UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE MEJORA DE CONTROL DE INVENTARIOS MEDIANTE LA COMPARATIVA DE METODOLOGIAS KANBAN Y DDMRP EN EL CENTRO GRAFICO SALESIANO

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

AUTORES: ANDRES PAUL VAQUILEMA CHACAGUASAY
PAUL SEBASTIÁN GARCES PALACIOS
TUTOR: ING. PABLO SEBASTIÁN ÁLVAREZ FLORES, Mgtr.

Cuenca - Ecuador
2024

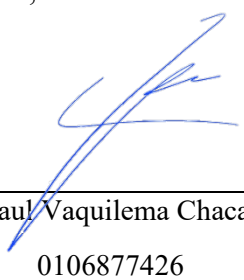
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Andres Paul Vaquilema Chacaguasay con documento de identificación N° 0106877426 y Paul Sebastián Garces Palacios con documento de identificación N° 0105863856; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 17 de septiembre del 2024

Atentamente,



Andres Paul Vaquilema Chacaguasay
0106877426

Paul Sebastián Garces Palacios
0105863856

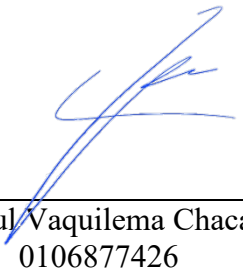
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Andres Paul Vaquilema Chacaguasay con documento de identificación No. 0106877426 y Paul Sebastián Garces Palacios con documento de identificación No. 0105863856, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo académico: "Propuesta de mojara de control de inventarios mediante la comparativa de metodologias Kanban y DDMRP en el Centro Grafico Salesiano", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de septiembre del 2024

Atentamente,



Andres Paul Vaquilema Chacaguasay
0106877426

Paul Sebastián Garces Palacios
0105863856

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Sebastián Álvarez Flores con documento de identificación N° 0103565552, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE MEJORA DE CONTROL DE INVENTARIOS MEDIANTE LA COMPARATIVA DE METODOLOGIAS KANBAN Y DDMRP EN EL CENTRO GRAFICO SALESIANO, realizado por Andres Paul Vaquilema Chacaguasay con documento de identificación N° 0106877426 y por Paul Sebastian Garcés Palacios con documento de identificación N° 0105863856, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de septiembre del 2024

Atentamente,

Ing. Pablo Sebastián Álvarez Flores, Mgtr.
0103565552

Resumen

Este artículo presentó una propuesta de mejora de control de inventarios mediante la comparativa de dos metodologías: Kanban y Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) en la bodega del Centro Gráfico Salesiano. Se elaboró un modelo de la bodega de materia prima utilizando DDMRP, estableciendo puntos de desacople y determinando perfiles y niveles de buffers para optimizar el inventario. Para Kanban, se definieron las tarjetas necesarias. Se simuló un modelo del sistema real en Flexsim durante un horizonte de 3 meses. La simulación en flexsim proporcionó un valor clave: las salidas totales de cada ítem. Este dato, junto con el inventario promedio obtenido de la simulación manual en Excel, se utilizaron para la generación de replicas, permitiendo calcular los índices de rotación de inventarios de ambos métodos. Mediante pruebas de hipótesis, se compararon estos indicadores para determinar cuál de los dos modelos ofrecía una mejor rotación de inventario, considerando la disponibilidad de materiales y la reducción de stock.

Abstract

This article presented a proposal to improve inventory control by comparing two methodologies: Kanban and Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) in the warehouse of the Salesian Graphic Centre. A model of the raw material warehouse was developed using DDMRP, establishing decoupling points and determining profiles and buffer levels to optimize the inventory. For Kanban, the necessary cards were defined. A model of the real system was simulated in Flexsim over a 3-month horizon. The simulation in flexsim provided a key value: the total outputs of each item. This data, together with the average inventory obtained from the manual simulation in Excel, was used for the generation of replicates, allowing the calculation of the inventory turnover rates of both methods. By means of hypothesis tests, these indicators were compared to determine which of the two models offered a better inventory turnover, considering the availability of materials and stock reduction.

Palabras clave: Buffers, control de inventarios, DDMRP, Flexsim, simulación, KANBAN

Keywords: Buffers, inventory control, DDMRP, Flexsim, simulation, KANBAN.

1. Introducción

En toda organización se mantenían varios tipos de inventarios, en especial el inventario de materias primas que servían como entradas a una determinada etapa del proceso de producción. Debido a que estos inventarios representaban una considerable inversión de recursos financieros, todas las decisiones que se tomaban con respecto a estos inventarios eran muy importantes. Con esto, los modelos de inventarios y la descripción matemática de los sistemas de inventarios tomaban un rol muy importante en la toma de decisiones [1]

Según Laza [2]"Un control excesivo de todos y cada uno de los artículos tendría un coste excesivo, por lo que es necesario determinar qué control se establece para evitar este sobre coste".

Esta problemática fue abordada mediante un análisis comparativo de las metodologías Kanban y Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) en el área de bodega de materia prima.

Para llevar a cabo esta comparación, se empleó la simulación como herramienta esencial, proporcionando datos concretos que facilitaron la comparativa entre Kanban y DDMRP. Además, se incorporaron indicadores de rotación para evaluar de manera integral el impacto de las metodologías propuestas en el control de inventarios del Centro Gráfico Salesiano.

Este análisis comparativo buscó aportar conocimientos que permitieran identificar la metodología más adecuada que optimizara el control de inventarios en el contexto específico del Centro Gráfico Salesiano, sin necesariamente proponer cambios inmediatos en los procesos existentes.

En el campo de la estadística, uno de los métodos más importantes para evaluar la validez de una afirmación sobre un parámetro poblacional, basándose en datos obtenidos de una muestra, es la prueba de hipótesis. Este procedimiento permitió a los investigadores determinar si existía suficiente evidencia en los datos muestrales para aceptar o rechazar una hipótesis planteada sobre la población de interés. La prueba de hipótesis fue esencial para tomar decisiones informadas y validar teorías en una amplia variedad de contextos estadísticos. [3]

2. Antecedentes

De acuerdo a las investigaciones de algunos autores, entre los cuales destacan:

- Salazar & Arenas Díaz (Salazar & Arenas Díaz, 2019) [4] la cual resalta que el "DDMRP, ayuda a disminuir la cantidad de los materiales con tendencia al igual que optimizar espacio y capital de trabajo en los materiales que no la tienen."
- Alaitz Kortabarria (Alaitz Kortabarria, 2019) [5] indican que la gestión de materiales fundamentada por la metodología DDMRP (Demand-Driven Material Requirements Planning) aumenta la visibilidad de la cadena de suministro reduciendo considerablemente el efecto bullwhip junto con el stock físico y aumentado el consumo de materiales.
- Ptak & Smith (Ptak & Smith, 2019) [6] describen el enfoque innovador (Posicionar, proteger y tirar) que posee el DDMRP la cual nos ayuda a planificar y gestionar los materiales permitiéndonos desvincular el error de previsión de la generación de pedidos.
- Rajadell (Rajadell, 2021) [7] comenta que "La razón de utilizar el sistema pull se explica por las ventajas que ofrece: garantiza el sistema FIFO y la trazabilidad del producto, optimiza la cadena productiva, facilita la reducción del lead time y solo produce lo que el cliente necesita en el momento preciso, evitando así tener en exceso, tanto de material en curso como producto acabado."
- Arce & Irwin (Arce & Irwin, 2015) [8] exponen que hubo una reducción significativa de los niveles de inventario, optimización del espacio de almacenamiento, y una mayor eficiencia en el control de producción y respuesta a la demanda. Demostrando así cómo Kanban no solo mejora el flujo de trabajo, sino que también tiene un impacto positivo directo en los costos operativos y la capacidad de respuesta de la producción
- Vásquez & Omar (Vásquez & Omar, 2006) [9] expresan que la implementación del sistema Kanban permitió determinar y controlar el inventario máximo, reduciendo así el exceso de inventario. Gracias a Kanban, se logró una sincronización entre la producción y la demanda, eliminando el desperdicio de sobreproducción y optimizando los costos de almacenamiento. La gestión eficiente del inventario a través de este sistema permitió mantener niveles mínimos necesarios, mejorando la agilidad de la cadena de suministro y la eficiencia operativa general .

3. Problema

El Centro Gráfico Salesiano, con más de seis décadas de experiencia en la industria editorial y ubicado en Cuenca, Ecuador, se enfrenta a la necesidad de mejorar el control de su área de bodega de materia prima, optimizar esta área se convierte en un desafío central. La carencia de un método claramente definido genera incertidumbre en la operatividad eficiente y la toma de decisiones informada.

Hoy en día, el Centro Gráfico Salesiano utiliza el sistema ASIS para el control de inventarios, un sistema donde se registra los movimientos de material dentro de la bodega. Actualmente, el nivel de stock mínimo utilizado carece de fiabilidad, ya que se basa únicamente en un análisis empírico. Esta falta de fundamentación metodológica impide una planificación precisa de los niveles de inventario, lo que puede llevar a situaciones de escasez o exceso de materiales. Además, la ausencia de un nivel de stock máximo agrava aún más este problema, ya que no se establecen límites superiores para la cantidad de inventario a mantener. Como resultado, la empresa se enfrenta a la acumulación de inventario en exceso, lo que se traduce en costos innecesarios de almacenamiento y mantenimiento. "Debido a las causas que generan la necesidad de mantener inventarios no pueden ser eliminadas totalmente, la mejor alternativa es aplicar sistemas óptimos de gestión y control para responder a dichas causas." [10]

Aquí es donde entran las metodologías Kanban y DDMRP, la primera que Según (Bermejo, 2011) [11] "es un sistema de gestión donde se produce exactamente aquella cantidad de trabajo que el sistema es capaz de asumir." y las segunda "es un método formal de planificación y ejecución multinivel para proteger y promover el flujo de información y de materiales, mediante el establecimiento y manejo de buffers de inventario ubicados estratégicamente en puntos de desacople." [12]

4. Metodología

4.1. Recolección de datos

Para la correcta realización de las metodologías se requiere la recopilación de datos específicos como: Requerimiento y consumo de materiales. La recolección de datos se llevó a cabo mediante una metodología de recopilación de datos secundarios, estos "datos secundarios son los que ya se han recolectado a través de fuentes primarias, [13], siendo un tipo de datos que ya han sido recolectados en el pasado por otras personas y organizaciones.

Inicialmente, se identificaron los datos necesarios para el estudio, incluyendo el requerimiento y consumo de materiales, así como los tiempos de reposición.

Posteriormente se procedió a descargar la información de la base de datos del Sistema ASIS, la cual nos entrega el KARDEX en donde se encuentra un registro completo de los movimientos de la materia prima durante el año 2023. Este KARDEX proporciona un registro completo de los movimientos de la materia prima a lo largo del año, lo que incluye entradas y salidas, cantidades, fechas, código-nombre del material, precio unitario y las unidades de medida, lo que servirá como punto de partida para la evaluación y comparación de las metodologías propuestas.

4.2. Análisis ABC

Para crear los modelos de control de inventario usaremos los ítems de alta rotación también llamados productos de categoría A los cuales "son los más importantes para el negocio, típicamente un 20% de las referencias representando el 80% del valor" [2], para categorizar los ítem se realizó un análisis ABC, esta técnica nos permite identificar los productos que representan un mayor uso dentro del proceso productivo, lo que ayuda a focalizar los esfuerzos de control de inventarios en los artículos más relevantes.

Para la categorización de los ítems de la bodega y la selección de materiales a utilizar para el análisis, se realizó el siguiente proceso:

- **Organizar los datos:** Se organizo la información relevante en una tabla la cual contiene los siguientes campos: código del producto, nombre del producto, cantidad de movimientos (referente a las veces que se consumió el material), inventario promedio, precio unitario e inversión (multiplicación del inventario promedio y el precio unitario de cada material). Además de estos campos también se incorporaron 2 campos adicionales "ABC Inversión" y "ABC Movimientos"
- **Análisis ABC:** Se aplicó el análisis ABC para categorizar los ítems de la bodega en función de dos variables: el valor económico (representado por la inversión) y la cantidad de movimiento en la bodega. También se aplicaron criterios porcentuales las cuales nos ayudan a categorizar los ítems en clase A, B y C de la siguiente manera: 80% como clase A, 15% como clase B y 5% como clase C. Se utilizó un formato condicional para resaltar visualmente las categorías A (color verde), B (color amarillo) y C (color rojo) en las columnas "ABC Inversión" y "ABC Movimientos".
- **Selección de ítems utilizando el criterio AABC:** Se seleccionaron los ítems a utilizar en el estudio utilizando un criterio de selección denominado AABC. Este criterio consistió en elegir los materiales de categoría A en la variable de movimientos y los productos ABC en la variable de inversión que se relacionaran con los productos de categoría A en movimientos. Se priorizó la columna de movimientos sobre la inversión debido a la comparación planeada con el indicador de rotación de material y la importancia de la disponibilidad de los materiales en la bodega como factor determinante.

4.3. Kanban

Kanban se basa en un principio fundamental de gran impacto: restringir la cantidad de trabajo en curso (WIP). [14]

El sistema Kanban es una metodología de gestión de tareas y producción en la que se busca equilibrar la carga de trabajo con la capacidad del sistema para gestionarla eficientemente. En otras palabras, este enfoque se asegura de que solo se produzca y se avance en la cantidad de trabajo que el sistema puede manejar en un momento dado, evitando así la sobrecarga y mejorando la eficiencia operativa. Kanban se basa en la visualización del flujo de trabajo y la limitación de trabajos en proceso, permitiendo a los equipos adaptarse rápidamente a los cambios y mejorar continuamente sus procesos. Este sistema es especialmente útil en entornos donde la flexibilidad y la adaptabilidad son clave para el éxito. [11]

El sistema Kanban incluye un flujo de trabajo que utiliza señales de colores para identificar los niveles de inventario de materiales. Este método permite determinar si es necesario generar un pedido de fabricación o si la cantidad existente es suficiente para cubrir la demanda, teniendo en cuenta los tiempos de entrega del

proveedor. Mediante la implementación de este sistema, las empresas pueden evitar el desabastecimiento y asegurar que siempre haya suficientes materiales en stock para mantener la producción continua. Además, el enfoque Kanban optimiza los procesos de suministro y mejora la eficiencia en la gestión de inventarios, asegurando que los recursos se utilicen de manera efectiva y se minimicen las interrupciones en la producción. [15]

El sistema Kanban se inspira en el modelo operativo de los supermercados y busca gestionar el flujo de recursos en los procesos de producción mediante el uso de tarjetas visuales. A diferencia de depender de la planificación anticipada de la demanda, este sistema se basa en la demanda y el consumo reales de los clientes. Las tarjetas visuales actúan como señales que indican cuándo es necesario reabastecerse, permitiendo una gestión más ágil y precisa de los recursos. Este enfoque asegura que los recursos se utilicen de manera eficiente y que se produzcan solo los elementos necesarios, alineándose directamente con las necesidades actuales del cliente. [16]

El Kanban es un sistema de gestión que garantiza que se produzca exactamente la cantidad de trabajo que el sistema puede manejar de manera eficiente. [11] Este enfoque será implementado específicamente en una bodega de materia prima para optimizar la gestión y el flujo de los materiales almacenados.

- **Definición de variables**

  Para poder realizar la Metodología Kanban es necesario tener los siguientes datos:

  Número de Tarjetas Kanban: Representa la cantidad de tarjetas que se deben tener disponibles para cada producto. Estas tarjetas son fundamentales para el control visual del inventario, ya que permiten identificar cuándo es necesario realizar un reabastecimiento. Este dato se obtiene de multiplicar el consumo diario promedio por la suma del lead time y el stock de seguridad y dividir el resultado para el número de unidades por caja

  Capacidad del Contenedor: Señala la capacidad máxima de almacenamiento que puede tener el contenedor asignado para cada producto. Esta información es vital para asegurar que el inventario se mantenga dentro de los límites diseñados y que no se exceda la capacidad del contenedor.

  Consumo diario promedio: Indica la cantidad promedio de inventario que se espera mantener durante un período determinado. Este valor es crucial para garantizar que siempre haya suficiente stock disponible sin incurrir en costos innecesarios por exceso de inventario.

  Número de unidades por caja: El número de unidades por caja especifica cuántas unidades de un producto se empaquetan en una sola caja. Este detalle es importante para la gestión del inventario y la logística, ya que facilita el cálculo del espacio necesario para el almacenamiento y la planificación de los envíos. Además, ayuda a estandarizar el manejo y la distribución de los productos.

  Inventario promedio: El inventario promedio se refiere a la cantidad media de productos almacenados que se mantienen.

  Lead time: El lead time es el tiempo total que transcurre desde que se realiza un pedido de reabastecimiento hasta que los productos están disponibles para su uso, Conocer el lead time es esencial para la gestión eficiente del inventario, ya que permite planificar los pedidos con suficiente antelación para evitar rupturas de stock.

  Stock de seguridad: El stock de seguridad es la cantidad adicional de inventario que se mantiene para cubrir posibles variaciones en el consumo o retrasos en el reabastecimiento. Este buffer es una medida preventiva que asegura que siempre haya suficiente producto disponible para satisfacer la demanda, incluso en situaciones imprevistas.

4.4. Demand Driven Requirement Planning (DDMRP)

"DDMRP es un método formal de planificación y ejecución de multinivel para proteger y promover el flujo de información relevante y de materiales, mediante el establecimiento y manejo de buffers de inventario ubicados estratégicamente en puntos de desacople." [12]

Este método cuenta con componentes secuenciales los cuales se centran en posicionar, proteger y halar. Donde los primeros componentes son los que generan la configuración inicial.

- **Posicionar:** La selección de la ubicación de los puntos de desacople y la dimensión de los buffers o amortiguadores es el primer componente del modelo y se llega a constituir en la piedra angular del DDMRP. Esta es una decisión estratégica que impacta en el rendimiento de la red de aprovisionamiento y demanda en

muchos aspectos importantes del sistema: servicio, capital de trabajo, gastos relacionados, flujo de caja y, en última instancia, retorno de la inversión [12].
Además, se debe tomar en cuenta 6 factores de posicionamiento que ayudaran a determinar la ubicación adecuada para los puntos de desacople: "tiempo de tolerancia del cliente, tiempo del mercado potencial, horizonte de los pedidos de venta, variabilidad externa, apalancamiento y flexibilidad del inventario y protección de operaciones críticas". [17]
Como se mencionó anteriormente, se decidió elaborar un modelo de simulación con el objetivo de identificar el mejor método para gestionar únicamente la bodega de materia prima del Centro Gráfico Salesiano mediante el DDMRP. Por lo cual el punto de desacople se lo coloco en este punto de toda la cadena de suministro

- **Perfiles y niveles de buffers:** Es necesario escoger adecuadamente los sitios donde se deben colocar los buffers de inventarios para eliminar la mayoría de los tipos de problemas más comunes asociados con estos y con la gestión de materiales. Pero determinar la ubicación acertadamente no es suficiente, si no se dimensionan los niveles adecuados de inventario en el amortiguador [12]
Este componente nos permite que los puntos de desacople siempre se mantengan independientes. Para esto es necesario dimensionarlos para lo cual nos basamos en los siguientes aspectos: cantidad mínima de pedido (MOQ), cantidad diaria promedio (CPD), tiempos de reposición (LTE), frecuencia de pedido (FRE), porcentaje de Variabilidad (%VAR), %LTE. Para este último, (Angulo Casares, 2021) [18] nos indica claramente que a menor lead time, mayor debe ser la cobertura. Con lead times tan cortos, menores a 3 días, se requiere una cobertura mínima del 100%. Donde también (Ptak & Smith, 2019) [6] nos dice que para lead time cortos se considera de 0-3 semanas, para lead time medios de 3-7 semanas, y para lead times largos más de 7 semanas. Adaptando esta información a nuestro caso, el lead time corto se establece en menos de 1 día con un factor de lead time del 80% para reflejar la alta frecuencia de entrega. El lead time medio se ajusta de 2-12 días, dándonos un 50% de valoración, para equilibrar flexibilidad y cobertura adecuada. Finalmente, el lead time largo se define a más de 12 días con un factor de lead time del 30% para una planificación estratégica sin extenderse a semanas.

  Para tener un mejor control visual "los buffers están definidos por zonas utilizando los colores verde, amarillo y rojo como códigos visuales de alerta." [19]

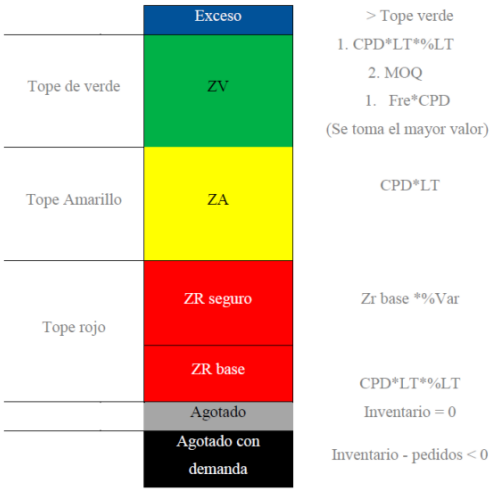


Figura 1. Ecuaciones para el cálculo de buffers tomada de [4]

4.5. Simulación Flexsim

En los últimos años, los avances en computación han revolucionado la toma de decisiones y el diseño de procesos y productos, destacando especialmente la simulación. Hoy, los analistas cuentan con software de simulación que facilita decisiones en diversos campos, como elegir la ubicación planta, diseñar sistemas de trabajo o mejorar procesos productivos existentes. Esta herramienta ha ganado popularidad por su capacidad para resolver múltiples problemas de manera efectiva. El software moderno ofrece análisis avanzados, animaciones mejoradas y opciones de generación de informes, además de numerosas herramientas estadísticas que mejoran la gestión y presentación de la información relevante. [20]

Flexsim permite modelar y comprender con precisión los problemas esenciales de un sistema sin la necesidad de programación complicada. Esto se debe a que proporciona una manera simple y accesible para desarrollar modelos de simulación, eliminando barreras técnicas y permitiendo a los usuarios centrarse en la resolución de problemas y la optimización del sistema [21].

- **Pasos para realizar la Simulación en Flexsim**

Para llevar a cabo la simulación de las metodologías se realizó lo siguiente:

1. Formulación del Problema: Se definió el problema a estudiar, que consiste en evaluar las salidas totales de los 44 ítems en la bodega del centro gráfico salesiano.
2. Diseño del Modelo Conceptual: Se especificaron los modelos a partir de las características de los elementos del sistema que se quiere estudiar y sus interacciones, teniendo en cuenta los objetivos del problema. A continuación, se muestra un gráfico que ilustra el flujo del material mediante un diagrama de flujo.

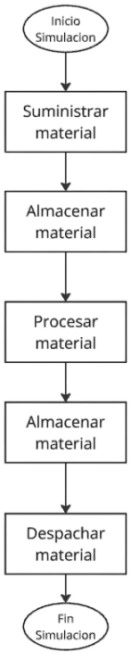


Figura 2. Diagrama de flujo laborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

3. . Recogida de Datos: Se identificaron, recogieron los datos de los modelos de KANBAN y DDMRP. Estos datos incluyeron niveles de inventario, consumo diario promedio, tiempo de reabastecimiento.
4. Construcción del Modelo: Se construyeron los modelos de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos recogidos. Se emplearon diversas herramientas y configuraciones en Flexsim para simular el comportamiento del sistema:

   - Inserción de Ítems y Configuración de la Llegada del Material: Se introdujeron diversas entidades necesarias para la ejecución de la simulación. Se utilizó la entidad "source" para gestionar la llegada del material, configurando parámetros específicos para marcar la llegada de los materiales y modificando códigos para permitir la verificación del nivel de stock y su reabastecimiento oportuno.

   Tabla 1. Parámetros de configuración en Source

CONFIGURACION SOURCE			
N. Llegada	**Arrival time**	**Item Name**	**Quantity**
Arrival 1	1	MPD0322	222.22
Arrival 2	604800	MPD0322	222.22
Arrival 1	1	MPD0570	165.82
Arrival 2	604800	MPD0570	165.82
Arrival 1	1	MPD0263	58
Arrival 2	604800	MPD0263	58
Arrival 1	1	MPD0049	82
Arrival 2	604800	MPD0049	82
Arrival 1	1	MPD0021	31
Arrival 2	604800	MPD0021	31

Nota: Extracto de la configuración de la llegada de material en la entidad source elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

- Simulación del área de almacenamiento: Se emplearon las entidades "Queue" y "Racks" para simular el área de almacenamiento.

- Configuración de procesadores: Para simular el consumo de materiales y mantener el flujo continuo de la materia, se utilizaron los procesadores ("Processors"). Estos fueron configurados para reflejar el consumo promedio diario de cada material.

Tabla 2. Parámetros de configuración del simulador

Configuracion	Valores	Unidades
Horizonte de simulacion	3	Mensual
Estrategia de programacion	Reabastecimiento de item, conteo de existencias	-
Numero de productos	44	Items
Cantidad de reabastecimiento	Segun stock de seguridad y buffers de produccion	-
Metodo de rebastecimiento	Periodico	7 dias
Arranque	Simultaneo	-
Transporte	Instantaneo	-
Tiempo de procesamiento	Segun el CDP de cada producto	-

Nota: Parámetros utilizados para la configuración del simulador elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

5. Validación: La validación del modelo se llevó a cabo mediante dos enfoques: validez replicativa y predictiva

- Validez replicativa: esto se obtendrá comparando los datos del sistema simulado con los datos reales.
- Validez predictiva: se validará mediante la prueba de hipótesis, la cual nos permite determinar si las salidas totales simuladas se ajustan a lo que se espera en el sistema real.

Se compararán los resultados de la simulación con el comportamiento observado en el sistema real para asegurar que el modelo representa adecuadamente la realidad. Esto se hizo mediante una prueba de hipótesis comparando los datos de las salidas totales de cada ítem obtenidos del modelo simulado con los datos reales En primer lugar formulamos la hipótesis:

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las salidas totales de cada ítem del modelo simulado y los datos reales.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las salidas totales de cada ítem del modelo simulado y los datos reales.

Se ha seleccionado un nivel de significancia de 0.01, un estándar en las pruebas de hipótesis, que utilizaremos para calcular el valor crítico. Este valor crítico será comparado con el valor p, un estadístico calculado a partir de la media de las diferencias entre las salidas totales simuladas y

las reales. La desviación estándar se obtiene a partir de las desviaciones entre estas diferencias. Para evaluar la hipótesis, seguiremos el criterio de rechazar la hipótesis nula si el valor p es mayor que el valor crítico, y aceptar la hipótesis nula si es menor.

6. Análisis: Utilizaremos los datos de la simulación, específicamente las salidas totales, para llevar a cabo réplicas, lo cual nos permitirá obtener datos fiables para comparar las metodologías Kanban y DDMRP. Para esto, se utilizarán el inventario promedio y las salidas totales como datos fundamentales.

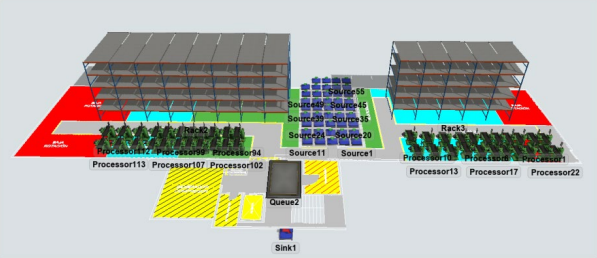


Figura 3. Extracto del Flexsim elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

4.6. Simulación manual (Excel)

Simulación para Kanban: Para llevar a cabo la simulación en Excel, se realizará una simulación manual utilizando varios parámetros clave: el consumo diario promedio, el tiempo de entrega (lead time), el stock de seguridad y las tarjetas Kanban. El proceso comienza con el inventario inicial y se descuenta diariamente el consumo promedio hasta llegar al día 7, que es el día de revisión de las tarjetas Kanban.

En este punto, se revisan las tarjetas Kanban usadas y se procede a reponerlas haciendo una orden de pedido, la cual llegará según el tiempo de entrega especificado para cada producto. Este ciclo se repite hasta llegar al día 90, que representa un período de tres meses.

Simulación para DDMRP: Para la simulación en Excel del DDMRP, se utilizaron dos parámetros clave: el buffer y el tiempo de revisión, que es de 7 días. La simulación comienza con el inventario inicial, que se establece en el nivel del buffer para cada producto.

A partir de ahí, se resta el consumo semanal del inventario inicial. Luego, se realiza un pedido para reponer el inventario hasta alcanzar nuevamente el nivel del buffer. Este proceso se repite hasta llegar al día 90, que representa un período de tres meses.

4.7. Replicas

Previo a la realización de la prueba de hipótesis se llevarán a cabo réplicas, lo cual nos permitirá obtener datos fiables para comparar las metodologías Kanban y ddmrp para lo cual se utilizará el inventario promedio y las salidas totales como datos fundamentales. Usaremos la función de tablas de datos de Excel, una herramienta de análisis de hipótesis que permite evaluar cómo diferentes valores de entrada afectan una fórmula específica.

También se configuraron las tablas de datos para generar 100 réplicas de cada método (Kanban y DDMRP) y que nos calcule automáticamente los valores de inventario promedio total y las salidas promedio totales.

Una vez realizadas las réplicas, debemos sacar el índice de rotación del inventario, el cual es la relación entre las salidas totales y el inventario promedio, y muestra cuántas veces se recupera el capital invertido a través de las ventas. Para calcular este índice, se necesita el inventario promedio y el total de productos vendidos

de cada ítem. El total de productos vendidos se multiplica por el costo de cada ítem para obtener el costo de los bienes vendidos (COGS, por sus siglas en inglés). Con estos dos valores, el inventario promedio y el costo de los bienes vendidos, se puede determinar el índice de rotación de inventarios de cada ítem. Este índice indica cuántas veces se renueva el inventario en un período determinado. [22]

4.8. Análisis comparativo

Para el análisis comparativo de los métodos utilizados, llevaremos a cabo una prueba de hipótesis para determinar si existe una diferencia significativa en los índices de rotación promedio entre las metodologías Kanban y DDMRP. En primer lugar, formulamos la hipótesis:

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa en los índices de rotación entre las metodologías Kanban y DDMRP.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en los índices de rotación entre las metodologías Kanban y DDMRP.

Se ha seleccionado un nivel de significancia de 0.01 para comparar , estándar en pruebas de hipótesis, que utilizaremos para calcular el valor crítico. Este valor crítico será comparado con el valor de p, un estadístico calculado a partir de la media de los índices de rotación, la varianza que es una medida de la dispersión de los datos la cual se calcula elevando al cuadrado la desviación estándar. Esta desviación estándar se obtiene a partir de las desviaciones existentes entre los 100 datos recopilados. Y el tamaño muestral. Para evaluar la hipótesis, seguiremos el criterio de rechazar la hipótesis nula si el valor de p es mayor que el valor crítico, y de aceptar la hipótesis nula si es menor.

5. Resultados

5.1. Recolección de datos

Se extrajo el Kardex de materia prima del sistema informático de la bodega la cual nos proporcionó información detallada sobre los movimientos de materiales a lo largo del año 2023, incluyendo entradas y salidas, cantidades, fechas y detalles de los productos.

El Kardex sirvió como punto de partida para el análisis ABC y la selección de ítems para los sistemas KANBAN y DDMRP.

Tabla 3. Kardex de materia prima

Codigo	Fecha	Movimiento	Entrada	Salida	Saldo
MPD0021	24-05-2023	CON		181.1	1,575.48
MPD0021	25-05-2023	ING	1,135.34		2,710.82
MPD0021	29-05-2023	CON		2.23	2,708.59
MPD0254	31-08-2023	CON	140,062.00		284,062.00
MPD0709	31-05-2023	CON		85	190
MPD0709	31-08-2023	CON	60		250
...	...	...	...	...	...

Nota: Extracto del Kardex de materia prima elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

5.2. Análisis ABC y selección de ítem

Al desarrollar el análisis ABC de los ítems de la bodega de materia prima pudimos categorizar los ítems en función de su importancia relativa en el proceso productivo, tanto en términos de valor económico como de cantidad de movimiento.

Los resultados del análisis ABC se muestran en las columnas ABC Inversión y ABC Movimientos en la tabla de datos.

Tabla 4. Análisis ABC

Codigo	Movimientos	Inventario promedio	Precio Unitario	Inversion	ABC Inversion	ABC movimientos
MPD0322	489	1092.2	$4.80	$5,242.16	76%	33%
MPD0570	370	1463.99	$21.12	$30,924.42	58%	53%
MPD0263	256	351.53	$19.78	$6,951.88	73%	56%
MPD0049	245	784.24	$22.43	$17,591.94	63%	58%
MPD0021	143	2145.68	$33.10	$71,030.51	28%	71%
…	…	…	…	…	…	…

Nota: Extracto de la tabla de análisis ABC elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

También se obtuvo la cantidad de productos que se encuentran en cada zona de acuerdo a sus movimientos e inversión, de los cuales se usó los de alta rotación.

Tabla 5. Categorización de productos

Rotacion	Zona	Movimientos	Inversion
ALTA	VERDE	44	57
MEDIA	AMARILLO	94	102
BAJA	ROJA	333	312

Nota: Resumen análisis ABC elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

5.3. Kanban

Después de realizar los cálculos y obtener las variables necesarias, se procede a analizar los datos que se presentan en la tabla 6. Esta tabla detalla el consumo diario promedio, número de unidades por caja, lead time, stock de seguridad, número de tarjetas Kanban necesarias para cada producto y la capacidad diseñada del contenedor. Este análisis es esencial para entender y mejorar la metodología Kanban en el control de inventarios del Centro Gráfico Salesiano.

Tabla 6. Variables Kanban

Codigo	CDP	Numero de unidades por caja	LTE	Stock de seguridad	Stock de seguridad/ Unidades	Numero tarjetas Kanban	Capacidad del contenedor
MPD0322	29.63	40	2.67	10	387	9	9
MPD0570	22.11	20	7	14	280	23	23
MPD0263	770.99	100	7.67	15	1467	172	172
MPD0049	5466.15	500	2.44	9	4720	130	130
MPD0021	2,098.3	500.0	1	8	4000	38	38
…	…	…	…	…	…	…	…

Nota: Extracto de la tabla de Kanban elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

5.4. DDMRP

Los niveles de inventario en los buffers se determinaron considerando los aspectos descritos en el punto 4.4 (perfiles y niveles de buffers). A partir de estos parámetros, se lograron definir las zonas verde, amarilla y roja que representan diferentes niveles de inventario.

Estos niveles proporcionan una guía clara para la gestión de inventarios y aseguran que los puntos de desacople siempre se mantengan independientes.

Tabla 7. Niveles de inventario DDMRP

Codigo	Zona Verde Final	Zona Amarilla Final	Zona Roja Final	Buffer
MPD0322	207.41	79.11	59.33	345.86
MPD0570	154.77	154.77	116.08	425.62
MPD0263	5396.93	5913.49	4435.12	15745.54
MPD0049	38263.05	13337.41	10003.05	61603.51
MPD0021	14688.31	2098.33	1573.75	18360.39
...	...	...	...	...

Nota: Extracto de la tabla de zonas DDMRP elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

5.5. Simulación con Flexsim

En la figura 4, se pueden observar las salidas totales generadas por el simulador, aplicables tanto para el sistema Kanban como para el DDMRP. Estas salidas son fundamentales para evaluar y comparar el rendimiento de ambas metodologías de control de inventarios. En la primera columna de la figura, se encuentran números que representan los diferentes productos. Esto facilita la identificación y el seguimiento de las salidas correspondientes a cada producto específico.

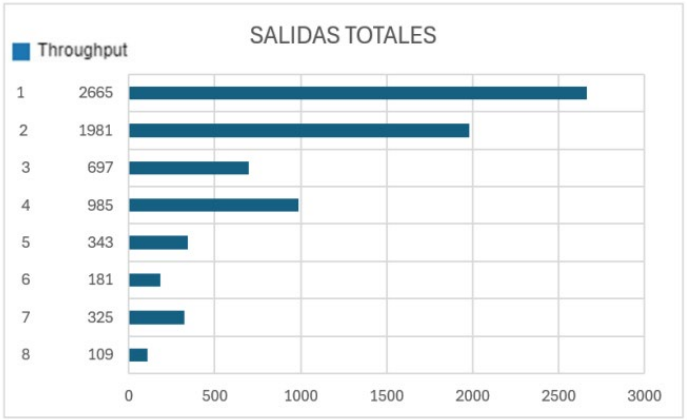


Figura 4. Gráfica de resultados de salidas totales obtenidos de flexsim

Los resultados de la prueba de hipótesis en el paso de validación mostraron que el valor p fue menor que el valor crítico, lo que nos llevó a aceptar la hipótesis nula (H0). Esto indica que no hay una diferencia significativa entre las salidas totales de cada ítem del modelo simulado y los datos reales, validando así la precisión del modelo.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 8. Variables para validación del modelo

SALIDAS TOTALES	
Tamaño (n)	44
Media	274.9
Desviacion de diferencias	2701.64842
Nivel de Confianza	0.01
Valor Critico	2.58
Valor P	0.67487

Nota: Tabla de hipótesis para validación del modelo elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

5.6. Simulación con Excel

A partir de la simulación realizada en Excel se obtuvieron los siguientes datos que se exponen en la tabla 9:

Tabla 9. Inventario promedio métodos Kanban y DDMRP

Inventario Promedio			
Kanban		DDMRP	
Codigo	Inv.Promedio	Codigo	Inv.Promedio
MDP0322	98.56	MDP0322	126
MPD0570	188.3	MPD0570	956.18
MPD0263	6018.73	MPD0263	6229.856
MPD0049	16093.99	MPD0049	22250.875
MPD0021	3135.83	MPD0021	6225.046
MPD0022	1981.92	MPD0022	3699.584
MPD0754	3630.8	MPD0754	6777.493
MPD0744	705	MPD0744	708.917

Nota: Tabla de resultados de inventario promedio métodos Kanban y DDMRP elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

Los datos obtenidos del simulador y Excel se usaron para el cálculo de costos lo cual se muestra en las siguientes tablas: A partir del inventario promedio y salidas totales se usaron para el cálculo de costos multiplicando el valor unitario de cada ítem por el valor obtenido del simulador

Tabla 10. Tabla de costos método Kanban

Kanban				
Codigo	Inv. Promedio ($)	Salidas Totales	Costo unitario	Costo salidas
MPD0322	$798.78	2665	$4.80	$12,791.00
MPD0570	$5,298.90	1981	$21.12	$41,845.50
MPD0263	$1,922.14	69700	$0.20	$13,783.72
MPD0049	$1,262.12	492500	$0.04	$22,095.25
MPD0021	$571.14	171500	$0.07	$11,354.67
...	...	...	...	...

Nota: Extracto de la tabla de costos elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

Tabla 11. Tabla de costos método DDMRP

DDMRP				
Codigo	Inv. Promedio ($)	Salidas Totales	Costo unitario	Costo salidas
MPD0322	$603.98	2665	$4.80	$12,791.00
MPD0570	$3,533.93	1981	$21.12	$41,845.50
MPD0263	$1,232.00	69700	$0.20	$13,783.72
MPD0049	$998.25	492500	$0.04	$22,095.25
MPD0021	$412.15	171500	$0.07	$11,354.67
...	...	...	...	...

Nota: Extracto de la tabla de costos elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

Estos datos se emplearon para calcular el inventario promedio en términos monetarios, así como las salidas totales. Esto permitió generar 100 réplicas necesarias para obtener el indicador de rotación de Kanban y DDMRP.

Tabla 12. Tabla de replicas Kanban

REPLICAS	INVENTARIO PROMEDIO	SALIDAS TOTALES	INDICE ROTACION
	$ 368.61	$ 4,226.79	
1	$ 371.07	$ 4,226.79	11.35677833
2	$ 368.52	$ 4,226.79	11.56943092
3	$ 377.64	$ 4,226.79	11.65644638
4	$ 371.98	$ 4,226.79	11.19072158
5	$ 361.32	$ 4,226.79	11.19611113
...	...	...	...
TOTAL	**$ 368.43**	**$ 4,226.79**	**11.5**

Nota: Extracto de la tabla de réplicas de la metodología KANBAN elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

Tabla 13. Tabla de replicas DDMRP

REPLICAS	INVENTARIO PROMEDIO	SALIDAS TOTALES	INDICE ROTACION
	$ 282.66	$ 4,226.79	
1	$ 278.43	$ 4,226.79	15.49434325
2	$ 275.36	$ 4,226.79	15.32959133
3	$ 272.61	$ 4,226.79	15.6574004
4	$ 273.36	$ 4,226.79	15.17697095
5	$ 281.80	$ 4,226.79	15.26166108
...	...	...	...
TOTAL	**$ 278.05**	**$ 4,226.79**	**15.2**

Nota: Extracto de la tabla de réplicas de la metodología DDMRP elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

Los valores obtenidos es el número de veces que rota el inventario en el tiempo promedio los cuales se muestran a continuación:

- Índice de Rotación promedio Kanban: 11.5
- Índice de Rotación promedio DDMRP: 15.2

5.7. Prueba de Hipótesis

Para determinar si hay una diferencia significativa entre los índices de rotación promedio de las metodologías Kanban y DDMRP, se realizó una prueba de hipótesis. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 14. Variables para la prueba de hipótesis

VARIABLES	KANBAN	DDMRP
TAMAÑO (n)	100	100
MEDIA	11.5	15.2
VARIANZA	0.067642012	0.08286696
NIVEL DE CONFIANZA	0.01	
VALOR CRITICO	2.58	
VALOR P	-96.11005	

Nota: Resultados de la Prueba de hipótesis elaborado por P.Garces y P.Vaquilema 2024

El valor p obtenido es menor que el valor crítico. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H0), que planteaba que no había diferencia en los índices de rotación entre las metodologías Kanban y DDMRP.

6. Conclusiones

Este trabajo de investigación incluyó un estudio de caso donde se evaluó y comparó la eficacia de las metodologías Kanban y DDMRP en el control de inventarios del Centro Gráfico Salesiano mediante simulación. Donde para DDMRP, se establecieron puntos de desacople, y se determinaron perfiles y niveles de buffers para optimizar el inventario. En el caso de Kanban, se definieron las tarjetas Kanban necesarias. Se simulo un modelo del sistema real en Flexsim durante un horizonte de 3 meses. La simulación proporciono un valor clave: las salidas totales de cada ítem. Este dato junto con el inventario promedio obtenido de la simulación manual en Excel se utilizó para calcular los índices de rotación de inventarios de ambos métodos, fundamentales para la prueba de hipótesis realizada. Dado que se rechazó la hipótesis nula, podemos concluir que existe una diferencia significativa en los índices de rotación promedio entre las metodologías Kanban y DDMRP.

Específicamente, el índice de rotación promedio de DDMRP es mayor que el de Kanban, lo cual sugiere que DDMRP podría ser más eficiente en términos de rotación de inventarios en comparación con Kanban. Un índice de rotación más alto sugiere que el inventario se renueva más frecuentemente, lo que puede indicar una gestión más eficiente en términos de flujo de inventario y uso de capital. A pesar de que Kanban mostró un índice ligeramente menor, sigue siendo una metodología efectiva para el control de inventarios. Se podría considerar una combinación de ambas metodologías o ajustar los parámetros de Kanban para mejorar su eficiencia.

En conclusión, este estudio indica que la metodología DDMRP demostró una mayor eficacia en la gestión de inventarios en el caso estudiado. Sin embargo, es crucial seguir evaluando y ajustando las estrategias de inventario para adaptarse a las necesidades específicas y cambiantes del Centro Gráfico Salesiano

Referencias

[1] G. S. Humberto, Inventarios manejo y control. Ecoe Ediciones, 2017.

[2] C. A. Laza, Gestión de inventarios. UF0476. Tutor formación, 2020.

[3] S. M. E. EDITH, “Prueba de hipótesis para la media.”

[4] M. C. Salazar and J. A. Arenas Díaz, “Disminución de niveles de inventario de repuestos de productos de linea blanca, basados en la metodología DDMRP (Demand Driven Material Requirements Planning).” 2019.

[5] U. A. y. A. L. Alaitz Kortabarria, “Demand driven mrp - nuevo método para la gestión de la cadena de suministro: un estudio de caso,” Dirección y Organización, vol. 0, no. 67, pp. 22–29, 2019. [Online]. Available: https://www.revistadyo. es/DyO/index.php/dyo/article/view/540

[6] C. Ptak and C. Smith, Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP). Industrial press, 2019, vol. 3. [Online]. Available: https: //wdn2.ipublishcentral.com//industrialpress/ viewinsidehtml/501313581746284

[7] M. Rajadell, Lean Manufacturing, 2nd ed. Ediciones Diaz de Santos S.A., 2021. [Online]. Available: https://bibliotecas.ups.edu.ec: 2708/lib/upsal/detail.action?docID=7098400& query=Lean%20manufacturing#

[8] I. B. Arce Lazo, “Propuesta para la implementación de la estrategia de manufactura kanban en el area de calandria en zeta de la empresa continental tire andina sa,” B.S. thesis, 2015.

[9] O. G. Vázquez Ramos, “Metodología para la determinación de inventarios máximos dentro de una cadena de suministros del sector automotriz basada en el uso de kanban-edición única,” 2006.

[10] V. Holguín and C. Julio, Fundamentos de control y gestión de inventarios. Programa Editorial Universidad del Valle, 2010, vol. 0. [Online]. Available: https://bibliotecas.ups.edu.ec: 3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/128995

[11] M. Bermejo, “El kanban,” Barcelona, España: UOC, 2011.

[12] A. Dueñas and I. G, Reflexiones sobre la evolución de los sistemas de producción hacia DDMRP, 1st ed. Universidad del Azuay., 2021, vol. 0. [Online]. Available: https://bibliotecas.ups.edu.ec: 3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/233905

[13] C. Ortega, "¿Qué son los datos secundarios?" 7 2023. [Online]. Available: https://www.questionpro.com/blog/es/datos-secundarios/

[14] H. Kniberg, M. Skarin, P. de Mary Poppendieck, and D. Anderson, "Kanban y scrum–obteniendo lo mejor de ambos," Prólogo de Mary Poppendieck & David Anderson. ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA: C4Media Inc, 2010.

[15] A. Amaya Aguilera and H. C. Clavijo Gallego, "Diseño de la estrategia de manufactura kanban para mejora de abastecimiento de materias primas e insumos en la fabricación de productos led, en la empresa grupo kalido sas," 2020.

[16] J. Aranzábal Fernández et al., "Digitalización de un tablero kanban en la escuela lean," 2023.

[17] Logistec, "DEMAND DRIVEN MRP (DDMRP)." [Online]. Available: https://www.revistalogistec.com/logistica/ global-2/3972-demand-driven-mrp-ddmrp

[18] J. P. Angulo Casares and L. M. Atehortua Carvajal, "Evaluación de la distribución de productos larga vida mediante aplicación de la metodología demand driven mrp apoyado en acuerdos de servicio de una empresa de alimentos," 2021.

[19] N. HERNÁNDEZ, "Planeacion de los materiales de una cadena de suministro impulsada por la demanda."

[20] E. G. Dunna, H. G. Reyes, and L. E. C. Barrón, Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Pearson Educación New York, NY, USA, 2006.

[21] R. R.-S. R. V. Díaz-Martínez, Marco Antonio Zárate-Cruz, "Simulación flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba," Científica, 2018. [Online]. Available: https: //www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458109002

[22] G. A. Salinas López, A. Victoria Moreno, and J. C. Osorio Gómez, "Impacto del material reciclado en los inventarios de materias primas de una empresa manufacturera," Revista EIA, no. 19, pp. 91–101, 2013.