



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

<https://dx.doi.org/10.14482/inde.44.01.632.655>

# Integración del IoT a un sistema Kanban para el ensamblaje de elementos plásticos

*IoT integration into a Kanban system  
for the assembly of plastic elements*

ALEX MAURICIO OVALLE - CASTIBLANCO \*

CARLOS ALBERTO VARGAS SÁNCHEZ \*\*

JUAN ESTEBAN BURITICÁ RODRÍGUEZ \*\*\*

\* Profesor asociado, Universidad Autónoma de Manizales, Departamento Mecánica y Producción, Manizales (Colombia). Doctor en Ingeniería, Industria y Organizaciones. Orcid-ID: <https://orcid.org/0000-0002-1634-9456>. [movalle@autonoma.edu.co](mailto:movalle@autonoma.edu.co)

\*\* Profesor asistente, Universidad Autónoma de Manizales, Departamento Mecánica y Producción, Manizales (Colombia). Magíster en Ingeniería. Orcid-ID: <https://orcid.org/0000-0002-6663-0975>. [cvargas@autonoma.edu.co](mailto:cvargas@autonoma.edu.co)

\*\*\* Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma de Manizales, Departamento Mecánica y Producción, Manizales (Colombia). Orcid-ID: <https://orcid.org/0009-0001-1907-1090>. [juane.buriticar@autonoma.edu.co](mailto:juane.buriticar@autonoma.edu.co)

**Correspondencia:** Alex Mauricio Ovalle Castiblanco. Universidad Autónoma de Manizales. Antigua estación del ferrocarril. Manizales (Colombia). Teléfono: 578727211.



## Resumen

Este artículo presenta el diseño e implementación de un sistema Kanban digital, basado en tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), aplicado a un proceso simulado de ensamblaje de piezas plásticas. El objetivo principal fue optimizar la eficiencia operativa, reducir tiempos improductivos y mejorar la gestión del inventario en tiempo real. Para ello, se desarrolló una comparación entre el sistema tradicional de tarjetas Kanban y una versión digital basada en códigos de barras y escaneo mediante dispositivos móviles. A través del software FlexSim se modelaron ambos procesos, lo cual permitió la evaluación cuantitativa de indicadores como tiempos de ciclo, ociosidad y unidades producidas por turno. Los resultados muestran una reducción del 21.8 % en tiempos improductivos y un incremento del 23.4 % en la producción total, lo cual evidencia el potencial de esta integración tecnológica. Finalmente, se discuten las limitaciones del enfoque propuesto y se sugieren líneas futuras de validación en contextos industriales reales.

**Palabras clave:** Kanban, internet de las cosas, códigos de barra, simulación de procesos industriales, industria 4.0.

## Abstract

This article presents the design and implementation of a digital Kanban system based on Internet of Things (IoT) technologies, applied to a simulated plastic parts assembly process. The main objective was to optimize operational efficiency, reduce idle times, and improve real-time inventory management. To achieve this, a comparison was made between the traditional Kanban card system and a digital version based on barcodes and mobile scanning devices. Both processes were modeled using FlexSim software, allowing for a quantitative evaluation of indicators such as cycle times, idle time, and units produced per shift. The results show a 21.8% reduction in idle times and a 23.4% increase in total production, demonstrating the potential of this technological integration. Finally, the limitations of the proposed approach are discussed, and future directions for validation in real industrial contexts are suggested.

**Keywords:** Kanban, Internet of Things, barcodes, industrial process simulation, Industry 4.0.

## INTRODUCCIÓN

En un mundo interconectado y digital, la globalización y la cultura de la tecnología ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la administración y supervisión de los procesos de manufactura. Hoy en día, gestionar la producción de manera eficiente y mantener un control preciso de inventarios son aspectos esenciales para cualquier sector industrial. Según las mediciones globales de competitividad realizadas este año por el Institute for Management Development (IMD), Colombia ocupa el puesto 57 entre 64 economías estudiadas [1]. Este resultado refleja las problemáticas a las cuales se enfrenta el sector industrial, las cuales limitan su crecimiento e impiden mantener al día la demanda.

A nivel mundial, algunas de las problemáticas con las que más se enfrentan las empresas son la incurrencia en sobrestocks de los productos de baja rotación y el desabastecimiento en productos que tienen mayor índice de rotación [2]. Según [3], [4], una gestión de inventario efectiva en la organización ayuda a mitigar la producción de baja calidad y la pérdida de ventas, factores importantes en la eficacia de la competitividad y funcionan de la mejor manera estratégica para el logro de la competitividad y eficiencia operativa [5]. Como solución a la busca de un aumento en la productividad surgen metodologías y herramientas innovadoras que permiten mejoras dentro de una organización para poder competir en el mercado, una de estas metodologías es el sistema Kanban [6], [7].

La metodología Kanban ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar estos procesos, al hacer posible una visualización clara y una administración fluida del trabajo [8]. Esta metodología tuvo su origen en Japón a mediados del siglo XX. Desde ese entonces ha mostrado múltiples beneficios para las empresas que la utilizan. Hoy en día, con la aparición de nuevas tecnologías, el Kanban en su forma tradicional se puede fusionar o adaptar para funcionar de la mano con la industria 4.0 [9].

La convergencia entre metodologías de gestión visual como Kanban y tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) ha sido reconocida como un eje fundamental dentro de la Industria 4.0. La incorporación de sensores, dispositivos de escaneo y conectividad en tiempo real permite convertir sistemas visuales tradicionales en plataformas digitales inteligentes que aumentan la trazabilidad, reducen errores humanos y mejoran la toma de decisiones en tiempo real [10], [11]. Otra herramienta prometedora para la optimización de procesos es la simulación. Como lo expresa en su investigación [12], la simulación nos permite generar un gemelo digital del proceso por evaluar en el que podamos modificar a gusto las variables y parámetros del modelo e identificar las necesidades del modelo real [13]. Para poder entender la complejidad de un modelo físico, la creación de una réplica virtual nos

permite experimentar e identificar las variables claves que se deben tener en cuenta y cuáles son los parámetros que se deben implementar en el sistema real [14], [15].

La combinación de Kanban y tecnología IoT promete beneficios notables, como la reducción de costos de almacenamiento, la disminución de desperdicios y la mejora en los tiempos de entrega. Al etiquetar cada componente con su respectivo código de barras, estos pueden solicitarse de forma automática mediante la lectura de sus códigos, logrando un proceso productivo más ágil [16], [17]. Estudios recientes han documentado la evolución hacia esquemas de e-Kanban o Kanban digital, en los que se sustituyen las tarjetas físicas por mecanismos automáticos de reabastecimiento basados en información capturada a través de IoT, como sensores de nivel, RFID o códigos de barras [9], [16]. Estos sistemas no solo eliminan tiempos muertos por manejo manual, sino que también integran el control de inventario y los flujos de producción en plataformas centralizadas, optimizando la logística interna [17].

La captura de datos en tiempo real permite evaluar el consumo de materiales y el estado de los productos en proceso, facilitando una toma de decisiones informada y rápida ante variaciones en la demanda o cambios en las condiciones de producción [18]. Añadiendo el uso de la simulación con Flexsim se puede predecir el comportamiento del sistema durante largos intervalos de tiempo, logrando identificar posibles cuellos de botella o puntos críticos del sistema [19], [20]. Sin embargo, esta integración aún enfrenta desafíos en contextos reales, tales como la infraestructura tecnológica requerida, la interoperabilidad entre sistemas y la resistencia al cambio cultural dentro de las organizaciones. Por ello, estudios de caso como el que aquí se presenta son esenciales para validar de forma controlada los beneficios potenciales, las restricciones y los indicadores de desempeño claves asociados a su adopción.

En esta investigación aplicada se presenta una simulación en dos entornos: el ensamblaje de elementos plásticos utilizando la metodología Kanban y el ensamblaje sin tarjetas Kanban, reemplazadas por códigos de barras y lectores correspondientes. Posteriormente, se analizarán los resultados y se compararán ambos enfoques. El documento abordará los fundamentos teóricos de Kanban, detallará la metodología utilizada en la simulación de producción de elementos plásticos, describirá la configuración y operación del sistema propuesto con Kanban y elementos IoT, y presentará los resultados esperados, junto con las conclusiones y recomendaciones derivadas de la implementación de este sistema en el entorno simulado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación cuantitativa de tipo experimental pretende comparar dos enfoques de producción en un proceso simulado de fabricación de elementos plásticos. Se

comparan el sistema tradicional de tarjetas Kanban y un sistema de control Kanban basado en códigos de barra y dispositivos de escaneo. Según la literatura, la metodología Kanban funciona correctamente en entornos de manufactura continuos y repetitivos, características de los procesos de ensamblaje de producción. En este artículo se aplica la metodología Kanban en el proceso de ensamblaje de elementos plásticos teniendo en cuenta pedidos constantes de motos (M), carro (C) y carro tipo fórmula 1 (F1) en cantidades de 3M, 2C y 2F1. El ensamblaje de los productos sigue la distribución que considera los tiempos de procesamiento más cortos en cada producto.

El proceso metodológico desarrollado en este proyecto se estructura en tres fases secuenciales. En la primera, se lleva a cabo la simulación de las condiciones operativas empleando un sistema Kanban tradicional basado en tarjetas físicas, con el propósito de establecer una línea base del flujo de materiales e información. En la segunda fase, se procede a la digitalización del sistema mediante la generación de códigos de barras asociados a cada tarjeta, lo que permite la captura y el registro automatizado de los datos a través de tecnologías de escaneo. Finalmente, la tercera fase comprende la modelación y simulación comparativa de ambos enfoques en el software Flexsim, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema durante un turno de producción e identificar las variaciones en el desempeño operativo derivadas de la transición hacia un entorno digitalizado.

Para realizar el análisis de la metodología Kanban se diseñaron las condiciones de funcionamiento del proceso de ensamblaje de elementos plásticos bajo el sistema convencional de control Kanban, dentro del cual se describen los siguientes pasos:

1. Determinar el tiempo de ciclo del proceso (C) ecuación (1)

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producción requerida diaria (unidades)}} \quad (1)$$

2. Determinación del número teórico de estaciones de trabajo (N) ecuación (2)

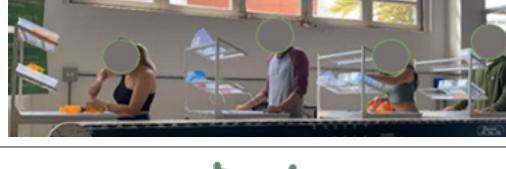
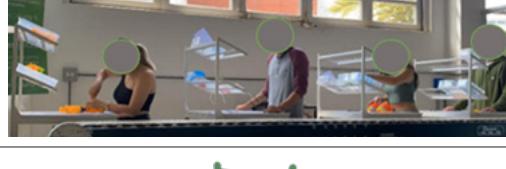
$$N = \frac{\text{Suma de los tiempos de las tareas (T)}}{\text{Tiempo de ciclo (C)}} \quad (2)$$

3. Eficiencia (E) ecuación (3)

$$E = \frac{T}{N \cdot C} \quad (3)$$

4. Identificación de las condiciones del proceso: en la tabla 1 se determinan los componentes del proceso de ensamblaje de los elementos plásticos, describiendo los productos, las tarjetas y la distribución de las estaciones.

**TABLA 1.** COMPONENTES DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE SIMULADO

Tarjeta Kanban de producción	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">KANBAN DE PRODUCCIÓN</th> </tr> <tr> <th>Origen</th><th></th></tr> <tr> <th>Destino</th><th></th></tr> <tr> <th rowspan="2">Referencia ensamblaje</th><th>CÓDIGO</th></tr> <tr> <th>CANTIDAD</th></tr> <tr> <th>Contenedor</th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	KANBAN DE PRODUCCIÓN		Origen		Destino		Referencia ensamblaje	CÓDIGO	CANTIDAD	Contenedor																								
KANBAN DE PRODUCCIÓN																																			
Origen																																			
Destino																																			
Referencia ensamblaje	CÓDIGO																																		
	CANTIDAD																																		
Contenedor																																			
Tarjeta Kanban de retiro	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">KANBAN DE RETIRO E1</th> </tr> <tr> <th>Origen</th><th></th></tr> <tr> <th>Destino</th><th></th></tr> <tr> <th>Referencia ensamblaje</th><th></th></tr> <tr> <th>Código</th><th>Cantidad</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CHNC</td><td></td></tr> <tr> <td>CANC</td><td></td></tr> <tr> <td>ASAC</td><td></td></tr> <tr> <td>TOZ</td><td></td></tr> <tr> <td>Contenedor</td><td></td></tr> </tbody> </table> 	KANBAN DE RETIRO E1		Origen		Destino		Referencia ensamblaje		Código	Cantidad	CHNC		CANC		ASAC		TOZ		Contenedor															
KANBAN DE RETIRO E1																																			
Origen																																			
Destino																																			
Referencia ensamblaje																																			
Código	Cantidad																																		
CHNC																																			
CANC																																			
ASAC																																			
TOZ																																			
Contenedor																																			
Distribución estaciones de trabajo																																			
Productos a ensamblar																																			
Codificación de piezas	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CARDO [C]</th> </tr> <tr> <th>PEC1</th> <th>PEC2</th> <th>PEC3</th> <th>PTC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Código</td> <td>Código</td> <td>Código</td> <td>Código</td> </tr> <tr> <td>CHNC</td> <td>CHNC</td> <td>CHNC</td> <td>CHNC</td> </tr> <tr> <td>CANC</td> <td>CANC</td> <td>CANC</td> <td>CANC</td> </tr> <tr> <td>ASAC</td> <td>ASAC</td> <td>ASAC</td> <td>ASAC</td> </tr> <tr> <td>TOZ</td> <td>TOZ</td> <td>TOZ</td> <td>TOZ</td> </tr> <tr> <td>NOTA: La estación 2 le pide a la estación 1 que produzca PEC1</td> <td>NOTA: La estación 3 le pide a la estación 2 que produzca PEC2</td> <td>NOTA: La estación 4 le pide a la estación 3 que produzca PEC3</td> <td>NOTA: La estación 4 le pide a la estación 3 que produzca PTC (producto terminado)</td> </tr> </tbody> </table>	CARDO [C]		PEC1	PEC2	PEC3	PTC					Código	Código	Código	Código	CHNC	CHNC	CHNC	CHNC	CANC	CANC	CANC	CANC	ASAC	ASAC	ASAC	ASAC	TOZ	TOZ	TOZ	TOZ	NOTA: La estación 2 le pide a la estación 1 que produzca PEC1	NOTA: La estación 3 le pide a la estación 2 que produzca PEC2	NOTA: La estación 4 le pide a la estación 3 que produzca PEC3	NOTA: La estación 4 le pide a la estación 3 que produzca PTC (producto terminado)
CARDO [C]																																			
PEC1	PEC2	PEC3	PTC																																
																																			
Código	Código	Código	Código																																
CHNC	CHNC	CHNC	CHNC																																
CANC	CANC	CANC	CANC																																
ASAC	ASAC	ASAC	ASAC																																
TOZ	TOZ	TOZ	TOZ																																
NOTA: La estación 2 le pide a la estación 1 que produzca PEC1	NOTA: La estación 3 le pide a la estación 2 que produzca PEC2	NOTA: La estación 4 le pide a la estación 3 que produzca PEC3	NOTA: La estación 4 le pide a la estación 3 que produzca PTC (producto terminado)																																
Digitalización de la información contenida en las tarjetas Kanban	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>CHNC</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CANC</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ASAC</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOZ</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CHNC	1			CANC	1			ASAC	1			TOZ	1																				
CHNC	1																																		
CANC	1																																		
ASAC	1																																		
TOZ	1																																		

**Fuente:** elaboración propia.

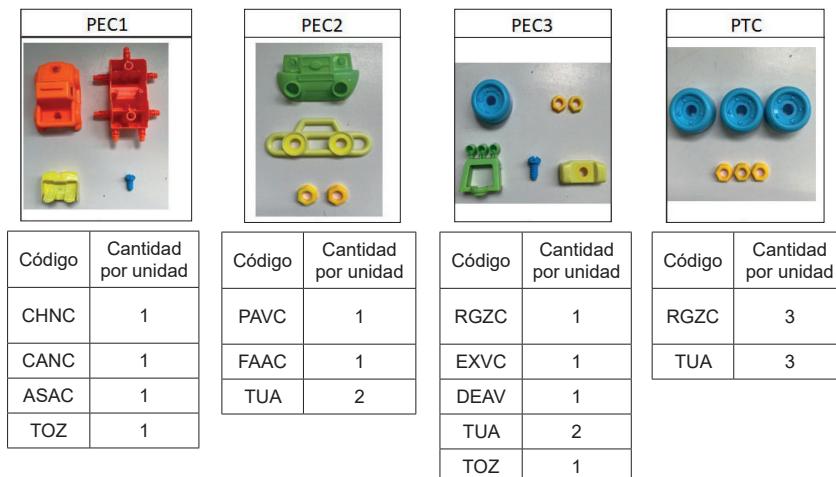
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ecuaciones anteriormente descritas arrojan información sobre el tiempo de ciclo requerido (C) de 80.35 segundos por unidad con un turno de trabajo de 7.5 horas y una producción esperada de 336 unidades (ver ecuación 1); el número teórico mínimo de estaciones (N) determina 4 estaciones de trabajo (ver ecuación 2) y, finalmente, se espera una eficiencia del sistema (E) del 88.1 % (ver ecuación 3).

### Simulación del proceso de ensamblaje con el sistema de tarjetas tradicional

El proceso de ensamblaje se diseña con flujo productivo basado en el sistema “pull”, el cual comienza en el momento que el cliente realiza el pedido y se entrega de forma inmediata la cantidad requerida. El sistema productivo cuenta con 4 estaciones de trabajo, las cuales se comunican mediante tarjetas Kanban (tarjeta de retiro y tarjeta de fabricación) para solicitar piezas individuales del almacén y preeensambles de las demás estaciones, los cuales son transferidas a través de una banda transportadora con el fin de asegurar una producción continua con pocos niveles de inventario.

La figura 1 (a, b y c) representa qué elementos conforman cada una de las estaciones con su respectiva codificación; la figura 1(a) corresponde a los elementos del carro; la figura 1(b) corresponde a los elementos del carro de fórmula 1 y, finalmente, la figura 1(c) da cuenta de la distribución de piezas para el ensamblaje en cada estación de la moto.



**PEC1**



Código	Cantidad por unidad
CHNC	1
CANC	1
ASAC	1
TOZ	1

**PEC2**



Código	Cantidad por unidad
PAVC	1
FAAC	1
TUA	2

**PEC3**



Código	Cantidad por unidad
RGZC	1
EXVC	1
DEAV	1
TUA	2
TOZ	1

**PTC**



Código	Cantidad por unidad
RGZC	3
TUA	3

**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 1(A).** ELEMENTOS DEL CARRO

PEF11		PEF12		PEF13		PTF1	
Código	Cantidad por unidad						
CHAF1	1	SARF1	1	ATVF1	1	RGAF1	2
CAAF1	1	BARF1	1	SARF1	1	RPAF1	2
ADVF1	1	TOA	2	TUV	2	TUV	4

Fuente: elaboración propia.

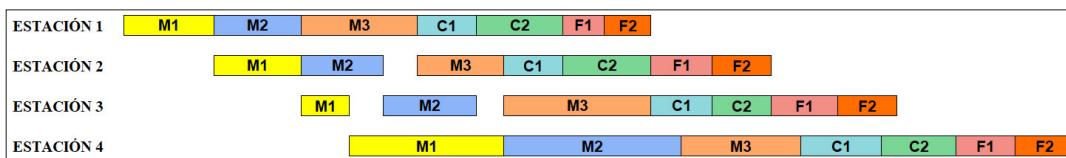
FIGURA 1(B). ELEMENTOS DEL CARRO DE FÓRMULA 1

PEM1		PEM2		PEM3		PTM	
Código	Cantidad por unidad						
CHDAM	1	CAIZM	1	CADZM	1	TOA	5
CHIAM	1	SIRM	1	CUVM	1	TUR	3
TRZM	4	MAVM	1	TOA	3	TOA	1
EJVM	2	TOA	1				
TOA	1						

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 1(c). ELEMENTOS DE LA MOTO

La figura 2 muestra la secuencia de producción que se realizó, con su respectivo diagrama de Gantt; esta secuencia es aquella cuyo tiempo total o “makespan” (el intervalo de tiempo entre el inicio del procesamiento del primer trabajo (tiempo de referencia 0) y el tiempo de finalización del procesamiento del último trabajo) es el mínimo. Se observa una programación de productos, comenzando con el tiempo de procesamiento más largo en la unidad del producto moto (M); se puede apreciar que la programación del ensamblaje en esta disposición (primero las motos (M), después los carros (C) y, por último, los carros de fórmula 1(F1) genera mayor cantidad de tiempos improductivos o tiempos muertos en las estaciones de trabajo, lo cual produce un cuello de botella en la última estación.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. DIAGRAMA DE GANTT SECUENCIA DE PRODUCCIÓN

La tabla 2 presenta los tiempos promedio de ensamblaje por estación correspondientes al producto analizado. Los resultados evidencian un desequilibrio significativo en la distribución de las cargas de trabajo entre las distintas estaciones, con especial énfasis en el caso del producto Moto. Esta condición operacional pone de manifiesto la necesidad de llevar a cabo un estudio exhaustivo de tiempos y movimientos a nivel de cada estación, con el propósito de optimizar la asignación de tareas y alcanzar una mayor homogeneidad en los tiempos de ciclo. En función de los hallazgos obtenidos, se sugiere considerar estrategias de intervención tales como la implementación de procesos en paralelo o la incorporación de estaciones adicionales, particularmente en la Estación 4, con el fin de mejorar el balance de la línea de ensamblaje.

**TABLA 2. TIEMPOS PROMEDIO DE ENSAMBLE POR ESTACIÓN**

	Tiempo promedio en segundos			
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Moto (M)	50	22	38	58
Carro (C)	16	19	26	25
Fórmula 1 (F1)	13	24	26	26

**Fuente:** elaboración propia.

### Simulación del proceso de ensamblaje introduciendo códigos de barras y lecturas de pedido mediante dispositivos celulares

El flujo convencional para un sistema Kanban puede iniciar con el pedido del cliente, el cual, a su vez, genera hacia la última estación de trabajo la información correspondiente a dicho pedido. Esta información debe contener el tipo de producto, la cantidad y las fechas de entrega respectivas.

La información recibida del cliente se convierte en una orden de producción para activar la línea de ensamblaje. La última estación recibe la información correspondiente al pedido del cliente e inmediatamente genera una tarjeta Kanban de producción hacia la estación precedente, y esta hacia la anterior, y así sucesivamente hasta llegar a la primera estación de trabajo.

Una vez generada la tarjeta correspondiente al Kanban de producción, cada estación de trabajo genera una segunda tarjeta, llamada Kanban de retiro, la cual contiene información de las partes requeridas por parte del almacén para reemplazar aquellas que se han utilizado en el ensamblaje respectivo.

En la figura 3 se observa el flujo de información correspondiente al sistema Kanban propuesto. En este sistema, el pedido del cliente genera una orden de producción que se convierte en información directa hacia el almacén de suministros, y la última estación de trabajo mediante tarjetas Kanban de producción, las cuales contienen códigos de barra que contienen la información correspondiente al producto por ensamblar y las partes requeridas por parte del almacén y de las estaciones precedentes. La información se genera hacia la primera estación de trabajo de igual forma.



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 3. SISTEMA KANBAN PROPUESTO**

El software utilizado en el proyecto, para la generación de la información mediante códigos de barras, se muestra en la figura 4. En dicho software se digita el producto requerido, el cual se codifica y se generan los códigos que van contenidos en los Kanban de producción. La interfaz es realizada por los participantes del proyecto y se diseñó con un enfoque académico.



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 4.** INTERFAZ UTILIZADA PARA GENERAR CÓDIGOS DE BARRA

Una vez se cuente con los códigos de barras generados por cada componente, en las estaciones de trabajo se procede a realizar la lectura de las tarjetas codificadas, con el fin de realizar el pedido de materiales (figura 5).



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 5.** LECTURA DE LAS TARJETAS CODIFICADAS

Dicho pedido es automáticamente registrado en el sistema y descontado de las unidades existentes en el inventario (figura 6).

Almacén de partes				
PARTE	EXISTENCIA	Descripción	Producto	Item por producto
CHNC	48	chasis	Carro	1
CANC	48	carrocería	Carro	1
ASAC	48	asientos	Carro	1
PAVC	48	parachoques	Carro	1
FAAC	48	faros	Carro	1
RGZC	42	rueda grande	Carro	4
EXVC	48	exploradoras	Carro	1

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 6. FORMATO DE INVENTARIO DEL SISTEMA

Finalmente, se puede estar haciendo el seguimiento de cada uno de los productos verificando la casilla de estado del artículo, donde se puede ver si está en proceso o terminado, ya que cada que se lean los códigos de barras, la información se actualiza en tiempo real (figura 7).

CÓDIGO ENSAMBLE	ENSAMBLE	CANTIDAD	ESTACIÓN	Código Estado	ESTADO
PEC12E10	PEC1	0	E1	0	Proceso
PEC22E20	PEC2	0	E2	0	Proceso
PEC32E30	PEC3	0	E3	0	Proceso
PTC12E40	PTC1	0	E4	0	Proceso

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 7. ESTADO DEL PROCESO

### Comparación de resultados

La tabla 3 consolida la información del tiempo obtenido en la simulación tradicional con tarjetas Kanban y el reemplazo de estas por códigos de barras y lectura con escaneo; se encontraron los siguientes resultados:

**TABLA 3.** COMPARACIONES DE TIEMPO DE PROCESOS

Proceso de ensamblaje con utilización de tarjetas Kanban		Proceso de ensamblaje con códigos de barras y lectura con escaneo	
Actividad	Tiempo promedio (segundos)	Actividad	Tiempo promedio (segundos)
Ensamblaje de productos (3M, 2C, 2 F1)	348	Ensamblaje de productos (3M, 2C, 2 F1)	348
Llenado de tarjetas de fabricación (3)	90	Lectura códigos de barras pedido (12) (3M, 2C, 2 F1)	72
Llenado de tarjetas de Retiro (12)	80	N/A	0
Tiempos muertos entre estaciones (4)	45	Tiempos muertos entre estaciones (4)	20
TOTAL	563	TOTAL	440

**Fuente:** elaboración propia.

Los tiempos de llenado promedios de las tarjetas de retiro y de fabricación son de 30 segundos, aclarando que, al inicio del proceso, todas las estaciones están detenidas llenando las tarjetas y que el proceso de ensamblaje inicia 90 segundos después; las tarjetas de retiro son diligenciadas en los espacios de tiempo que se tienen cada vez que se termina un producto, aprovechándose de los tiempos muertos que existen entre las estaciones por la configuración productiva utilizada.

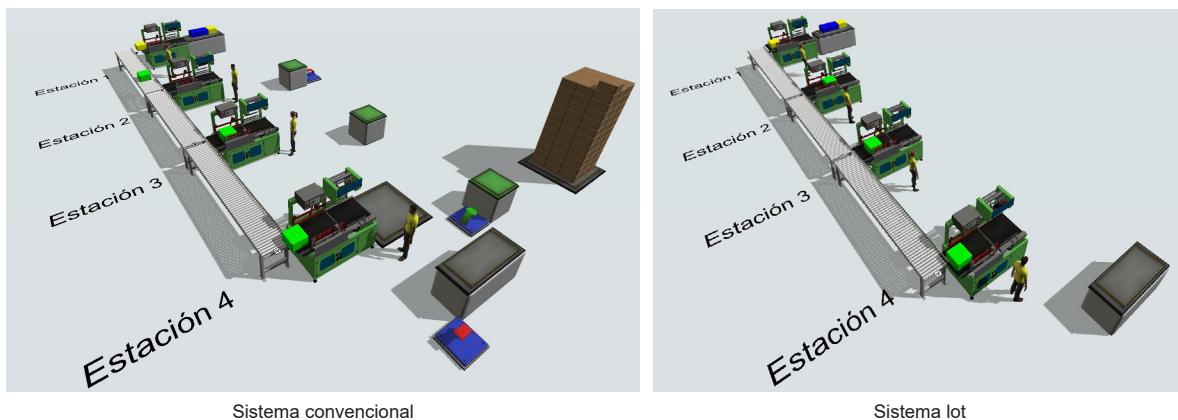
Las pruebas realizadas determinaron que aproximadamente el 30 % del tiempo total del proceso de ensamblaje es empleado para el diligenciamiento de las tarjetas en el proceso tradicional Kanban, mientras que el escaneo de los códigos de barras para el mismo pedido representa el 16.3 % de tiempo de la operación, sumado que no se ha tenido en cuenta el ahorro de tiempo en la digitalización de la información, ya que con el escaneo, las unidades son descargadas en tiempo real en el formato diseñado para el control del pedido y de inventarios.

También podemos observar cómo los tiempos de ensamblaje de los productos no cambian, debido a que se realizaron varias pruebas de ensamblaje que permitieron determinar el tiempo estándar de operación por estación, logrando el mejor balance de línea posible.

Finalmente, los resultados nos llevan a determinar un aumento del 21,8 % en la producción de artículos, lo que equivale en un turno de trabajo de 94 unidades más.

## Simulación en Flexsim

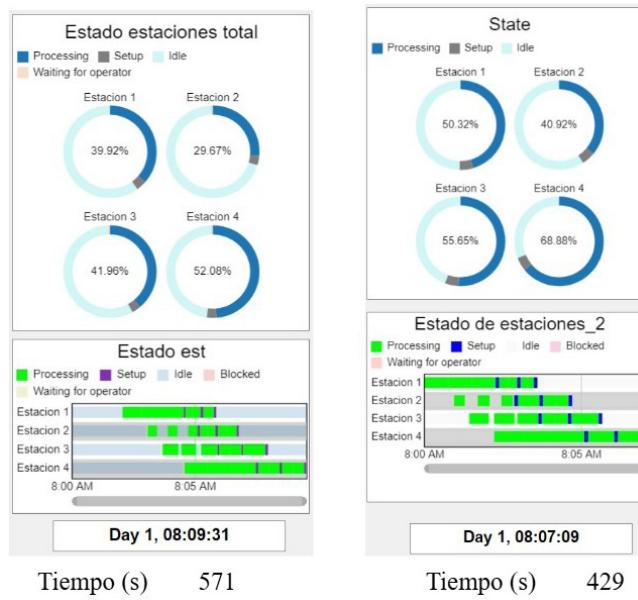
Por medio del software de simulación de eventos discretos en Flexsim se realizaron gemelos digitales de ambos modelos. El primero simula el sistema Kanban tradicional con el llenado de tarjetas manual; el segundo simula el sistema IoT en con el llenado de códigos de barra. En la simulación se tuvieron en cuenta los tiempos de las simulaciones con una leve variación usando distribuciones estadísticas. A continuación, en la figura 8 podemos ver los dos modelos.



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 8. MODELOS DE SIMULACIÓN EN FLEXSIM**

Por medio de estos modelos logramos proyectar los procesos de ensamble durante un turno de trabajo. Luego, por medio de indicadores podemos comparar los dos sistemas, obteniendo los siguientes resultados.



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 9.** INDICADORES DE UNA TANDA DE PRODUCCIÓN

En la figura 9 observamos los indicadores por una tanda de producción. Podemos ver la utilización de cada estación, el tiempo total de ensamblaje junto con el diagrama de Gantt. A continuación, en la tabla 4 se muestran los tiempos obtenidos en la simulación. En dicha tabla vemos desglosados los tiempos de las diferentes actividades del proceso.

**TABLA 4.** TIEMPOS DE LA SIMULACIÓN

	Método Kanban				Método IoT			
	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4
Tiempo Promedio en segundos								
Ensamble	207.9	150.8	221.66	278.07	194.89	154.52	217.76	273.18
Llenando tarjeta de retiro	20.04	18.61	17.98	19.29				
Lectura de código de barras					20.97	20.97	20.97	20.97
Llenando tarjeta de fabricación	0	29.12	28.15	50.81				
Ocioso	343.05	396.78	326.84	269.39	213.12	253.45	190.26	133.5

**Fuente:** elaboración propia.

Por último, cuando prolongamos la simulación para un turno de trabajo, podemos obtener el número de unidades teóricas que se producen. Los resultados de este indicador se presentan desglosados en la tabla 5.

**TABLA 5.** UNIDADES PRODUCIDAS EN UN TURNO

	Método Kanban	Método IoT	%Mejora
Unidades producidas total	329	406	23.4%
M	141	174	23.4%
C	94	116	23.4%
F1	94	116	23.4%

**Fuente:** elaboración propia.

## Limitaciones

Los resultados obtenidos a través de la simulación evidencian mejoras significativas en términos de reducción de tiempos muertos, mayor eficiencia operativa y un aumento teórico en la capacidad de producción. No obstante, es importante señalar que este trabajo se basa en una simulación académica desarrollada en un entorno controlado, por lo cual los resultados deben interpretarse como indicios preliminares más que como verdades generalizables.

Entre las principales limitaciones se encuentran:

- La ausencia de validación en un entorno industrial real con variabilidad de demanda, fallos técnicos y restricciones logísticas.
- El uso de lectores de códigos de barras y dispositivos móviles como mecanismos de captura, los cuales pueden presentar desafíos de conectividad, durabilidad o compatibilidad en contextos industriales.
- La falta de análisis económico detallado sobre los costos de implementación de una solución IoT frente al ahorro potencial en productividad.

A futuro se recomienda desarrollar pilotos en entornos reales de manufactura, así como integrar herramientas de análisis predictivo sobre los datos generados por el sistema IoT-Kanban. Asimismo, podría explorarse la integración con sistemas ERP y el uso de inteligencia artificial para optimizar la asignación de recursos y la programación de la producción.

## CONCLUSIONES

La utilización de tecnología IoT en un proceso de ensamblaje de piezas plásticas permite mejoras significativas en eficiencia operativa, reducción de tiempos y optimización del inventario. La integración de códigos de barras y dispositivos de escaneo facilita el monitoreo en tiempo real, disminuyendo en un 30 % el tiempo total empleado en la gestión de inventario en comparación con el sistema Kanban tradicional. Asimismo, la digitalización del proceso contribuye a una respuesta más ágil frente a la demanda del mercado, aumentando la producción en un 23.4 % durante un turno de trabajo simulado. Los resultados obtenidos en la simulación con Flexsim demuestran el potencial de esta combinación tecnológica para reducir costos y mejorar la competitividad en un entorno industrial.

La implementación de IoT en el sistema Kanban permite un aumento del 21.8 % en la producción, logrando una fabricación de hasta 94 unidades adicionales en un turno de trabajo. Esto destaca frente al sistema tradicional, que presenta una menor capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda.

En el sistema IoT-Kanban, los tiempos improductivos entre estaciones son menores gracias a la actualización automática y en tiempo real del estado de cada pedido. Esto no ocurre en el sistema Kanban convencional, en el que los tiempos muertos aumentan debido al uso manual de tarjetas.

La utilización de un simulador de procesos como el software Flexsim permite demostrar con detalle cómo se presenta una reducción significativa en el tiempo total del proceso de ensamblaje en comparación con el método tradicional. Esto sugiere que el uso de códigos de barras y escaneo reduce el tiempo necesario para actualizar el estado de los pedidos y gestionar el flujo de materiales.

## REFERENCIAS

- [1] IMD, “Ránking de Competitividad Mundial IMD 2021 - Instituto de la Empresa Familiar” [En línea]. Disponible en: <https://www.iefamiliar.com/noticia/ranking-de-competitividad-mundial-imd-2021/>. [Accedido: 12 nov. 2024].
- [2] Y. Durán, “Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas”, Visión Gerencial, n.º 1, pp. 55-78, 2012 [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545892008>. [Accedido: 12 nov. 2024].
- [3] A. S. Camacho Zapata, J. P. Ríos Baldovino, J. Mojica Herazo y R. Rojas Millán, “Importancia de la gestión de inventario en empresa de Manufacura”, Bol. Innov. Logist. Oper, vol. 2, n.º 2, pp. 37- 42, feb. 2021.

- [4] N. Martinez y J. C. Osorio, "Gestión de inventarios de repuestos considerando el riesgo", Revista Espacios, vol. 39, n.º 44, oct. 2018.
- [5] L. del C. Camacho Soto y E. G. Eldizalde Aliaga, "Análisis del control de inventarios en la empresa Js Madera 501 E.I.R.L. 2020-2022", Repositorio Institucional - UCV, 2024 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/138997>
- [6] H. Alaidaros, M. Omar y R. Romli, "The state of the art of agile kanban method: challenges and opportunities", Independent Journal of Management & Production, vol. 12, n.º 8, pp. 2535-2550, diciembre. 2021. doi: 10.14807/ijmp.v12i8.1482.
- [7] L.D. Bejuy S. Legutko, "Kanban Systems in the Context of the Enterprise Systems". MATEC Web of Conferences, vol. 343, p. 03001, 2021. doi: 10.1051/MATECWebConf/202134303001.
- [8] A. Krishnamurthy y D. Claudio, "Pull systems with advance demand information", Proceedings - Winter Simulation Conference, vol. 2005, pp. 1733-1742, 2005. doi: 10.1109/WSC.2005.1574446.
- [9] M. Pekarcikova, P. Trebuna, M. Kliment y L. Rosocha, "Material flow optimization through e-kanban system simulation", International Journal of Simulation Modelling, vol. 19, n.º 2, pp. 243-254, junio 2020. doi: 10.2507/IJSIMM19-2-513.
- [10] A. Anosike, K. Alafropatis, J. A. Garza-Reyes, A. Kumar, S. Luthra y L. Rocha-Lona, "Lean manufacturing and internet of things - A synergetic or antagonist relationship?", Comput Ind, vol. 129, p. 103464, agosto. 2021. doi: 10.1016/J.COMPIND.2021.103464.
- [11] P. Brous, M. Janssen y P. Herder, "The dual effects of the Internet of Things (IoT): A systematic review of the benefits and risks of IoT adoption by organizations", Int J Inf Manage, vol. 51, p. 101952, abril 2020. doi: 10.1016/J.IJINFOMGT.2019.05.008.
- [12] I. Simón-Marmolejo, F. Santana-Robles, R. Granillo-Macías, y V. M. Piedra-Mayorga, "La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido", Científica, vol. 17, n.º 1, pp. 39-49, 2013, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61428315005>. [Accedido: 13 Oct. 2024].
- [13] M. Kliment, M. Pekarcikova, J. Trojan y J. Kronova, "Use of the FlexSim simulation tool for creating simulation models", Acta Simulation, vol. 8, n.º 1, 2022. doi: 10.22306/asim.v6i1.56.
- [14] M. Antonio Díaz-Martínez, R. Zárate-Cruz y R. V. Román-Salinas, "Simulación con Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba", Científica, vol. 22, n.º 2, pp. 97-104, 2018.
- [15] L. da S. Almeida, K. K. N. Silva, P. dos S. A. Nunes y Y. L. T. V. Silva, "Simulation softwares applied in inventory management: a systematic review of the literature",

Brazilian Journal of Production Engineering, vol. 10, n ° 2, pp. 132-144, abril 2024.  
doi: 10.47456/BJPE.V10I2.44176.

- [16] M. Senapathi y M. L. Drury-Grogan, “Systems Thinking Approach to Implementing Kanban: A case study”, Journal of Software: Evolution and Process, vol. 33, n ° 4, p. e2322, abril 2021. doi: 10.1002/SMR.2322.
- [17] S. Merzouk, A. Cherkaoui, A. Marzak S. Nawal, “IoT methodologies: comparative study”, Procedia Comput Sci, vol. 175, pp. 585-590, enero 2020, doi: 10.1016/J.PROCS.2020.07.084.
- [18] C. Roser, Y. Regending, B. Langer y C. C. Wuttke, “Practical Estimation of the Impact of a Reduction of the Number of Kanban Cards on the Delivery Performance”, IFIP Adv Inf Commun Technol, vol. 630 IFIP, pp. 690-696, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-85874-2\_75.
- [19] A. Vega Anzules, “Construcción de modelos de simulación en FlexSim que implementen herramientas Lean Manufacturing en una línea de ensamblaje”, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47251>. [Accedido: 12 Nov 2024].
- [20] L. Naciri, M. Gallab, A. Soulhi, S. Merzouk y M. Di Nardo, “Modeling and simulation: A comparative and systematic statistical review”, Procedia Comput Sci, vol. 232, pp. 242-253, enero 2024. doi: 10.1016/J.PROCS.2024.01.024.