a un arreglo de lámpara de radiación ultravioleta de onda corta (UV-C, $\lambda = 254$ nm). Al no haber partículas de suciedad que obstruyen los fotones, la luz penetra eficazmente las membranas celulares de microorganismos patógenos, como *salmonella enteriditis*, destruyendo su ADN/ARN en un tiempo de exposición de 4 a 6 segundos.

Criterios de diseño:

1. *Control térmico:* El agua de lavado debe mantenerse estrictamente entre 3°C y 5°C por encima de la temperatura interna del huevo para prevenir el gradiente de presión inversa que introduciría patógenos a través de los poros.
2. *Presión de secado:* El soplador debe generar un caudal aerodinámico suficiente para secar el huevo en un trayecto de máximo 50 cm sin mover el huevo de su eje en la banda.
3. *Sensores de seguridad:* Interlocks magnéticos en las compuertas que apagan automáticamente las lámparas UV-C si la cámara es abierta por un operador, previniendo daños oculares o cutáneos.

Materiales:

1. Carcasa y tubería de distribución fabricadas íntegramente en acero inoxidable AISI 316 de alta resistencia a la corrosión por agua y agentes químicos sanitizantes.
2. Cepillos con cerdas de nylon higiénico de puntas redondeadas de grado alimenticio.
3. Boquillas de aspersión de cono lleno en teflón (PTFE)
4. Lámparas germicidas UV-C con tubo de cuarzo de alta transmitancia y reflectores internos de aluminio pulido espejo para maximizar la distribución del flujo lumínico en 360°.

4. *Módulo de prueba de calidad*

Funcionamiento: los huevos pasan sobre una sección de la banda que es translúcida y está iluminada desde la parte inferior. Simultáneamente, una cámara de visión artificial superior captura imágenes en alta resolución; un algoritmo de procesamiento de imágenes analiza la morfología externa como grietas o fisuras y manchas de sangre o suciedad. Las unidades defectuosas son eyectadas suavemente mediante un actuador neumático hacia una rampa de descarte.

Criterios de diseño: tiempo de procesamiento de imagen <50 ms por unidad. Criterio de rechazo automatizado basado en el porcentaje de píxeles anómalos o discontinuidad lineal en la cáscara.

Materiales: sensor de cámara industrial CMOS de alta velocidad, iluminación LED de alta intensidad, actuador neumático de vástago corto con ventosa de silicona blanda, y estructura de soporte en aluminio anodizado estructural.

5. *Módulo de clasificación por peso*

Funcionamiento: los huevos validados en la estación de control de calidad transitan hacia una serie de balanzas dinámicas en la estructura de la banda transportadora. Al pasar el huevo por la plataforma de pesaje, el sensor traduce la fuerza mecánica en una señal analógica de milivoltios (mV), la cual es procesada por un módulo amplificador de señal y enviada directamente a las entradas analógicas del PLC. El algoritmo programado en el controlador categoriza en milisegundos el producto de acuerdo con los rangos preestablecidos en la Tabla IV.

Inmediatamente después, el PLC activa un servomecanismo de deflectores plásticos que guían suavemente cada huevo hacia su respectivo canal de acumulación según su clase.

Criterios de diseño:

1. *Precisión dinámica:* las celdas de carga deben asegurar una tolerancia máxima de ± 0.5 gramos a una velocidad de banda constante.
2. *Filtrado de señal:* implementación de un filtro digital pasa-bajas en la programación del PLC para eliminar el ruido blanco y las vibraciones mecánicas de los motores sobre la lectura del peso.
3. *Categorización comercial:* el sistema segmenta la producción en tres canales independientes de distribución física basados en el gramaje estándar industrial. *(Observar tabla 4: Escala de clasificación comercial de huevos por peso unitario)*

TABLA IV
ESCALA DE CLASIFICACIÓN COMERCIAL DE HUEVOS POR PESO UNITARIO

Categoría comercial	Rango de peso unitario (g)	Destino
Pequeño [A]	<53.9 g	Canal A
Mediano [B]	54g – 63.9g	Canal B
Grande [C]	>64 g	Canal C

Materiales:

1. Celdas de carga de punto único fabricadas en aleación de aluminio de alta resistencia y con grado de protección IP65 contra humedad.
2. Brazos deflectores de polioximetileno de baja fricción para evitar micro fisuras al hacer contacto con la cáscara.
3. Canales de caída y bandejas de recepción recubiertas con espuma de polietileno expandido de celda cerrada para una desaceleración suave por programa.

6. *Módulo de empaquetado manual en casilleros*

Funcionamiento: cada canal de peso seleccionado deposita los huevos en mesas de acumulación por gravedad de velocidad cero. En este punto, los operadores toman los huevos clasificados y homogéneos y los colocan manualmente en los casilleros de cartón o plástico (30 unidades) procediendo al sellado y etiquetado del lote.

Criterios de diseño: diseño ergonómico de las estaciones de empaque para reducir la fatiga del operario, capacidad de acumulación física que permita absorber variaciones en el ritmo de empaque sin detener la banda transportadora.

Materiales: mesas receptoras recubiertas de lona acolchada higiénica y estructura de soporte tubular de acero inoxidable.

Arquitectura de almacenamiento de datos

El sistema automatizado no solo procesa el producto físico, sino que actúa como un nodo generador de información en tiempo real para asegurar la trazabilidad. El flujo de almacenamiento de datos se estructura según el siguiente esquema:

1. *Adquisición de datos:* el PLC central (Controlador Lógico Programable) recopila las señales analógicas de las celdas de carga y los resultados lógicos binarios (Aprobado/Rechazado) del sistema de visión artificial.
2. *Transmisión:* a través del protocolo Industrial Ethernet (Profinet), el PLC transmite las variables estructuradas hacia una computadora local de supervisión (PC Gateway).
3. *Base de datos:* la PC ejecuta un servicio que inserta las lecturas en una base de datos relacional como SQL

Server. Para optimizar el rendimiento, la arquitectura se normaliza en dos entidades: tabla Lote y tabla Unidad. Ante fallos de energía, el PLC cuenta con un buffer en su memoria NVRAM para retener temporalmente hasta 5000 registros sin pérdida de datos.

Marcado físico y salida: La trazabilidad transfiere al producto en dos niveles:

1. *Unitario (Inkjet):* Un cabezal de inyección de tinta continua imprime en la cáscara una cadena alfanumérica compacta: [N° de lote] – [Categoría] – [Fecha de vencimiento] ej: L245-CAT.A-VEC20/08
2. *Colectivo (Código QR):* En cada casillero se genera una etiqueta QR que contiene una trama de datos indexada: [ID_Lote] – [Fecha/hora de empaque] – [N° operario] – [Cantidad de unidades] ej: L245-EMP180626-OP12-U30

Análisis de datos para la toma de decisiones

Los datos masivos almacenados en el servidor relacional son procesados mediante un módulo de software SCADA o un tablero de control analítico (Dashboard) para transformar los datos crudos en métricas operativas de alto valor:

1. *Cálculo de productividad y eficiencia:* el sistema calcula automáticamente la disponibilidad de la banda, el rendimiento de velocidad y la tasa de calidad (Huevos aptos/ Huevos totales procesados)
2. *Control estadístico de procesos (SPC):* se generan gráficos de control de peso en tiempo real, esto permite identificar variaciones inusuales en la producción de las aves.
3. *Análisis de defectos:* el sistema procesa los datos del módulo de visión artificial y genera diagramas de Pareto automatizados para identificar las principales causas de descarte, como la presencia de grietas. Esto permite ejecutar acciones correctivas inmediatas en la cadena de valor avícola.

Para interpretar mejor la estructura del almacenamiento y análisis de datos. *(Observar figura 5: Simulación de datos)*



Fig. 5 Simulación de datos

Resultados del ProModel

La tabla V muestra que durante la simulación se recolectaron 293 lotes, equivalente a 8790 huevos, de estos, solo 2 lotes fueron clasificados como defectuosos teniendo en cuenta criterios como roturas, fisuras o rechazo por visión artificial, mientras que 291 lotes (99,32%) resultaron aptos para su comercialización. Entre los huevos aptos, predominó la categoría de huevos grandes, seguida de los huevos estándar y los pequeños, evidenciando, bajo las condiciones simuladas, el desempeño proyectado del sistema en la clasificación por peso. *(Ver tabla 5: Lotes de huevos procesados)*

TABLA V
LOTES DE HUEVOS PROCESADOS

Lotes de huevos	Cantidad	Huevos (und)	Porcentaje
Recolectados	293	8790	100%
Defectuosos	2	60	0.68%
Aptos	291	8730	99.32%
Pequeños	77	2310	26.28%
Estándar	130	3900	44.37%
Grandes	84	2520	28.67%

La tabla VI presenta los indicadores obtenidos mediante la simulación del sistema automatizado propuesto, mostrando su rendimiento y eficiencia estimados en la clasificación de los huevos procesados. *(Ver tabla 6: Indicadores del nuevo sistema automatizado)*

TABLA VI
INDICADORES DEL NUEVO SISTEMA AUTOMATIZADO

Parámetro	Valor
Tiempo de procesamiento	186
Eficiencia	99.32%
Rendimiento	47.26 huevos/min

3. Evaluación técnica comparativa

En contraste con las condiciones observadas en el diagnóstico del proceso actual, la simulación de la propuesta automatizada proyectó una mejora en el desempeño del sistema. Los resultados estiman un incremento del 22.08% en la cantidad de huevos procesados, de 7200 a 8790 unidades por jornada, y una reducción del tiempo de procesamiento de 238 a 186 minutos (21.85%). Asimismo, la simulación proyectó una disminución de las pérdidas por roturas de 4.2% a 0.68%, mientras que la eficiencia alcanzaría el 99.32% de huevos aptos para la comercialización.

De igual manera, el rendimiento proyectado aumentaría de 30.25 a 47.26 huevos/min, equivalente a un incremento del 56.23%. Estos resultados sugieren que el sistema propuesto tiene potencial para optimizar las actividades de transporte y clasificación; sin embargo, su desempeño deberá ser corroborado mediante una implementación y validación experimental en condiciones

reales de operación *(Ver figura 6: Comparación de indicadores del proceso manual y automatizado)*

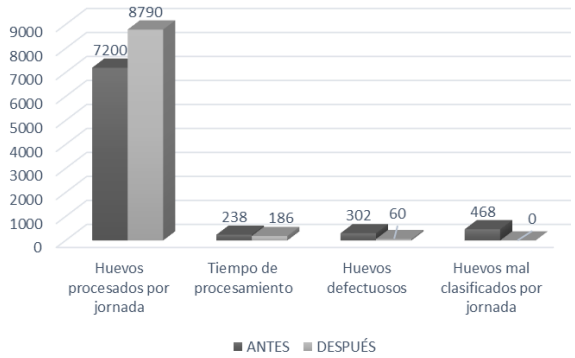


Fig. 6 Comparación de indicadores del proceso manual y automatizado

4. Evaluación económica

Con base en el diseño del sistema automatizado, se estimó la inversión requerida considerando los principales subsistemas que integran la propuesta, tales como el sistema de transporte mediante bandas, el sistema de clasificación automática, los sistemas de sensores y control, así como los costos de instalación y puesta en marcha. *(Observar tabla 7: Inversión inicial requerida).*

TABLA VII
INVERSIÓN INICIAL REQUERIDA

Sistema de transporte mediante bandas transportadoras	S/. 55 000
Sistema estructural y soportes	S/.24 000
Sistema de clasificación automática	S/.18 000
Sistema de sensores	S/.12 000
Sistema de control	S/.10 000
Sistema de accionamiento (motores y transmisión)	S/.15 000
Instalación y puesta en marcha	S/.7 000
Capacitación del personal	S/. 3 000
Inversión total requerida	**S/ 144 000**

Posteriormente, la viabilidad financiera del sistema automatizado se determinó contrastando sus costos frente al proceso manual actual, bajo los enfoques metodológicos de tecnificación sectorial de la ref [4] y de optimización en granjas comerciales de la ref [9]. Se estructuró un flujo consolidado a un horizonte de 5 años con una tasa de descuento (COK) del 12% anual, evaluando la inversión inicial, costos operativos y los beneficios por reducción de mermas y eficiencia. *(Observar tabla 8: Análisis económico).*

TABLA VIII
ANÁLISIS ECONÓMICO

Inversión total requerida	S/ 144 000
Costo operativo manual	S/ 116 800
Costo operativo automatizado	S/ 46 000
Valor Actual Neto (VAN)	S/ 111 216
Período de recuperación	2 años

Para evaluar si el proyecto es rentable, se utilizó una tasa de 12% (COK) que parte del Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC). Se tomó en cuenta que una parte de la inversión se pagará con un préstamo de Caja Piura, el cual tiene una tasa anual (TCEA) del 15.31%. A este costo del financiamiento se le sumaron otros dos factores económicos reales: la tasa de inflación esperada y el riesgo país.

IV. DISCUSIÓN

En concordancia con lo expuesto por la ref [3], la integración de sensores de pesaje y sistema de adquisición de datos permite un control preciso de la producción y elimina la subjetividad del criterio humano en la clasificación. Asimismo, la reducción proyectada de las mermas por rotura de 4.2% a 0.68% es consistente con lo reportado por las refs. [4] y [9] respecto a los beneficios potenciales de la migración de sistemas convencionales hacia sistemas automatizados.

La principal limitación del estudio radica en que los indicadores de desempeño mecánico y las tasas de descarte fueron estimados mediante herramientas de modelado y simulación como ProModel, sin una validación experimental del sistema en condiciones reales de operación. Las condiciones en un entorno real de producción avícola pueden presentar variables no controladas, tales como variaciones bruscas de energía eléctrica, polvo en suspensión que afecte la lente de la cámara de visión artificial o fluctuación en la presión del sistema neumático de eyección.

El principal aporte diferenciador del diseño radica en integrar, dentro de una arquitectura modular, la desinfección UV-C, visión artificial, clasificación automatizada y trazabilidad mediante SQL Server. Esta configuración, adaptada a una avícola mediana de Cajamarca, plantea una alternativa tecnológica frente a sistemas industriales de mayor escala, manteniendo una inversión económicamente viable para el contexto evaluado.

IV. CONCLUSIONES

La simulación del sistema automatizado proyectó una mejora del proceso de clasificación, con un incremento del rendimiento de 30,25 a 47,26 huevos/min.

El diagnóstico del proceso actual evidenció un tiempo de procesamiento de 238 min por jornada y una tasa de mermas por rotura del 4.2%, identificándose oportunidades de mejora mediante automatización.

Se diseñó una solución integral mediante una banda transportadora de grado alimentario, sensores y un sistema de control para la clasificación automática de huevos por peso.

Los resultados de la simulación proyectaron una reducción del tiempo de procesamiento de 238 a 186 minutos y de las pérdidas por defectos de 4.2% a 0.68%, sin embargo, estos

resultados requieren validación experimental en condiciones reales de operación.

La evaluación económica estimó una inversión inicial de S/. 144,000 y un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 111 216, indicando viabilidad económica bajo las condiciones y supuestos considerados en el estudio.

Finalmente, la propuesta presenta potencial para reducir la manipulación manual y contribuir a mejorar las condiciones de trabajo; estos beneficios deberán verificarse durante una futura implementación del sistema.

REFERENCIAS

[1] R. Kraitman, "*Desarrollo e implementación de distintas tecnologías de trozado y empaque en una planta faenadora de pollos,*" tesina final de carrera, Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/10926

[2] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), "*Boletín Estadístico Mensual del Sector Avícola - 2024*," Lima, Perú, 2024. [Online]. Available: https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/5414945-boletin-estadistico-mensual-del-sector-avicola-2024

[3] C. Legarda y E. Alberto, "*Diseño de prototipo a escala de un sistema de recolección, conteo, clasificación y almacenamiento de datos de los huevos producidos en una granja avícola*," tesis de pregrado, Fundación Universitaria Autónoma de Nariño, Colombia, 2022. [Online]. Available: http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/1255

[4] L. Ospina Contreras y P. A. Zamora Zapata, "*Viabilidad para la migración de un sistema convencional a un sistema automatizado en una granja avícola del municipio de Pereira, Risarald*a," trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/d239048d-2927-445e-85a9-4e60ed278ee9/download

[5] J. S. García Contreras, "*El impacto de la automatización electrónica en la transformación de los procesos productivos industriales: una revisión teórica entre los años 2020-2025*," monografía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Colombia, 2026. [Online]. Available: https://repository.unad.edu.co/handle/10596/79329

[6] P. J. Larios Sánchez, "*Diseño e implementación de un proceso integrado de automatización industrial basado en autómatas programables, robótica y visión artificial*," trabajo fin de máster, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, 2024. [Online]. Available: https://repositorio.upct.es/entities/publication/7f320d3c-16e5-4530-8bfc-a4b5e5794ad8

[7] J. P. Cortés Cañola, "*Diseño y análisis estructural de una banda transportadora de pesos para una empresa de alimentos empleando Softwares de ingeniería*," tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2024. [Online]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27438/1/UPS-GT004976.pdf

[8] M. V. Penagos Córdoba, "*Prototipo de banda transportadora con sistema de medición de temperatura interna de arepas en el proceso de horneado en la empresa Arepas Manizalitas*," trabajo de grado, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia, 2024. [Online]. Available: https://repositorio.umariana.edu.co/items/f6915331-4998-4095-b1db-9160076cded5

[9] L. E. Guevara Carrión, "*Automatización de los costos de producción en gallinas ponedoras comerciales en la Granja Avícola San Alfonso*," tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2024. [Online]. Available: https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/23041