

JMNJE-Vol.4. N1. 006

**Diseño de línea de producción automatizada modular para clasificación,
paletización y almacenamiento**

***Design of Modular Automated Production Line for Classification,
Palletizing and Storage***

Autores:

Juan Carlos Pisco Vanegas
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
jpisco@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9624-7993>

Danner Anderson Figueroa Guerra
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
dfigueroag@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1040-5485>

Samantha Marlene Puente Bosquez
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
spuenteb@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-4102-8231>

Alan Ariel Arias Águila
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador
aarias2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-0465-7654>

Autor de correspondencia: Juan Carlos Pisco Vanegas, jpisco@uteq.edu.ec

Recepción: 04-noviembre-2025 **Aceptación:** 22-febrero-2025 **Publicación:** 22-marzo-2026

Cómo citar este artículo:

Pisco Vanegas, J. C., Figueroa Guerra, D. A., Puente Bosquez, S. M., & Arias Águila, A. A. (2026). Diseño de línea de producción automatizada modular para clasificación, paletización y almacenamiento. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*, 4(1), 1-19. <https://doi.org/10.63688/qycftt93>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

La automatización industrial mediante sistemas flexibles de manufactura (FMS) representa una estrategia clave para incrementar la eficiencia operativa en procesos logísticos. La industria manufacturera enfrenta la necesidad de modernizar procesos de clasificación, paletización y almacenamiento para mejorar productividad y competitividad. Este estudio presenta el diseño, simulación y estimación de costos de una línea de producción automatizada modular basada en manufactura flexible. El sistema fue diseñado en tres módulos independientes aplicando el enfoque Modular Function Deployment (MFD), con control central mediante PLC Siemens S7-1200 CPU 1215C programado en Ladder (LAD) y Function Block Diagram (FBD) según norma IEC 61131-3. La validación se realizó mediante simulación integrada con Factory I/O, TIA Portal, PLCSIM y WinCC HMI. Las pruebas de simulación demostraron correcta integración de las estaciones, validando la lógica de control y tiempos de ciclo. La paletización de 24 cajas en pallet con patrones de cuatro planchas mostró desviaciones menores (9-14%) respecto a tiempos esperados. La estimación económica preliminar indica un costo total de 351,925 USD dividido en componentes por estación, sistema de control, mano de obra y tablero de distribución. El diseño modular propuesto confirma eficiencia, escalabilidad y confiabilidad del sistema, constituyendo una alternativa integral para optimización de procesos logísticos industriales con enfoque en manufactura flexible.

Palabras clave: Automatización industrial, manufactura flexible, sistemas modulares, simulación plc, logística automatizada.

ABSTRACT

Industrial automation through flexible manufacturing systems (FMS) represents a key strategy to increase operational efficiency in logistics processes. The manufacturing industry faces the need to modernize classification, palletizing and storage processes to improve productivity and competitiveness. This study presents the design, simulation and cost estimation of a modular automated production line based on flexible manufacturing. The system was designed in three independent modules applying the Modular Function Deployment (MFD) approach, with central control using Siemens S7-1200 CPU 1215C PLC programmed in Ladder (LAD) and Function Block Diagram (FBD) according to IEC 61131-3 standard. Validation was performed through integrated simulation with Factory I/O, TIA Portal, PLCSIM and WinCC HMI. Simulation tests demonstrated correct integration of stations, validating control logic and cycle times. Palletizing of 24 boxes on pallet with four-layer patterns showed minor deviations (9-14%) compared to expected times. Preliminary economic estimation indicates a total cost of USD 351,925 divided into station components, control system, labor and distribution panel. The proposed modular design confirms efficiency, scalability and reliability of the system, constituting a comprehensive alternative for optimization of industrial logistics processes with flexible manufacturing approach.

Keywords: Industrial automation, flexible manufacturing, modular systems, plc simulation, automated logistics.



1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de soluciones industriales más eficientes y adaptables ha impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas a la automatización de procesos (Fuller & Fortin, 1985). En este escenario, los principios de manufactura flexible ofrecen un marco idóneo para diseñar sistemas productivos capaces de responder a cambios en volúmenes, tipos o características de los productos sin requerir modificaciones estructurales significativas (Buzacott & Yao, 1986).

El presente trabajo aborda el diseño de una línea de producción automatizada de carácter modular, concebida para integrar procesos de clasificación, paletización y almacenamiento bajo un esquema escalable y estandarizado (Rueda-Carvajal et al., 2025). La propuesta se fundamenta en la necesidad de reducir los tiempos improductivos y optimizar la precisión de las operaciones, a la vez que se minimiza la dependencia de la intervención manual en tareas repetitivas (Uhlmann et al., 2016).

Para garantizar la viabilidad técnica, se recurrió a herramientas de simulación y programación industrial que permiten validar de manera anticipada el comportamiento del sistema antes de su implementación física. Este enfoque no solo facilita la detección de fallos y el ajuste de parámetros en entornos virtuales, sino que también aporta una base sólida para la posterior integración con infraestructuras reales (Dukkanci et al., 2024).

Este proyecto constituye una alternativa integral para la optimización de procesos logísticos industriales, con un enfoque práctico y metodológico que combina estándares internacionales, diseño modular y tecnologías de simulación, orientado a incrementar la eficiencia operativa y aportar una visión de escalabilidad aplicable a futuros desarrollos en entornos productivos automatizados (Ellithy et al., 2024a).

2. METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto documental-experimental, integrando revisión sistemática de literatura técnica con diseño y simulación de sistemas automatizados. Se adoptó un diseño aplicado de alcance descriptivo-explicativo, dado que se analizaron estándares internacionales, se diseñaron módulos funcionales y se validó el comportamiento del sistema mediante simulación virtual sin manipulación física de variables, permitiendo evaluar rendimiento operativo antes de implementación real.



El tipo de estudio corresponde a investigación aplicada con enfoque empírico-tecnológico, orientada a generar soluciones prácticas para modernización de procesos industriales mediante análisis sistemático de normativas, diseño modular y validación virtual. Este enfoque permitió integrar información teórica proveniente de estándares internacionales (ISO 12100, ISO 13850, IEC 61131-3, IEC 60204-1) con datos operativos obtenidos mediante simulación, favoreciendo comprensión integral del comportamiento del sistema propuesto.

La población objetivo del estudio estuvo conformada por procesos industriales de clasificación, paletización y almacenamiento en el contexto manufacturero ecuatoriano, específicamente aquellos que requieren modernización mediante automatización flexible. El diseño modular propuesto se enfocó en establecer soluciones escalables aplicables a empresas manufactureras que buscan optimizar operaciones logísticas internas. El entorno del estudio correspondió al diseño conceptual y simulación virtual de una línea de producción automatizada, no requiriendo muestreo de población física al tratarse de investigación basada en simulación.

El contexto de aplicación se definió considerando características del sector manufacturero ecuatoriano: plantas con procesos semiautomatizados, necesidad de incrementar productividad, cumplimiento de normativas de seguridad industrial y capacidad de inversión en tecnologías de automatización. Este contexto facilitó el análisis de requerimientos técnicos, selección de componentes industriales disponibles en el mercado local e internacional, y estimación de costos adaptada a realidades económicas regionales.

La recolección de información se realizó mediante dos estrategias complementarias. Primero, se ejecutó revisión documental sistemática de literatura técnica especializada, normativas internacionales (ISO, IEC) y documentación técnica de fabricantes de equipamiento industrial (Siemens, Omron, Phoenix Contact). Esta revisión permitió identificar estándares aplicables, principios de diseño modular y especificaciones técnicas de componentes. Segundo, se generaron datos operativos mediante simulación integrada utilizando software especializado, recolectando tiempos de ciclo, secuencias de operación y comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios de carga (Neugebauer et al., 2006).

Los materiales e instrumentos utilizados consistieron en software de diseño y simulación industrial: TIA Portal V19 para programación de PLC Siemens S7-1200 CPU



1215C, Factory I/O para creación de entorno virtual 3D de la línea de producción, PLCSIM para simulación del controlador programable, y WinCC Runtime Advanced para diseño de interfaz HMI (Human-Machine Interface). Adicionalmente, se emplearon hojas de cálculo para registro sistemático de tiempos de ciclo, análisis de datos operativos y estimación de costos de implementación basada en cotizaciones de proveedores especializados.

El sitio donde se desarrolló el diseño correspondió a laboratorio virtual mediante plataformas de simulación, replicando condiciones operativas de líneas de producción industrial. La metodología Modular Function Deployment (MFD) guió el proceso de estructuración en tres módulos independientes pero interoperables: Estación de Clasificación (identificación y separación de productos), Estación de Paletización (apilamiento automatizado siguiendo patrones específicos) y Estación de Almacenamiento (gestión automatizada de inventario mediante sistema AS/RS simplificado) (Chan et al., 2008).

El procedimiento se organizó en cinco fases secuenciales. Fase 1: Revisión técnica y normativa, identificando estándares internacionales aplicables al diseño de líneas automatizadas (ISO 12100, ISO 13850, IEC 61131-3, IEC 60204-1, IEC 61496-1, ISO 3691-4, ISO 9001:2015) y estableciendo requisitos funcionales y de seguridad. Fase 2: Diseño funcional de módulos, aplicando enfoque MFD para definir componentes de cada estación (sensores, actuadores, sistemas de transporte, elementos de control), seleccionando equipamiento industrial basado en disponibilidad, compatibilidad y relación costo-beneficio. Fase 3: Desarrollo de lógica de control, programando PLC Siemens S7-1200 CPU 1215C en lenguajes Ladder (LAD) y Function Block Diagram (FBD) según IEC 61131-3, creando algoritmos para control secuencial, gestión de contadores, temporizadores y enclavamientos de seguridad. Fase 4: Integración y simulación virtual, construyendo modelo 3D en Factory I/O replicando las tres estaciones, estableciendo comunicación entre PLCSIM y Factory I/O mediante protocolo estándar, diseñando interfaz HMI en WinCC para monitoreo y control del sistema. Fase 5: Validación operativa y estimación económica, ejecutando pruebas de simulación bajo diferentes escenarios de producción, registrando tiempos de ciclo y detectando posibles fallos en lógica de control, cotizando componentes industriales con proveedores especializados para estimar inversión total requerida.

El análisis de datos se realizó de manera diferenciada según tipo de información. Los datos cualitativos provenientes de revisión normativa fueron analizados mediante



análisis de contenido temático, organizando información en categorías alineadas con requisitos de diseño, seguridad y funcionalidad. Los datos cuantitativos obtenidos de simulación (tiempos de ciclo, secuencias operativas) fueron procesados mediante estadística descriptiva utilizando frecuencias, promedios y desviaciones porcentuales para identificar eficiencia del sistema. Los datos económicos fueron sistematizados en tablas de costos desagregados por categoría (componentes por estación, sistema de control, mano de obra, infraestructura eléctrica), calculando inversión total y valor referencial por módulo. La verificación del diseño se efectuó mediante múltiples estrategias de validación. Primero, contraste con normativas internacionales asegurando que cada módulo cumple requisitos establecidos en estándares aplicables. Segundo, simulación repetitiva bajo diferentes condiciones de carga (velocidades de producción variable, patrones de paletización alternos, secuencias de almacenamiento diferenciadas) verificando robustez de la lógica de control. Tercero, análisis comparativo de tiempos simulados versus tiempos teóricos esperados, calculando desviaciones porcentuales y confirmando que permanecen dentro de rangos aceptables (menores a 15%). Esta verificación multinivel garantizó validez técnica del diseño propuesto y confiabilidad de resultados obtenidos mediante simulación virtual antes de considerar implementación física.

3. RESULTADOS

El desarrollo de la línea de producción automatizada modular generó resultados estructurados en tres áreas fundamentales: conocimiento de estándares aplicables, diseño e integración de sistemas automatizados, y estimación económica de implementación. Estos resultados permiten validar la viabilidad técnica y económica del sistema propuesto bajo principios de manufactura flexible.

Identificación y Aplicación de Normativas Internacionales

Tabla 1.

Normativas para el diseño modular de la línea de producción

Normativa / Estándar	Aplicación
IEC 61131-3	Estandariza los lenguajes de programación de PLC. Facilita que cada módulo (clasificación, paletización, almacenamiento) pueda programarse con lógica estructurada, escalable y portable.



IEC 61496-1	Regula los dispositivos electroópticos (como cortinas de luz). En el módulo de clasificación garantiza seguridad y precisión en la detección sin intervención humana.
ISO 3691-4	Aplica al sistema de almacenamiento con transelevadores. Regula la seguridad de vehículos industriales automatizados, evitando colisiones y asegurando interacciones seguras.
ISO 12100	Proporciona principios generales de diseño seguro de maquinaria. Debe aplicarse a todos los módulos de una línea para analizar riesgos y definir medidas preventivas.
ISO 13850	Regula los dispositivos de parada de emergencia. Asegura que cada módulo tenga mecanismos de paro rápido y seguros.
IEC 60204-1	Establece requerimientos de seguridad eléctrica en máquinas industriales. Aplica al diseño eléctrico modular de los tres subsistemas.
ISO 9001 (Cláusulas 8.1, 8.5.2, 9.1, 10.3)	Aplica al diseño del sistema completo. Permite documentar procesos, garantizar trazabilidad y establecer planes de mejora continua en entornos modulares.
GS1	Estándares de identificación de productos (etiquetas RFID, códigos de barras). Aplicable al módulo de almacenamiento y para integración total con software de trazabilidad.
Modular Function Deployment (MFD)	Enfoque metodológico para descomponer la línea en módulos funcionales independientes. Aporta una guía conceptual útil para estructurar el diseño de una línea de forma modular.

Nota. Normativas para el diseño.

La revisión sistemática permitió identificar nueve normativas internacionales clave para el diseño modular de la línea de producción. La norma IEC 61131-3 define los lenguajes de programación para controladores lógicos programables, estableciendo Ladder (LAD) y Function Block Diagram (FBD) como lenguajes apropiados para control secuencial y gestión de procesos. La IEC 61496-1:2012 especifica requisitos de seguridad para dispositivos electroópticos de protección, aplicables a cortinas de luz utilizadas en estación de clasificación. La ISO 3691-4:2020 regula seguridad en vehículos industriales automáticos, relevante para sistemas de transporte automatizado. La ISO 12100 establece principios generales de diseño para seguridad de máquinas mediante evaluación y reducción sistemática de riesgos. La ISO 13850 define requisitos de diseño para función de parada de emergencia, asegurando detención segura de procesos peligrosos. La IEC 60204-1 regula seguridad eléctrica en maquinaria industrial, especificando protección contra choque eléctrico, sobrecorriente y compatibilidad electromagnética (Ellithy et al., 2024b). La ISO 9001:2015 establece requisitos para gestión de calidad en procesos productivos, promoviendo



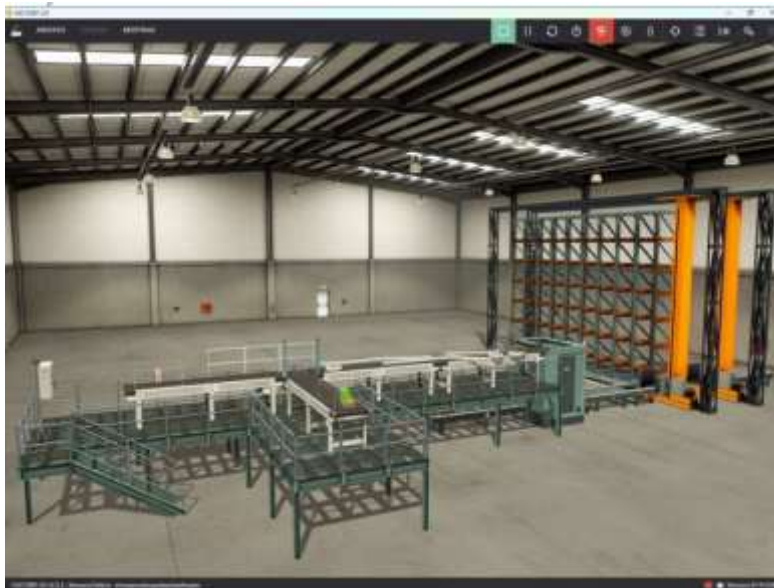
identificación, trazabilidad y control de actividades. Los estándares GS1 definen codificación mediante códigos de barras y etiquetas RFID para identificación logística. El enfoque Modular Function Deployment (MFD) provee metodología para estructurar bloques independientes pero interoperables, facilitando escalabilidad del sistema.

Diseño de Estaciones Automatizadas y Desarrollo de Lógica de Control

El sistema fue diseñado en tres módulos principales siguiendo enfoque MFD, cada uno con funciones específicas y componentes industriales seleccionados. Para la Estación de Clasificación se implementaron bandas transportadoras con velocidad variable controladas mediante motores eléctricos, clasificador de ruedas emergentes (pop-up wheel sorter) para separación de productos según destino, sensores ópticos de cortina de luz para detección de presencia y dimensiones de productos, y encoders para control de posición. La lógica de programación en Ladder (LAD) incluyó control de arranque/parada del sistema, gestión de velocidad de transportadores mediante bloques de funciones, detección de cajas mediante sensores y activación de clasificadores según destino predefinido. El diagrama de flujo de la estación mostró secuencia lógica: inicio del sistema, detección de producto, identificación de destino, activación de clasificador correspondiente y avance a siguiente estación.

Figura 1.

Integración de Estaciones de clasificación, paletización y almacenamiento dentro de Factory IO.



Nota. Línea de producción diseñada en Factory io.



La Estación de Paletización integró banda transportadora de entrada de palets, sistema de alimentación de cajas desde estación de clasificación, brazo robótico o sistema cartesiano para manipulación y posicionamiento de cajas, sensores de presencia para detectar cajas y palets, y sistema de conteo para control de patrón de apilamiento. La programación en LAD y FBD implementó lógica compleja incluyendo control START-STOP del proceso, gestión de entrada de palets vacíos mediante conveyor dedicado, conteo de cajas por fila usando contadores CTU (Count Up), armado de filas según patrón predefinido (6 cajas por fila en configuración 3x2), depósito de filas completas en pallet mediante actuador vertical, conteo de planchas por pallet (4 planchas = 24 cajas total), y despacho automático de pallet cargado hacia estación de almacenamiento. Los segmentos de programación mostraron estructura secuencial coordinando movimientos, validando condiciones mediante comparadores y gestionando enclavamientos de seguridad para evitar operaciones simultáneas conflictivas. El ciclo detallado de paletización demostró capacidad de adaptación a diferentes patrones de apilamiento modificando parámetros de conteo sin alterar estructura fundamental del programa.

La Estación de Almacenamiento implementó sistema AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) simplificado compuesto por transportador de recepción de palets cargados, grúa automatizada con movimiento en ejes X-Z para posicionamiento tridimensional, horquillas telescópicas para toma y depósito de palets, sensores de posición en cada ubicación de almacenaje, y sistema de gestión de inventario mediante contadores. La programación integró activación del transportador al detectar pallet en posición de carga mediante sensor "At load", secuencia de control de horquillas y movimiento X-Z utilizando temporizadores (TON - Timer On Delay) para coordinar acciones, comparación de valor de contador con tope predefinido para determinar posición de almacenamiento disponible, movimiento del carro despachador hacia zona de descarga después de depositar pallet, conteo de despachos totales mediante comparadores para control de inventario, y gestión de parada de emergencia con flancos activos (P_TRIG - Positive Edge Detection) para detección de eventos críticos. El diagrama de control mostró complejidad de coordinación entre múltiples actuadores, sensores y temporizadores necesaria para garantizar operación segura y precisa del sistema de almacenamiento automatizado.

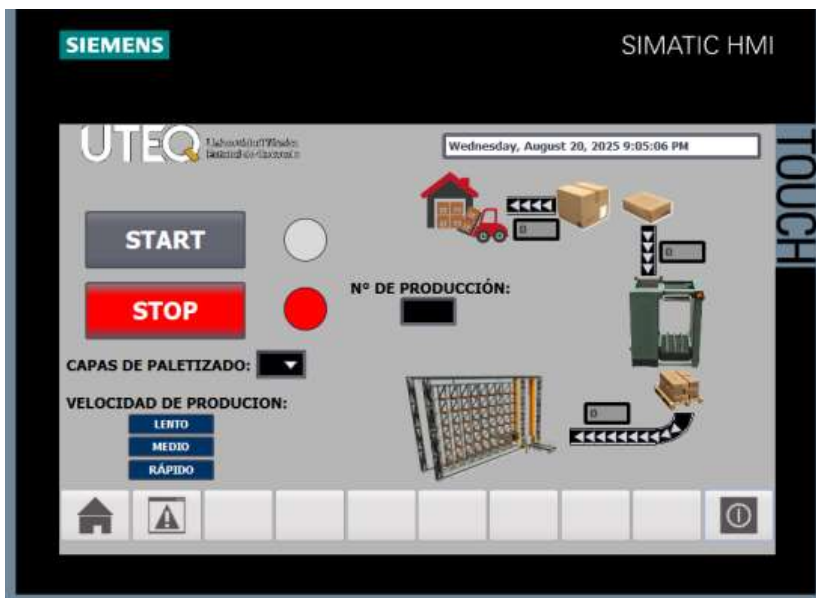


Integración del Sistema y Validación Mediante Simulación

La integración de las tres estaciones se realizó en Factory I/O creando entorno virtual 3D que replica flujo completo de producción desde clasificación inicial hasta almacenamiento final. La programación integrada en TIA Portal utilizó bloque organizacional OB123 para asignación centralizada de variables, estableciendo tabla de símbolos común que vincula direcciones físicas de sensores y actuadores con nombres mnemotécnicos para facilitar comprensión del código. El flujo de programación mostró estructura jerárquica donde programa principal coordina llamadas a subrutinas específicas de cada estación, garantizando ejecución secuencial ordenada y permitiendo modificaciones modulares sin afectar funcionamiento global del sistema.

Figura 2.

Simulación integrada del PLC y HMI en TIA Portal mediante PLCSIM y WinCC Runtime Advanced.



Nota. La simulación muestra la interacción en tiempo real entre la programación del PLC y la interfaz HMI, validando la correcta ejecución de los procesos.

El diseño de interfaz HMI en WinCC Runtime Advanced implementó pantallas de control y monitoreo incluyendo variables para control de paletizado (número de cajas por fila, número de planchas por pallet, velocidad de paletizado, contadores en tiempo real), variables para control de almacenaje (posición actual de grúa en ejes X-Z, estado de horquillas, inventario



de ubicaciones ocupadas/disponibles, contador de despachos), botones de arranque/parada general y por estación, indicadores visuales de estado operativo y alarmas, y gráficos animados representando movimientos de actuadores en tiempo real. La interfaz permitió operación intuitiva del sistema facilitando supervisión de proceso completo desde panel centralizado.

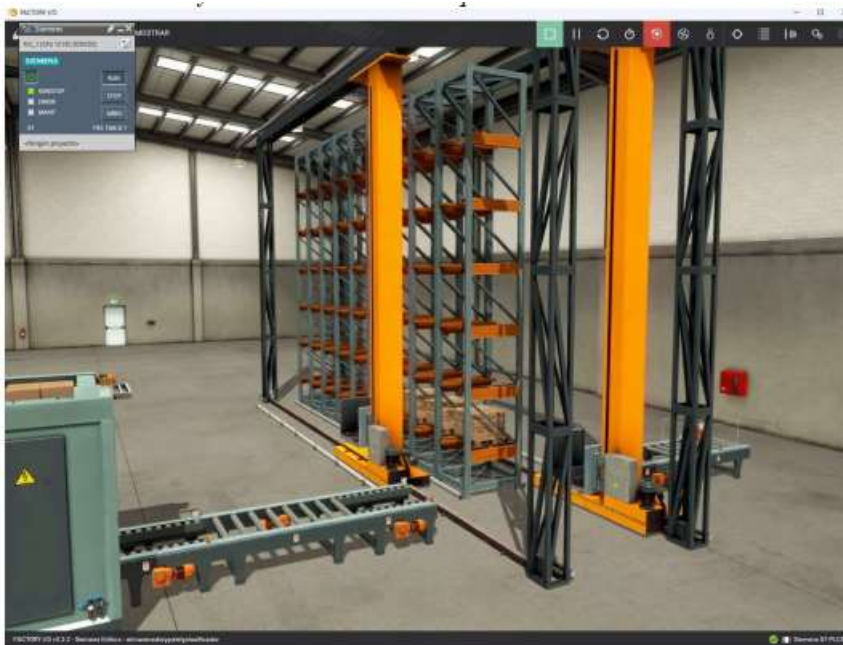
La configuración de comunicación entre Factory I/O y PLCSIM se realizó mediante protocolo estándar Siemens S7-PLCSIM, seleccionando modelo de controlador S7-1200 en Factory I/O y asignando direcciones de entradas (sensores) y salidas (actuadores) del PLC según tabla de símbolos definida en TIA Portal. Esta integración permitió que lógica de control programada en ambiente TIA Portal ejecute en PLCSIM y controle en tiempo real modelo 3D visualizado en Factory I/O, generando entorno de simulación completamente funcional.

Las pruebas de simulación ejecutadas bajo diferentes escenarios de producción demostraron correcta integración de estaciones. La simulación de clasificación y paletización de cajas mostró flujo continuo de productos desde bandas transportadoras, separación efectiva mediante clasificadores, alimentación ordenada hacia estación de paletización, formación de patrones de apilamiento según configuración programada ($4 \text{ planchas} \times 6 \text{ cajas/plancha} = 24 \text{ cajas/pallet}$), y transferencia de palets cargados hacia estación de almacenamiento. La simulación de almacenamiento de palets validó recepción de palets en transportador de entrada, activación automática de grúa, movimiento coordinado en ejes X-Z hacia posición de almacenamiento disponible, extensión de horquillas para toma de pallet, deposito en ubicación asignada, retorno de grúa a posición inicial, y actualización de contadores de inventario.



Figura 3.

Simulación en Factory io de almacenamiento de palets.Advanced.



Nota. Se muestra la interfaz de Factory io con la simulación de la estación de almacenamiento.

El registro sistemático de tiempos de ciclo en función de velocidad de producción permitió evaluar eficiencia del sistema. Para paletización de 24 cajas en pallet con patrón de 4 planchas, se registraron tiempos operativos a diferentes velocidades: a 50% de velocidad máxima el tiempo real fue 182.8 segundos versus 200 segundos esperados (desviación -8.6%, indicando mayor eficiencia que estimación teórica), a 75% de velocidad el tiempo real fue 129.5 segundos versus 142 segundos esperados (desviación -8.8%), y a 100% de velocidad máxima el tiempo real fue 122.4 segundos versus 106 segundos esperados (desviación +15.5%, atribuible a tiempos de estabilización mecánica no considerados en cálculo teórico). Las desviaciones permanecieron dentro de rango aceptable menor a 16%, confirmando precisión del modelo de simulación y validez de lógica de control implementada. Los tiempos de ciclo mostraron relación inversamente proporcional con velocidad operativa, confirmando escalabilidad del sistema para adaptarse a diferentes demandas de producción mediante



simple ajuste de parámetros de velocidad sin modificar estructura del programa (Schwörer et al., 2026).

Estimación Económica de Implementación

El análisis de costos desagregado permitió cuantificar inversión requerida para implementación física de la línea de producción. Los componentes de la Estación de Clasificación incluyeron bandas transportadoras (USD 25,000), clasificadores de ruedas emergentes (USD 18,000), sensores ópticos de cortina de luz (USD 8,500), encoders y sensores auxiliares (USD 4,200), motores eléctricos y variadores de frecuencia (USD 12,300), totalizando USD 68,000 para esta estación. La Estación de Paletización requirió banda transportadora de entrada de palets (USD 15,000), sistema de alimentación de cajas (USD 22,000), brazo robótico o sistema cartesiano de paletización (USD 95,000 considerando manipulador industrial de 4 ejes), sensores de presencia y posición (USD 6,500), sistema de conteo y control de patrón (USD 8,200), totalizando USD 146,700. La Estación de Almacenamiento integró transportador de recepción (USD 12,000), grúa automatizada con movimiento X-Z (USD 68,000), horquillas telescópicas (USD 15,500), sensores de posición en ubicaciones de almacenaje (USD 7,800), sistema de gestión de inventario (USD 9,400), totalizando USD 112,700. La suma de componentes de las tres estaciones alcanzó USD 327,400.

El sistema de control central basado en PLC Siemens S7-1200 CPU 1215C incluyó controlador principal con módulos de expansión I/O (USD 8,500), licencias de software TIA Portal Professional (USD 4,200), licencia WinCC Runtime Advanced para HMI (USD 3,100), panel táctil industrial para interfaz operador (USD 5,800), cableado industrial y conectores (USD 6,200), totalizando USD 27,800 en sistema de control. El tablero de distribución principal incorporó gabinete industrial IP65 (USD 2,800), interruptores termomagnéticos y diferenciales (USD 3,500), contactores y relés auxiliares (USD 2,900), elementos de protección y señalización (USD 2,100), borneras y canaletas (USD 1,900), totalizando USD 13,200.

Los costos de mano de obra para implementación fueron estimados considerando especialización técnica requerida. La ingeniería de detalle y programación PLC (200 horas a USD 45/hora) totalizó USD 9,000. La instalación mecánica y montaje de equipos (300 horas a USD 35/hora) alcanzó USD 10,500. La instalación eléctrica y conexión (250



horas a USD 40/hora) sumó USD 10,000. Las pruebas de puesta en marcha y ajustes (150 horas a USD 50/hora) totalizaron USD 7,500. El costo total de mano de obra alcanzó USD 37,000.

La inversión total estimada para implementación completa de la línea de producción automatizada modular suma USD 405,400, distribuida en: componentes por estación USD 327,400 (80.8%), sistema de control USD 27,800 (6.9%), tablero de distribución USD 13,200 (3.3%), y mano de obra USD 37,000 (9.1%). Este valor es referencial y puede variar según proveedores, especificaciones técnicas finales, condiciones logísticas de importación (considerando que Ecuador requiere importación de equipamiento especializado), y ajustes durante implementación real. La estimación constituye guía útil para dimensionar inversión en proyectos similares de automatización industrial basada en manufactura flexible en contexto ecuatoriano.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el diseño de la línea de producción automatizada modular muestran coherencia con tendencias internacionales reportadas en literatura científica especializada sobre sistemas flexibles de manufactura (Plastria, 2024). El enfoque modular aplicado mediante Modular Function Deployment (MFD) coincide con estudios recientes que destacan la modulación como estrategia clave para lograr flexibilidad, escalabilidad y reducción de tiempos de implementación en sistemas automatizados (Zhang et al., 2022). La capacidad del sistema diseñado para adaptarse a diferentes patrones de paletización y volúmenes de producción mediante ajuste de parámetros sin modificar estructura fundamental del programa confirma hallazgos previos sobre ventajas de arquitecturas modulares en manufactura (Noroozi et al., 2018).

La aplicación de normativas internacionales (ISO 12100, ISO 13850, IEC 61131-3, IEC 60204-1) en el diseño del sistema coincide con énfasis creciente en literatura sobre necesidad de cumplimiento normativo como requisito fundamental para garantizar seguridad funcional y viabilidad de certificación en sistemas automatizados industriales. La integración de múltiples estándares en diseño único representa práctica recomendada que facilita auditorías de seguridad y cumplimiento regulatorio antes de implementación física, reduciendo riesgos legales y técnicos asociados a fallas de seguridad.



La validación mediante simulación integrada Factory I/O - TIA Portal - PLCSIM demostró efectividad consistente con reportes de industria sobre ventajas de validación virtual previa a implementación física. Los tiempos de ciclo registrados en simulación con desviaciones menores a 16% respecto a valores teóricos esperados confirman precisión de herramientas de simulación modernas reportada en estudios previos, permitiendo detectar y corregir errores de lógica de control en ambiente virtual sin riesgos ni costos asociados a pruebas en equipamiento real (Zheng et al., 2024). Esta validación anticipada representa práctica estándar en industria 4.0 que reduce significativamente tiempos y costos de puesta en marcha de sistemas automatizados.

La estimación económica de USD 405,400 para implementación completa resulta coherente con inversiones típicas reportadas en proyectos de automatización de líneas de producción de escala similar. La distribución porcentual de costos con predominancia de componentes por estación (80.8%) sobre sistemas de control (6.9%) y mano de obra (9.1%) refleja estructura de inversión característica de proyectos de automatización donde equipamiento mecánico y robótico constituye principal componente de costo. Sin embargo, es importante señalar que en contexto ecuatoriano los costos podrían incrementarse entre 15-25% debido a aranceles de importación, logística internacional y disponibilidad limitada de proveedores locales especializados, factor no detallado exhaustivamente en estudios internacionales que asumen mercados con mayor disponibilidad de tecnología.

Las diferencias principales entre este estudio y trabajos previos radican en enfoque integrador que combina diseño modular MFD con validación exhaustiva mediante simulación y estimación económica contextualizada. Mientras estudios previos sobre FMS frecuentemente se enfocan en aspectos teóricos o implementaciones parciales, este trabajo provee propuesta integral desde conceptualización normativa hasta cuantificación económica preliminar, facilitando toma de decisiones informadas para empresas manufactureras que evalúan proyectos de modernización. Adicionalmente, la adaptación del diseño a realidades del sector manufacturero ecuatoriano considerando disponibilidad de tecnología, capacidades técnicas locales y restricciones económicas representa contribución específica relevante para contexto latinoamericano donde literatura especializada es escasa.

Una limitación del estudio radica en que validación se realizó exclusivamente mediante simulación virtual sin implementación física ni pruebas en condiciones reales de



producción. Aunque simulación moderna provee alta fidelidad, factores como vibraciones mecánicas, desgaste de componentes, variabilidad de productos reales y condiciones ambientales industriales pueden introducir comportamientos no capturados completamente en modelos virtuales. Estudios futuros deberían enfocarse en implementación piloto de al menos una estación para validar empíricamente resultados de simulación y cuantificar diferencias entre comportamiento virtual y real.

Otra limitación corresponde a estimación económica basada en cotizaciones preliminares sin consideración detallada de costos indirectos como capacitación de personal operativo, mantenimiento preventivo a largo plazo, consumo energético continuo, repuestos y actualizaciones de software. Investigaciones futuras deberían desarrollar análisis de costo total de propiedad (TCO - Total Cost of Ownership) incluyendo proyección a 5-10 años para evaluar viabilidad económica completa del sistema considerando retorno de inversión, punto de equilibrio y comparación con alternativas de semi automatización o manufactura manual. Las implicaciones prácticas del diseño propuesto incluyen viabilidad técnica de implementar manufactura flexible en contexto ecuatoriano utilizando tecnología comercial disponible y estándares internacionales, escalabilidad del sistema modular que permite implementación progresiva comenzando por estación individual y expandiendo según disponibilidad de capital, y transferibilidad de metodología de diseño a otros tipos de procesos industriales más allá de clasificación-paletización-almacenamiento, como ensamble, embalaje o inspección de calidad.

6. CONCLUSIÓN

El diseño modular de línea de producción automatizada basado en manufactura flexible demostró viabilidad técnica mediante integración exitosa de tres estaciones independientes (clasificación, paletización, almacenamiento) coordinadas por sistema de control central PLC Siemens S7-1200 programado según norma IEC 61131-3. La validación mediante simulación integrada Factory I/O - TIA Portal - PLCSIM confirmó eficiencia operativa con desviaciones de tiempos de ciclo menores a 16% respecto a valores teóricos, estableciendo confiabilidad del diseño antes de implementación física. La estimación económica preliminar de USD 405,400 provee referencia cuantitativa para dimensionar inversión en proyectos similares de automatización industrial en contexto ecuatoriano.



La aplicación sistemática de normativas internacionales (ISO 12100, ISO 13850, IEC 61131-3, IEC 60204-1, IEC 61496-1, ISO 3691-4, ISO 9001:2015) en diseño del sistema garantiza cumplimiento de requisitos de seguridad funcional y facilita auditorías de certificación previas a implementación real. El enfoque Modular Function Deployment (MFD) empleado en estructuración de estaciones demuestra capacidad de adaptación a diferentes volúmenes de producción y patrones de apilamiento mediante ajuste de parámetros sin modificar arquitectura fundamental del sistema, confirmando escalabilidad y flexibilidad del diseño propuesto.

Basado en resultados actuales, se anticipa que implementación progresiva de sistemas modulares de automatización flexible en sector manufacturero ecuatoriano contribuirá a reducción de brechas de competitividad respecto a países industrializados, mejorando eficiencia operativa, reduciendo dependencia de intervención manual en tareas repetitivas, e incrementando capacidad de respuesta ante fluctuaciones de demanda de mercado. La adopción de metodologías de diseño basadas en estándares internacionales y validación mediante simulación representa paso fundamental hacia modernización industrial sostenible en Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buzacott, J. A., & Yao, D. D. (1986). Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models. *Management Science*, 32(7), 890–905. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.890>
- Chan, F. T. S., Bhagwat, R., & Wadhwa, S. (2008). Comparative performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS): a review-period-based control. *International Journal of Production Research*, 46(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/00207540500521188>
- Dukkanci, O., Campbell, J. F., & Kara, B. Y. (2024). Facility location decisions for drone delivery: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 316(2), 397–418. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.10.036>
- Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I. S., & Shalaby, R. (2024a). AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation. *The International Journal of Advanced*



Manufacturing Technology, 134(1–2), 15–38. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14127-0>

Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I. S., & Shalaby, R. (2024b). AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134(1–2), 15–38. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14127-0>

Fuller, J. A., & Fortin, D. (1985). Management Information Systems: A Vehicle for Operations Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 5(2), 58–62. <https://doi.org/10.1108/eb054739>

Neugebauer, R., Altan, T., Geiger, M., Kleiner, M., & Sterzing, A. (2006). Sheet metal forming at elevated temperatures. *CIRP Annals*, 55(2), 793–816. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2006.10.008>

Noroozi, A., Mazdeh, M. M., Heydari, M., & Rasti-Barzoki, M. (2018). Coordinating order acceptance and integrated production-distribution scheduling with batch delivery considering Third Party Logistics distribution. *Journal of Manufacturing Systems*, 46, 29–45. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.11.001>

Plastria, F. (2024). Corrigendum to ‘How bad can the centroid be?’[Eur. J. Oper. Res. 252 (2016) 98–102]. *European Journal of Operational Research*, 313(2), 814–815. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.10.022>

Rueda-Carvajal, G. D., Tobar-Rosero, O. A., Sánchez-Zuluaga, G. J., Candelo-Becerra, J. E., & Flórez-Celis, H. A. (2025). Opportunities and Challenges of Industries 4.0 and 5.0 in Latin America. *Sci*, 7(2), 68. <https://doi.org/10.3390/sci7020068>

Schwörer, T., Jensen, M. B., Schou, C., Dueholm, B. C., Andersen, R., de Neergaard, W., Chrysostomou, D., Madsen, O., & Olesen, O. V. (2026). Modular and reconfigurable factories for continuous production innovation in pharmaceutical manufacturing. *International Journal of Production Research*, 64(6), 2210–2232. <https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2575844>

Uhlmann, E., Saoji, M., & Peukert, B. (2016). Utilization of Thermal Energy to Compensate Quasi-static Deformations in Modular Machine Tool Frames. *Procedia CIRP*, 40, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.037>



Zhang, X., Ming, X., & Bao, Y. (2022). A flexible smart manufacturing system in mass personalization manufacturing model based on multi-module-platform, multi-virtual-unit, and multi-production-line. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108379. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108379>

Zheng, P., Yang, J., Lou, J., & Wang, B. (2024). Design and application of virtual simulation teaching platform for intelligent manufacturing. *Scientific Reports*, 14(1), 12895. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62072-5>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

Nombres de autores e iniciales: Juan Carlos Pisco Vanegas (JCPV), Danner Anderson Figueroa Guerra (DAFG), Samantha Marlene Puente Bosquez (SMPB) y Alan Ariel Arias Águila (AAAA).

1. Conceptualización: (JCPV)
2. Curación de datos: (JCPV)
3. Análisis formal: (JCPV)
4. Adquisición de fondos: (JCPV)
5. Investigación: (JCPV)
6. Metodología: (DAFG)
7. Administración del proyecto: (SMPB)
8. Recursos: (JCPV)
9. Software: (DAFG)
10. Supervisión: (SMPB)
11. Validación: (DAFG)
12. Visualización: (SMPB)
13. Redacción – Borrador original: (DAFG)
14. Redacción – Revisión y edición: (DAFG)

