

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE SISTEMAS DE SURTIMIENTO DE MATERIALES MEDIANTE TARJETAS KANBAN Y SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

PRESENTA

ING. MALENI TRIANA GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ ALFREDO JIMÉNEZ GARCÍA

CO-DIRECTOR DE TESIS

M.C. VICENTE FIGUEROA FERNÁNDEZ

CELAYA, GTO., 2020

HOJA DE AUTORIZACIÓN



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Asunto: Autorización de impresión de trabajo profesional.

Celaya Gto., **25 Febrero 2020**

M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL.
Presente.

De acuerdo a la convocatoria hecha por esta jefatura a fin de aprobar o no la impresión del trabajo profesional titulado:

**"DISEÑO DE SISTEMAS DE SURTIMIENTO DE MATERIALES MEDIANTE TARJETAS
KANBAN Y SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS"**

*Presentado por el (a) pasante **C. ING. MALENI TRIANA GARCÍA (M1803005)** alumno (a) del programa de Maestría en Ingeniería Industrial que ofrece nuestro Instituto.*

Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien aprobar la impresión de dicho trabajo para los efectos consiguientes.

ATENTAMENTE


DR. JOSE ALFREDO JIMENEZ GARCIA
Presidente


M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
Secretario


DR. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ
Vocal


EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya


M.C. MANUEL DARIO HERNANDEZ RIPALDA
Vocal Suplente

**COORDINACIÓN DE MAESTRÍA DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Ccp. Escolares
Archivo
VFF*MTE*dmvp



Antonio García Cubas #600 esq. Av. Tecnológico, Colonia Alfredo V. Bonfil, C.P.38010
Celaya, Gto. Ap 57, Conmutador 01 (461) 611 75 75 e-mail: lince@itcelaya.edu.mx
www.tecnm.mx | www.itcelaya.edu.mx

DEDICATORIA

Cada una de los logros ganados a lo largo de mi vida son impulsados por y para mis padres. Mi madre Verónica García Cervantes y mi ángel Rogelio Triana Ramón, son y serán siempre mi motivación para hacer siempre el bien y lo correcto, porque con sus enseñanzas, han hecho de mí una gran mujer.

A mi hermana Sol Marina Triana García, quien siempre me apoya moral e incondicionalmente, de quien aprendo sinceridad, humildad, honestidad. Mi Panqui.

A mi padrino Meza, desde que llegó a nuestra vida siempre ha estado presente y ha sido un gran apoyo en nuestra familia.

Al grupo A: Toni, Mariana, Eduardo, Ángel, Luis y Juanpa, compañeros que se convirtieron en amigos, en una familia. Vivimos y culminamos juntos este viaje, sin duda no hubiese sido lo mismo sin ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, el Dr. José Alfredo Jiménez García, con su conocimiento, consejos y confianza, fue guía y compañía durante este camino. Le agradezco el que me permitiera conocer su trayectoria y formar parte de su equipo de trabajo.

A mis profesores de clases y revisores de tesis, parte fundamental de mi desarrollo académico y por consiguiente de este trabajo de tesis. Cada uno de sus aportes fueron más allá de mi libreta y del salón de clases.

Al Tecnológico Nacional de México en Celaya, una de las máximas casas de estudio, que me permitió realizar el sueño de formar parte de su fila de alumnos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada como apoyo durante los estudios del posgrado.

RESUMEN

Para obtener información de la línea de producción, con el propósito de establecer métricas de comparación: producción final, trabajo en proceso, ocio por esperas por falta de surtimiento, utilización de los recursos dedicados al surtimiento, se diseñará un sistema de producción inspirado en el pensamiento esbelto para analizar detalladamente el sistema de manejo de materiales (flujo continuo de materiales desde el almacén de materias primas hasta el almacén de productos terminados) basado en tarjetas kanban y escenarios de simulación.

El actual trabajo presenta el análisis de un sistema de producción de pistones con la finalidad de mostrar cómo reducir el trabajo en proceso por medio de un sistema de tarjetas Kanban y escenarios de simulación con el software ProModel. Se representaron dos modelos de simulación: un sistema preliminar y un sistema kanban. Los resultados mostraron que la correcta aplicación de la metodología de los sistemas de tarjetas permite reducir la cantidad de producto en proceso.

ABSTRACT

In order to establish comparison metrics: final production, work in process, leisure by waiting for lack of supply, use of resources dedicated to the supply, a production system inspired by slender thinking will be designed to analyze the management system in detail. of materials based on kanban cards and simulation scenarios.

The present work exposes a process of production of pistons. The purpose is to show scenarios for the reduction of work in process by applying kanban card systems with simulation in ProModel software. Two simulation models were represented: a preliminary system and a kanban system. The correct application of the card systems methodology allows to reduce the amount of product in process. The different scenarios allowed us to obtain metrics to compare the performance of each of the configurations and present an analysis.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1.1 Introducción..... | 9 |
| 1.2 Antecedentes..... | 10 |
| 1.3 Definición del problema..... | 14 |
| 1.4 Objetivos de la investigación | 14 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 14 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 14 |
| 1.5 Justificación..... | 14 |
| 1.6 Preguntas de investigación | 15 |
| 1.7 Alcances y límites..... | 15 |
| 1.8 Hipótesis..... | 16 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 17 |
| 2.1 Estudio del trabajo | 17 |
| 2.1.1 Estudio de movimientos..... | 17 |
| 2.1.2 Estudio de tiempos con cronómetro | 18 |
| 2.1.3 Estudio de tiempos predeterminados | 18 |
| 2.1.4 Balanceo de líneas | 18 |
| 2.2 Planeación y diseños de instalaciones..... | 18 |
| 2.2.1 Localización de instalaciones | 19 |
| 2.2.2 Distribución física de la planta..... | 19 |
| 2.2.3 Manejo de materiales | 20 |
| 2.3 Cadena de suministro | 22 |
| 2.4 Manufactura esbelta..... | 23 |
| 2.4.1 Pensamiento esbelto..... | 23 |
| 2.4.2 Establecimiento de procesos flexibles | 24 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 2.4.3 | Mejora continua..... | 24 |
| 2.4.4 | Mantenimiento productivo total | 24 |
| 2.4.5 | Mapa de la cadena de valor | 25 |
| 2.4.6 | Sistema kanban..... | 25 |
| 2.5 | Simulación..... | 31 |
| 2.5.1 | Simulador ProModel..... | 31 |
| 2.5.2 | Pasos para realizar un modelo de simulación..... | 33 |
| 2.5 | Estado del arte | 34 |
| CAPÍTULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN | | 39 |
| 3.1 | Descripción de la metodología | 40 |
| 3.1.1 | Identificar todas las formas y tipos de tarjetas kanban..... | 40 |
| 3.1.2 | Establecer todas las configuraciones de planta para los sistemas de producción..... | 40 |
| 3.1.3 | Construir un modelo de simulación para cada configuración | 40 |
| 3.1.4 | Implementar un sistema de producción mediante tarjetas kanban para cada configuración..... | 41 |
| 3.1.5 | Obtener métricas de comparación..... | 41 |
| 3.1.6 | Determinar cuál es la mejor forma de implementar el sistema de producción jalar mediante tarjetas kanban | 41 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS..... | | 42 |
| 4.1 | Fase 1. Definición del sistema..... | 42 |
| 4.2 | Fase 2. Estudio de la metodología kanban en el sistema | 44 |
| 4.3 | Fase 3. Aplicación de la metodología kanban en diferentes configuraciones..... | 45 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES..... | | 50 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Kanban monoficha. Fuente: (Crespo, Velando, & Pérez, 1998) | 28 |
| Figura 2.2 Kanban doble tarjeta. Fuente: (Crespo, Velando, & García, 1998)..... | 29 |
| Figura 2.3 Kanban minimal blocking. Fuente: (Crespo, Velando, & García, 1998)..... | 29 |
| Figura 2.4 Kanban ConWIP. Fuente: (Crespo, Velando, & García, 1998)..... | 30 |
| Figura 2.5 Kanban Trigger. Fuente: (Mora, Tobar, & Soto, 2012). | 30 |
| Figura 3.1 Método de investigación (Fuente: elaboración propia)..... | 39 |
| Figura 4.1 Flujograma del proceso. Fuente: elaboración propia | 43 |
| Figura 4.2 Modelo preliminar. Fuente: elaboración propia | 43 |
| Figura 4.3 Modelo kanban ConWIP. Fuente: elaboración propia..... | 44 |
| Figura 4.4 Resultados modelo preliminar. Fuente: elaboración propia | 45 |
| Figura 4.5 Resultados modelo kanban ConWIP. Fuente: elaboración propia..... | 45 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--------------------|----|
| Ecuación 2.1 | 25 |
| Ecuación 2.2 | 30 |
| Ecuación 2.3 | 31 |
| Ecuación 2.4 | 31 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-------------------------------------|
| Tabla 2.1 Estado del arte (Fuente: elaboración propia) ..; | Error! Marcador no definido. |
| Tabla 4.1 Tiempos y capacidades de las operaciones (Fuente: elaboración propia) | 42 |

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La manufactura esbelta ha desarrollado herramientas para el control y flujo de la producción, necesaria para crear sistemas de control a nivel organizacional. Fue desarrollada para obtener un nivel competitivo en la industria automotriz asiática. Sus principios tienen como objetivo la eliminación de desperdicios dentro y fuera de un proceso, evitando la sobreproducción (Liker, 2004).

De acuerdo con la filosofía de manufactura esbelta, un proceso debe basar su producción en la necesidad del cliente, es así como se aplica el sistema jalar para que el flujo de la producción sea “jalado” por las necesidades de un pedido. Una herramienta que facilita la implementación de un sistema de producción jalar, es el sistema de tarjetas Kanban. El sistema kanban permite dar inicio a una actividad de operación o de transporte que aprueba realizar únicamente las actividades necesarias del proceso. Es así como la aplicación de estos sistemas permite evitar desperdicios como sobreproducción, actividades innecesarias, exceso de inventarios, entre otros (Mora, Tobar, & Soto, 2012). Una demanda cambiante exige modificaciones y alternativas para hacer más eficientes los procesos (González, 2005).

Un sistema de surtimiento de materiales puede tener una mayor eficacia teniendo en cuenta los conceptos de los sistemas jalar y kanban, por lo que surge la necesidad de diseñar sistemas de surtimiento de materiales bajo estos conceptos. Para determinar sus potenciales beneficios es posible comprobar su efectividad en diferentes configuraciones de planta por medio de modelos simulados. Para medir su desempeño, en esta tesis se proponen los siguientes indicadores: producción final, trabajo en proceso, ocio por esperas por falta de surtimiento y la utilización de los recursos dedicados al surtimiento.

El sistema de tarjetas kanban permite la sincronización para obtener la producción en la cantidad y en el momento adecuados (Hernández & Vizán, 2013), donde los flujos de las líneas de producción dependen del buen uso de las tarjetas (Matta, Dallery, & Di Mascolo, 2005). El sistema kanban basa su funcionamiento en el correcto uso de la

información expuesta en cada una de las tarjetas y en el completo conocimiento del proceso de producción (Arango, Campuzano, & Zapata, 2015). Existen combinaciones y modificaciones de acuerdo con las condiciones del proceso y la demanda (Crespo, Velando, & García, 1998). El trabajo en proceso y los tiempos de entrega son dos conceptos que ayudan a la correcta implementación de los sistemas kanban. Para determinar sus potenciales beneficios es posible comprobar su efectividad en diferentes configuraciones por medio de modelos simulados.

La simulación representa una ventaja económica y competitiva a nivel organizacional que permite la representación de escenarios reales de manera virtual bajo condiciones específicas, tantas veces como sean necesarias (Lion, 2005). Es así como se justifica el uso del programa ProModel en el presente trabajo, ya que esta herramienta cuenta con las funciones necesarias para realizar los modelos de sistemas de surtimiento obteniendo las métricas de comparación necesarias que permitan obtener conclusiones contundentes.

1.2 Antecedentes

Los métodos o técnicas son las herramientas que ayudan en la búsqueda de soluciones para problemáticas específicas. Representan ideas que suponen una respuesta ante el problema. El resultado final se refleja en un conjunto de recursos idóneos y prácticos que reciben el nombre de diseño (Wong, 1995). Los métodos son necesarios y útiles para las reformas estratégicas.

El diseño en los procesos industriales busca poner énfasis en la forma, función y enfoque en ciertas áreas de la producción para permitir la optimización. Con su correcta distribución se logra un ordenamiento físico de los elementos necesarios durante y para el proceso. Comprende los espacios necesarios para movimientos, almacenamientos y todas las actividades dentro de la instalación (Salazar, 2016).

Por otra parte, los sistemas de surtimiento mejoran la distribución de recursos materiales. Comprenden el almacenamiento y abastecimiento para la demanda dentro de la planta de producción (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). Al ser diseñados correctamente, se asegura el arribo en condiciones de tiempo, forma, cantidad, para

cumplir con las necesidades dentro y fuera del proceso. El funcionamiento de los sistemas de surtimiento de materiales prevé la insuficiencia de productos y piezas para realizar la adquisición única y exclusivamente de los necesarios en el proceso.

Uno de los mejores sistemas de surtimiento es mediante un sistema jalar. Al trabajar en respuesta con la demanda, el sistema jalar programa y elabora el almacenamiento de los productos de acuerdo con el flujo de la producción (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). Aplicado como un sistema de surtimiento, indica jalar el material preciso en la cantidad que se necesita. Se enfoca en mover el material entre operaciones de uno por uno para tener un control en los inventarios, que desarrolla las órdenes de fabricación atendiendo la demanda de la producción. El sistema jalar previene pérdidas en tiempo, dinero y espacio; minimizando inventarios en proceso, maximizando tiempos de retroalimentación, reduciendo espacios y minimizando tiempos de entrega. Ayuda a la eliminación de los “Siete desperdicios” identificados por el Ingeniero en Jefe de Toyota, Taiichi Ohno, como parte del sistema de producción: transportación, inventario, movimiento, espera, sobre procesamiento, sobre producción, defectos.

El buen funcionamiento y diseño de un sistema, depende de la aplicación correcta de las herramientas. El sistema de kanban es una herramienta para la reducción de costo de volúmenes de inventario dentro de las líneas de producción. Kanban es una tarjeta que contiene toda la información requerida de un componente de fabricación para el surtimiento del mismo para un proceso en específico: número de parte del componente, descripción del componente, área de suministro, etc., donde el flujo de las líneas de producción depende del buen uso de las tarjetas (Matta, Dallery, & Di Mascolo, 2005).

Arango, Campuzano y Zapata (2015), presentaron en su trabajo “Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban” un análisis del efecto de aplicar la metodología kanban en una empresa de fabricación de transformadores de distribución. Utilizando la técnica de simulación, modelaron el proceso actual y el propuesto con las reglas de dicha metodología, encontrándose reducciones en el número y en la variabilidad de productos en procesos, así como la reducción del número de órdenes enviadas a producción para la fabricación de transformadores de potencia, lo que permitió disminuir los niveles de inventario de productos en proceso en líneas de producción.

Así mismo, Mora, Tobar y Soto (2012), en su trabajo “Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo pull mediante simulación” clarifican las diferencias entre los distintos mecanismos de funcionamiento de sistemas de producción tipo pull basados en tarjetas Kanban por medio del programa de simulación ProModel. Los tipos de Kanban analizados fueron: “Kanban Doble Tarjeta”, “ConWIP”, “Kanban Mono Ficha”, “Kanban Minimal Blocking”. Utilizando como medidas de desempeño: producto en proceso, órdenes entregadas, y el tiempo de ciclo promedio de respuesta a los pedidos de los clientes, demostrando los mejores resultados con el sistema “Kanban Doble Tarjeta”.

Las líneas de producción son el área donde se emplean las herramientas para realizar un trabajo. Asumen el tiempo de ciclo del producto, el tipo de material que se requiere, lo que ayuda a obtener el material específico en el tiempo necesario. Su representación puede realizarse mediante modelaciones programadas que permitan manipular sus diferentes variables con sus respectivas respuestas, llamadas simulaciones. La simulación constituye el modelado de un sistema de acuerdo con datos de entrada que son procesados durante un ensayo (Himmelblau & Bischoff, 2010). Un software de simulación permite observar el comportamiento de diversos eventos, sujetos a ciertas condiciones, de manera virtual. El software de simulación ProModel, permite el análisis de procesos de producción reales con la finalidad de poder optimizarlos.

Bernal, Sarmiento y Restrepo (2015), presentaron su trabajo “Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en ProModel utilizando path networks type crane”, en donde se enfatiza la utilidad del programa ProModel. Se centra en el diseño de una simulación del proceso de una celda de manufactura flexible (FMC) de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el propósito de medir y elegir aquella alternativa de solución que mejore en mayor grado la productividad del sistema actual utilizando los resultados que proporciona el software ProModel. La simulación del modelo permitió construir y validar una metodología para el mejoramiento de procesos y maximización del uso de los recursos.

De igual manera, Morales, et. al (2013), en su investigación “Modelación de la cadena de suministro evaluada con el paradigma de manufactura esbelta utilizando simulación” crearon diferentes escenarios, incorporando las variables necesarias para simular, para la modelación de una cadena de suministro para la filosofía de la manufactura esbelta mediante el simulador ProModel. Con el modelo de cadena de suministro desarrollado en el software, lograron la representación de una cadena de suministro conforme a la estructura y el comportamiento que se requieren para la experimentación de posibles mejoras con manufactura esbelta bajo los parámetros que se refieren a reducciones de desperdicio en el proceso de la cadena.

Sin embargo, los sistemas de surtimiento de materiales implican problemáticas en diferentes ramas industriales, atacadas de acuerdo a diferentes filosofías de producción: En una investigación de Papadopoulos, Zamer, Sotiris y Tatsiopoulos (2016), “Supply Chain Improvement in Construction Industry” se presenta un estudio para la aplicación, mejora y análisis en la cadena de suministros enfocada al área de la construcción. En donde grandes empresas de construcción internacionales han llevado a cabo una extensa investigación y han desarrollado plataformas basadas en computadora para experimentar los conceptos recientes de Supply Chain Management (SCM), mostrando la presencia y persistencia de problemas. Demostrando algunos de los principales beneficios que pueden lograr las organizaciones de construcción al aplicar los principios de SCM: costos reales reducidos, mantenimiento de márgenes, incentivo para eliminar residuos del proceso, ventajas competitivas, mayor certeza de los costos de entrega, entrega de un mejor valor subyacente al cliente, entrega a tiempo, mejora de la productividad, creación de valor, más negocios de repetición con clientes clave, mayor confianza en la planificación a largo plazo y mejores relaciones entre las partes.

Así mismo, Satoglu y Sahin (2013), en su trabajo “Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry” muestran el diseño de un sistema interno de suministro de material de producción de leche y la aplicación del mismo en una planta de ensamblaje de TV demostrando su utilidad para la práctica real. Proponen un modelo matemático para el diseño del sistema de suministro de material de producción de leche JIT con el objetivo de construir la ruta y determinar el periodo de servicio que minimiza el manejo total de materiales y el

costo de inventarios. Se demostró también la aplicación del modelo en una planta de ensamblaje de televisores, obteniendo como resultados la construcción de dos rutas y con un período de servicio de 45 minutos para cada una de ellas.

1.3 Definición del problema

Para obtener información de la línea de producción, con el propósito de establecer métricas de comparación: producción final, trabajo en proceso, ocio por esperas por falta de surtimiento, utilización de los recursos dedicados al surtimiento, se diseñará un sistema de producción inspirado en el pensamiento esbelto para analizar detalladamente el sistema de manejo de materiales (flujo continuo de materiales desde el almacén de materias primas hasta el almacén de productos terminados) basado en tarjetas kanban y escenarios de simulación.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de surtimiento de materiales esbelto para eliminar desperdicios en líneas de producción, basado en tarjetas kanban y escenarios de simulación.

1.4.2 Objetivos Específicos

- 1 Minimizar pérdidas por falta de surtimiento en líneas de producción.
- 2 Reducir el trabajo en proceso en sistemas de producción.
- 3 Analizar el desempeño de un sistema de producción jalar en diferentes configuraciones de planta.
- 4 Determinar cuál es la configuración donde se facilita de mejor manera la aplicación de sistemas kanban.
- 5 Determinar el número de tarjetas y la cantidad de productos que debe contener cada kanban en diferentes configuraciones, mediante escenarios de simulación.

1.5 Justificación

El propósito de una empresa es satisfacer las necesidades de su cliente, procurando implementar “el hacer más con menos”. El suministro y requerimiento de los materiales es una actividad obligada para el flujo en la línea de producción, que de manera conjunta permite trabajos eficientes, en tiempo y forma, evita actividades innecesarias e

impulsa la competitividad de la empresa. La manufactura esbelta brinda herramientas y principios que intentan eliminar todo tipo de desperdicios en la producción. Un sistema de surtimiento de materiales, en el entendido de la manufactura esbelta, reducirá las pérdidas que se implican al no existir un flujo continuo del surtimiento de materiales en la línea de producción.

Debido a la importancia de una correcta administración en la línea de producción, se propone el diseño de un sistema de surtimiento de materiales basado en la manufactura esbelta que busca eliminar aquellas acciones que no agreguen valor, desde la llegada de la materia prima hasta la entrega del producto final. Se propone analizar la implementación del sistema de tarjetas kanban, para permitir la correcta identificación de los materiales, validando su eficacia en diferentes configuraciones. Debido a su flexibilidad y al estudio directo del problema, un software de simulación permite realizar ensayos de procesos reales de manera virtual, por lo que, aunado a las herramientas de la manufactura esbelta y por medio del simulador ProModel, se obtendrán métricas de comparación mediante el análisis de las diversas variables de un proceso de producción real.

1.6 Preguntas de investigación

- ¿Cuál es el método más eficiente para implementar de manera correcta un sistema de producción jalar con ayuda de tarjetas kanban?
- ¿Cómo influyen los sistemas kanban en las diferentes configuraciones de planta?
- ¿Cuál es el mejor sistema de tarjetas kanban para las diferentes configuraciones de planta?
- ¿Cuál es la metodología adecuada para simular sistemas de producción donde se mueven materiales mediante tarjetas kanban?

1.7 Alcances y límites

El actual proyecto de investigación presentará un diseño de surtimiento de materiales basado en la manufactura esbelta, como la implementación del justo a tiempo, el sistema jalar por medio de tarjetas kanban, explorando las diferentes configuraciones de planta, para permitir medir la eficiencia de los diferentes sistemas de producción. Se obtendrán métricas de comparación como son: trabajo en proceso, tiempos de entrega,

porcentaje de ocio de los recursos utilizados para el movimiento de materiales, productos terminados, niveles de inventarios, que serán obtenidos de manera virtual por medio del software de simulación ProModel.

1.8 Hipótesis

El uso de la simulación de eventos discretos asegura el éxito en el diseño de un sistema de surtimiento de materiales mediante tarjetas kanban.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

La aplicación del conocimiento tiene una base y fundamentos, se lleva a cabo gracias a la comprensión de ciertas teorías y metodologías ya establecidas. El marco teórico es la parte fundamental de una investigación, describe los principios y teorías con las que se llevará a cabo un trabajo, sustentan el desarrollo de la investigación (Behar, 2008). El siguiente marco teórico está enfocado en conceptos y teorías del estudio del trabajo, la simulación, la manufactura esbelta, y todas las herramientas necesarias que servirán para contextualizar el desarrollo de la presente tesis.

2.1 Estudio del trabajo

El estudio del trabajo es una herramienta que tiene como propósito el análisis de todos los factores que permite la productividad de una empresa. Estudia la relación insumos-productos y el tiempo mínimo necesario para que se dé la producción. Tiene como técnicas más sobresalientes el Estudio de Métodos y la Medición del Trabajo (Salazar, 2016).

El estudio del trabajo sigue una metodología para poder ser constituido favorablemente. De acuerdo con Kanawaty (1996), consiste en:

1. Seleccionar el trabajo o proceso de estudio.
2. Registrar los datos pertenecientes al proceso.
3. Examinar los hechos: dónde se ejecutan, quién los ejecuta, cómo se ejecutan.
4. Establecer el método más económico, tomando en cuenta todas las circunstancias y todas las herramientas para la gestión.
5. Evaluar los resultados actuales versus los anteriores.
6. Definir el nuevo método y exponerlo a quienes corresponda.
7. Implantar el nuevo método.
8. Controlar el nuevo método, siguiendo y comparando los objetivos.

2.1.1 Estudio de movimientos

El movimiento de los procesos en la industria se lleva a cabo por maquinarias y recurso humano. Los movimientos que realiza un operario al realizar su trabajo pueden afectar positiva o negativamente la producción durante un proceso. “El estudio de movimientos

es el análisis cuidadoso de los movimientos del cuerpo empleados al hacer un trabajo” (Freivalds & Niebel, 2008). Analiza el método utilizado por el trabajador para realizar sus actividades, para reducir al máximo el esfuerzo y obtener un buen trabajo.

2.1.2 Estudio de tiempos con cronómetro

Los estudios de tiempo en el trabajo desempeñado por un operador son necesarios para garantizar la productividad. El tiempo se supone un estándar que asegura una tarea bien realizada en condiciones de un trabajador debidamente capacitado (Jananía, 2008). Cronometrar los tiempos permite establecer pautas que delimitan una operación de otra e identificar las necesidades en cada una de ellas. El estudio de tiempo con cronómetro brinda una medición parcial y una total para obtener registros más completos.

2.1.3 Estudio de tiempos predeterminados

Los tiempos predeterminados basan su estudio en los movimientos básicos, necesarios para realizar una actividad. “Son el resultado del estudio de un gran número de muestras de operaciones diversificadas, con un dispositivo para tomar el tiempo” (García, 2005). El estudio tiene la finalidad de agrupar determinados movimientos básicos, que en conjunto forman una operación, con la finalidad de cuantificarlos sin la necesidad de usar un dispositivo de medición.

2.1.4 Balanceo de líneas

El balanceo en las líneas de producción es un ajuste entre las entradas y salidas en la línea de producción. Es un equilibrio entre las principales variables: inventarios en proceso, tiempos de fabricación, tiempos de entrega, entre otros. La finalidad de equilibrar estas variables es permitir un trabajo uniforme entre los operarios y máquinas para poder establecer una velocidad de acuerdo con la operación cuello de botella (Meyers, 2000). Conocer los tiempos de las operaciones es parte fundamental para el balanceo de las líneas de producción.

2.2 Planeación y diseños de instalaciones

Consiste en la correcta distribución y ubicación de las instalaciones de una planta. Su objetivo es el orden entre el área de trabajo, el equipo y el recurso humano procurando la seguridad y la reducción de costos (Hazer & Render, 2009). Esta actividad asegura el

buen uso e interacción entre los usuarios y las instalaciones con la finalidad de obtener una mejor productividad. Afectando la productividad y rentabilidad de una compañía.

La distribución es el arreglo físico de máquinas y equipos para la producción, estaciones de trabajo, personal, ubicación de materiales de todo tipo y en toda etapa de elaboración, y el equipo de manejo de materiales. El manejo de materiales se define sencillamente como mover material (Meyers & Stephens, 2006).

2.2.1 Localización de instalaciones

Un factor con mucho impacto en la competitividad e ingresos de utilidades de una empresa es la localización de sus instalaciones ya que esta debe asegurar la mayor obtención de insumos: mano de obra, materia prima, energías, etc. Aunque la localización depende del tipo de negocio esta debe “maximizar el beneficio de la ubicación para la compañía” (Hazer & Render, 2009). Algunos aspectos para evaluar en la decisión de la ubicación de una planta son la política, valores y cultura del lugar, y la cercanía con otros mercados.

2.2.2 Distribución física de la planta

La necesidad de realizar un cambio de distribución en la planta es para realizar mejoras en los métodos o maquinaria. La distribución de una planta se refiere al posicionamiento físico de los espacios dentro de la planta, priorizando el flujo del movimiento. Se puede representar de forma gráfica en un plano y se pueden suponer diferentes distribuciones de acuerdo con las necesidades (Meyers & Stephens, 2006). “Implica crear relaciones de importancia de que cada uno de los centros de trabajo esté ubicado junto a cada uno de los demás” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). Se basa en la relación de movimientos material-hombre-maquinaria que es la relación de movimientos de un sistema productivo. Los métodos utilizados para la distribución de planta son: Método de eslabones, Método de intensidad de tráfico y Método ubicación de elementos.

Tipos de distribución

Una distribución efectiva facilita la interacción entre materiales, personas e información. En situaciones de producción, la distribución implica la mejor colocación

de las máquinas. De acuerdo con Hazer y Render (2009), algunos tipos de distribución puede ser:

1. Distribución de almacén: Aborda los intercambios que se dan entre espacio y manejo de materiales.
2. Distribución de posición fija: Estudia los requerimientos de distribución de proyectos grandes y voluminosos, como barcos y edificios.
3. Distribución orientada al proceso: Trata la producción de bajo volumen y alta variedad (también llamada “taller de trabajo” o producción intermitente).
4. Distribución de célula de trabajo: Acomoda maquinaria y equipo para enfocarse en la producción de un solo producto o de un grupo de productos relacionados.
5. Distribución orientada al producto: Busca la mejor utilización de personal y maquinaria en la producción repetitiva o continua.

2.2.3 Manejo de materiales

El manejo de materiales trata sobre la forma en que se mueve material: momento, cantidad, secuencia y posición adecuados. Se refiere principalmente a los trabajos físicos que realiza el personal, esfuerzo que en la actualidad se ha minimizado con el uso de equipos y materiales que garantizan la producción y la seguridad de los trabajadores y la planta (Meyers & Stephens, 2006). Así mismo, algunos de los sistemas que permiten tener el material en movimiento son los sistemas de numeración, localización y etiquetados de partes, el control de inventarios, tamaño de lote y cantidades por ordenar.

De acuerdo con Meyers y Stephens (2006), el manejo de materiales se rige por 20 principios, los cuales son:

1. Principio de planeación. Planear todo para hacer más eficiente el proceso.
2. Principio de los sistemas. Integrar muchas actividades de manipulación.
3. Principio del flujo de materiales. Disponer de una secuencia y distribución del proceso que optimice el flujo del material.
4. Principio de simplificación. Simplificar el manejo evitando actividades innecesarias.
5. Principio de gravedad. Utilizar la gravedad para mover el material.

6. Principio de la utilización del espacio. Hacer uso óptimo del volumen del inmueble.
7. Principio del tamaño unitario. Incrementar la cantidad, el tamaño o el peso de las cargas unitarias o la tasa de flujo.
8. Principio de mecanización. Mecanizar las operaciones de manipulación.
9. Principio de automatización. Automatizar todas las funciones del proceso.
10. Principio de selección del equipo. Considerar todos los aspectos del material que se manipulará.
11. Principio de estandarización. Estandarizar los métodos de manejo, así como los tipos y los tamaños del equipo para ello.
12. Principio de adaptabilidad. Usar los métodos y el equipo que realicen del mejor modo varias tareas y aplicaciones.
13. Principio del peso muerto. Reducir la razón de peso muerto del equipo de manipulación a la carga que soportará.
14. Principio de utilización. Optimizar el uso del equipo y la mano de obra para el manejo de materiales.
15. Principio de mantenimiento. Planear el mantenimiento preventivo y programar las reparaciones de todo el equipo de manejo.
16. Principio de obsolescencia. Reemplazar los métodos y el equipo obsoletos de manejo cuando sea necesario.
17. Principio de control. Usar las actividades de manejo para mejorar el control del inventario de producción y la atención de las órdenes.
18. Principio de capacidad. Emplear el equipo de manejo para alcanzar la capacidad de producción que se desea.
19. Principio del rendimiento. Determinar la eficacia del rendimiento del manejo en términos de gasto por unidad manejada.
20. Principio de seguridad. Contar con métodos y equipo apropiados para hacer el manejo con seguridad.

Análisis sistemático del manejo de materiales

La ineficiencia del manejo de materiales puede, con frecuencia, originar pérdidas y disminución de beneficios. Para solucionarlo es posible aplicar un procedimiento sencillo. Según Muther y Haganäs (1969), consiste en:

- Clasificación de los materiales: Se analizan los materiales de acuerdo con su estado físico, tamaño, peso, controles especiales, entre otros.
- Distribución de planta: La distribución de planta permite entender de qué modo afecta el movimiento de materiales en el proceso.
- Análisis de los movimientos: Permite conocer la ruta del material desde su origen hasta su destino. Incluye distancia, situación física, medida de materiales.
- Visualización de los movimientos: Se desarrolla un método partiendo de los requerimientos que los materiales y movimientos necesitan. Es visualizar el flujo mediante diagramas.
- Conocimiento y comprensión de los métodos de manejo de materiales: Se necesita identificar las posibles formas o métodos de manejo que adecuen a la situación planteada.
- Planos Preliminares de manejo de materiales: Se fijan situaciones preliminares de acuerdo con la información recabada.
- Modificaciones y limitaciones: Se hacen modificaciones, si es necesario, de acuerdo con las limitaciones encontradas.
- Cálculo de los requerimientos: Para cada plan se realizan los cálculos de requerimientos precisos.
- Evaluación de alternativas: Se resuelve cada alternativa con la finalidad de poder evaluarla y elegir la más conveniente.

2.3 Cadena de suministro

Un sistema productivo se define como el conjunto de actividades y componentes que permiten la transformación de insumos en un producto final (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). Dentro de tales actividades, tienen cabida todas aquellas que permiten el aprovisionamiento y flujo de materiales, conocidas como cadena de suministro (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). Según Hazer y Rander (2009), una cadena de suministros debe ser capaz de:

1. Reaccionar ante los cambios repentinos en disponibilidad de partes, canales de distribución o embarque, impuestos de importación, y tasas de cambio.
2. Usar lo último en tecnología de cómputo y transmisión para programar y administrar los envíos de partes que entran y de productos terminados que salen.

3. Tener especialistas locales para el manejo de impuestos, fletes, aduanas y aspectos políticos.

La posibilidad de predecir la demanda y el margen de utilidad de los productos son las principales determinantes de la selección del canal de suministros (Ballou, 2004). Una demanda estable facilita la planeación.

2.4 Manufactura esbelta

Lean manufacturing es el nombre formal de la manufactura esbelta, se trata de un sistema de trabajo que busca la mejora continua dentro de una organización, con la finalidad de eliminar desperdicios y agregar valor a la cadena de producción (Hazer & Render, 2009). El sistema fue presentado por Taiichi Ohno como propuesta para el Sistema de Producción Toyota (TPS). El sistema se basa en 14 principios donde se observan cuatro etapas: filosofía, procesos, personal, resolución de problemas. Las herramientas que la manufactura esbelta ofrece son: Las 5S, SMED, Estandarización, TPM, Control visual, Jidoka, Técnicas de calidad, Sistemas de participación del personal (SPP), Heijunka y Kanban (Hernández & Vizán, 2013).

2.4.1 Pensamiento esbelto

El pensamiento esbelto recae en las actividades que permiten agregar valor a los procesos eliminando los desperdicios, que son aquellas actividades o características por las que el cliente no paga: exceso de inventarios y transporte, demora en tiempos de entrega (Quesada, Buehlmann, & Arias, 2013). “Cuando los sistemas Just in time (JIT), TPS y las operaciones esbeltas se implementan como estrategia general de manufactura, ayudan a mantener la ventaja competitiva y resultan en mayores rendimientos globales” (Hazer & Render, 2009).

Desperdicios

De acuerdo con Liker y Meyer (2005), los desperdicios (mudas) identificados por la filosofía de la manufactura esbelta son:

- Sobreproducción: Producir pronto o en mayores cantidades que lo requerido.
- Espera: Personal y/o maquinaria inactiva.

- Sobreprocesamiento: Actividades innecesarias.
- Inventarios: Exceso de materiales durante el proceso.
- Transporte: Manipulaciones y/o traslados de materiales innecesarios.
- Movimiento: Desplazamiento de empleados innecesarios.
- Defectos: Errores o desperfectos de los productos.

2.4.2 Establecimiento de procesos flexibles

Los procesos flexibles consisten en distribuciones de planta que permitan disminuir movimientos innecesarios de personas, equipos y materiales (Hazer & Render, 2009). Los sistemas flexibles de producción van de la mano con equipo que sea sencillo de preparar, para permitir cambios rápidos de acuerdo con el proceso que se deba efectuar (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). El JIT propone distribuciones que reducen distancias, espacios, inventarios, para la eliminación de movimientos, revelando la existencia de equipos y trabajadores excedentes para aprovechar al máximo la capacidad laboral.

2.4.3 Mejora continua

En la filosofía de la manufactura esbelta se emplea el término de mejora continua o mejora constate (kaizen: cambio para mejorar). Es una filosofía que lucha por la perfección y mantenimiento de la producción. El concepto involucra cualquier acción, por pequeña que sea, que permita mejoras en el proceso (Womack & Jonas, 1996). La metodología kaizen se basa en: planear, hacer, verificar y actuar.

2.4.4 Mantenimiento productivo total

El TPM, por sus siglas en inglés Total Productive Maintenance es una herramienta que brinda la manufactura esbelta para prevenir disponibilidad y servicio en las operaciones. Persigue la prevención de desperdicios de tiempo provocado por máquinas paradas (Hernández & Vizán, 2013). Sus cimientos principales son: Mejoras enfocadas, Mantenimiento autónomo, Mantenimiento planificado, Mantenimiento de calidad, Educación y entrenamiento y Seguridad y medio ambiente (Salazar, 2016).

2.4.5 Mapa de la cadena de valor

También conocido como VSM por sus siglas en inglés (Value Stream Map) son todos los pasos o actividades (que adicionan o no adicionan valor) requeridas para realizar un producto desde las materias primas hasta el cliente final. Es un documento de referencia para determinar excesos en el proceso y documentar la situación actual (Womack & Jonas, 1996). El flujo de valor completo para cada producto es el siguiente paso en el pensamiento lean, que casi siempre expone enormes cantidades de muda, incluso asombrosas. El mapeo del proceso involucra agrupar los productos por familia.

Indicadores del mapa de la cadena de valor

- Tiempo takt (takt time): Indica la frecuencia de compra del cliente:

$$Tiempo\ takt = \frac{Tiempo\ requerido\ de\ producción\ (segundos)}{Volumen\ de\ entrega\ (piezas)} \quad Ecuación\ 2.1$$

- Tiempo de ciclo individual: Es el tiempo de cada operación.
- Tiempo de ciclo total (lead time de fabricación): Es la sumatoria de todos los tiempos de ciclo individual.
- Tiempo de entrega logística: Es el tiempo desde el suministro de materia prima hasta la distribución del producto terminado.

2.4.6 Sistema kanban

Sistema jalar

Es necesario saber que el sistema de tarjetas kanban basa su flujo de producción en el sistema jalar, cada etapa del proceso tiene un punto de almacenamiento de entrada y un punto de almacenamiento de salida. El sistema jalar genera un jalón de materiales durante todo el proceso de acuerdo con la cantidad total de un pedido, dejando que la demanda sea quien oriente a la producción (Mora, Tobar, & Soto, 2012). La principal ventaja del sistema jalar es el inventario reducido y la conjunta reducción del costo del inventario (Sendil & Panneerselvam, 2007). Es debido decir que, la perfección se logra cuando las personas dentro de la organización se dan cuenta de que el proceso de mejora para la eliminación de desperdicios y reducción de los errores es lo que ofrece al cliente lo que realmente desea (Lian & Van Landeghem, 2007).

Kanban

El sistema kanban es una herramienta que permite el control de materiales y la producción. Su nombre se traduce como tarjeta, en la actualidad se conoce como una señal que forma parte de un sistema que permite el movimiento de la producción de acuerdo con el sistema jalar (Hazer & Render, 2009). Permiten la sincronización para obtener la producción en la cantidad y en el momento adecuados (Hernández & Vizán, 2013). Indican la escasez de algún insumo o producto y por consecuencia la necesidad de resurtirse. Las tarjetas kanban tienen la facilidad de ser calculadas para utilizar solo las necesarias de acuerdo con el tipo de planta o trabajos realizado.

Las tarjetas kanban pretenden ser usadas en la cantidad mínima posible para poder reducir los diferentes tipos de desperdicios, dependen del proceso de producción y del pedido del cliente. Kanban basa su funcionamiento en el sistema de procesamiento jalar, que especifica que los materiales se van “jalando” conforme al procesamiento del pedido, por lo que únicamente se van requiriendo los materiales de acuerdo con las necesidades de la demanda (González, 2007). El sistema implica un trabajo por flujo tenso que significa trabajar en base a la demanda del cliente, es un sistema que da pie al inicio de un proceso siempre y cuando exista la señal de que un proceso anterior ha sido concluido. Da prioridad al orden de llegada de cada pedido para realizar el respectivo aprovisionamiento de los materiales. Involucra, de igual manera, el transporte del producto en cualquier etapa del proceso (estaciones o proceso siguiente, bodegas de almacenamiento o de materia prima).

Criterios y funciones.

El sistema kanban basa su funcionamiento en el correcto uso de la información expuesta en cada una de las tarjetas y en el completo conocimiento del proceso de producción. De acuerdo con Cabrera (2012), existen algunos criterios para la efectividad del sistema kanban:

1. No se debe enviar producto defectuoso en ninguna de las etapas del proceso.
2. En cada etapa del proceso se debe utilizar únicamente el material necesario.
3. Se debe producir solo requerido en cada etapa del proceso.

4. Se da inicio al proceso solo si existe la autorización de la etapa anterior.
5. Equilibrar y suavizar el flujo de producción (trabajadores, máquinas, proceso).
6. Se debe buscar minimizar la cantidad de tarjetas kanban utilizadas.

Lo anterior son la base para la producción con tarjetas kanban, deben aplicarse en cada etapa del proceso para que exista un flujo continuo. Así mismo, es de suma importancia que el personal se encuentre familiarizado y sumamente preparado con el funcionamiento del sistema. De acuerdo con Sugimori, Kusunochi, Cho y Uchikawa (1977), las tarjetas kanban ayudan a cumplir con las siguientes necesidades:

1. Entregar el material justo a tiempo,
2. Pasar la información a la etapa anterior sobre qué y cuánto producir, e
3. Identificar y resolver los problemas del sistema de fabricación.

Trabajo en proceso y tiempo de entrega.

De acuerdo con Mora et. al (2012), existen dos conceptos que ayudan a la correcta implementación de los sistemas kanban:

- El trabajo en proceso (WIP, por sus siglas en inglés) marca el número de tareas en las que se trabaja de manera actual en un proceso. Delimita las tareas a realizar, lo que en un sistema kanban asegura el trabajo óptimo.
- El tiempo de entrega, o lead time, es el tiempo transcurrido entre la toma del pedido y el día de entrega.

Los conceptos anteriores son necesarios también para la realización de cálculos que a continuación se exponen.

Tipos de kanban

Al analizar los diferentes tipos de kanban es necesario conocer algunos conceptos (Müller, Tolujew, & Kienzle, 2012):

- Tarjeta kanban: es elemento que portará la información sobre el artículo con el cual se estará trabajando.

- Contenedor kanban: es la unidad de almacén o transporte del artículo.
- Señal kanban: es la indicación que da flujo al proceso.

Existen dos tipos de kanban, de acuerdo con Crespo, Velando y Pérez (1998), estos son:

1. Transporte. Indica los detalles del producto que se debe retirar de un proceso anterior.
2. Producción. Indica los detalles de producto que se debe producir.

De igual manera, existen combinaciones y modificaciones de acuerdo con las condiciones del proceso y la demanda (Crespo, Velando, & García, 1998):

1. Kanban monoficha: Este sistema se utiliza en los trabajos de una misma etapa del proceso. Consiste en una sola tarjeta que es liberada en el punto de salida del inventario cada que se atiende un pedido de la demanda (Figura 2.1). Así mismo, se genera una nueva orden de fabricación, que al terminar se manda junto con su contenedor al punto de salida del inventario. El número total de artículos es igual al número de tarjetas.

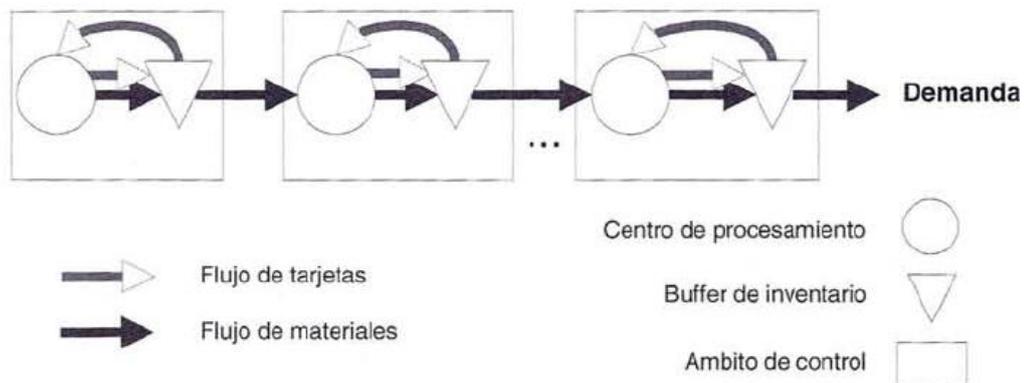


Figura 2.1 Kanban monoficha. Fuente: (Crespo, Velando, & Pérez, 1998)

2. Kanban doble tarjeta: Este sistema combina el sistema de transporte y de producción. Consiste en una técnica en donde el kanban de producción se mantiene circulando en su centro de trabajo y el kanban de transporte circula entre la salida de una etapa y el inicio de una siguiente parte del proceso. Esta combinación de tarjetas es común encontrarlo en cada estación de trabajo de un proceso. La cantidad de contenedores entre cada estación de trabajo será igual al

total de tarjetas de transporte que existan. En la figura 2.2 se puede observar el comportamiento del sistema de doble tarjeta.

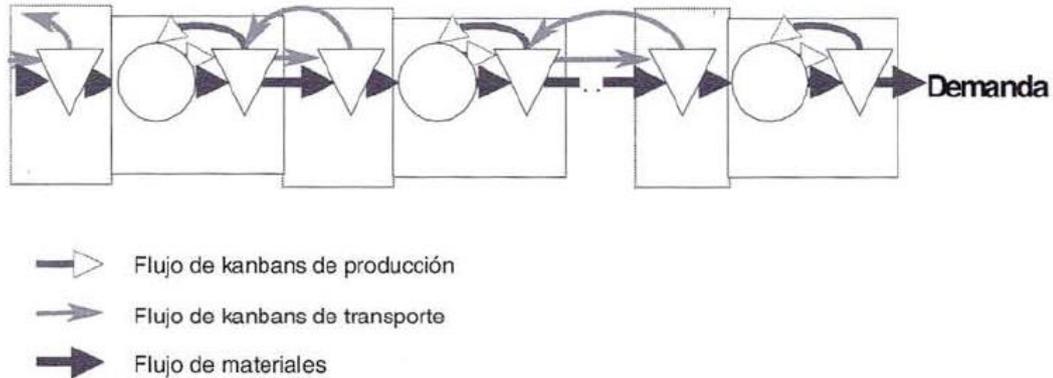


Figura 2.2 Kanban doble tarjeta. Fuente: (Crespo, Velando, & García, 1998)

3. Kanban minimal blocking: En este sistema existe una política mínima de bloqueo, lo que indica que se realiza la orden de producción de artículos cuando se retira un contenedor del punto de salida del inventario de una estación de trabajo (Figura 2.3). Es una adecuación del sistema de doble tarjeta que mantiene el flujo de trabajo aun cuando un equipo se encuentre dañado.

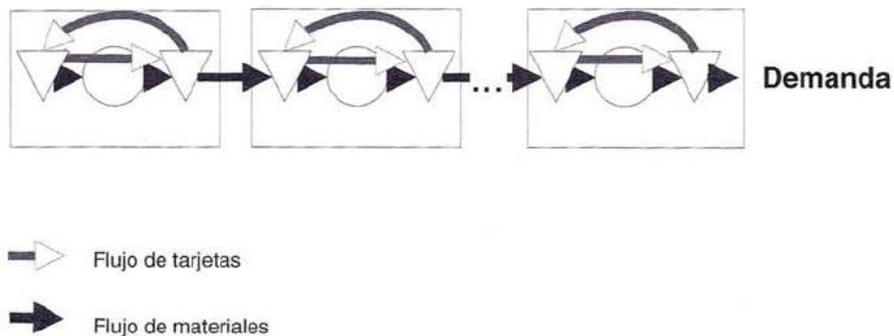


Figura 2.3 Kanban minimal blocking. Fuente: (Crespo, Velando, & García, 1998).

4. Kanban ConWIP: Sistema con trabajo en proceso constante (Constant Work In Process). Esta técnica considera a todo el proceso como una sola etapa, donde se asocia una tarjeta kanban para cada artículo con la finalidad de limitar el número de trabajos (figura 2.4). De esta manera el número de kanban será igual al número de piezas producidas.

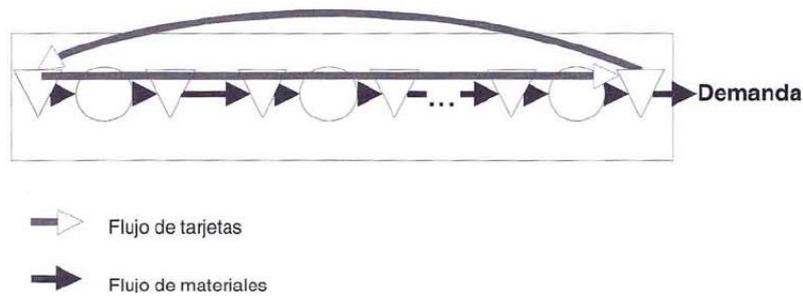


Figura 2.4 Kanban ConWIP. Fuente: (Crespo, Velando, & García, 1998)

5. Kanban Trigger: Este sistema activa cada una de las etapas del proceso. Se envía una tarjeta a cada inventario de salida con la finalidad de asegurar los requerimientos de materiales para iniciar las actividades de cada etapa.

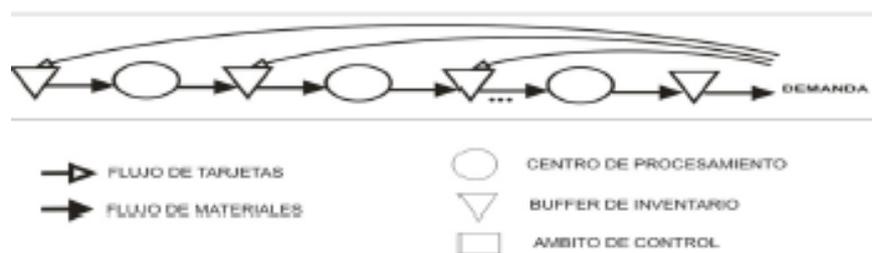


Figura 2.5 Kanban Trigger. Fuente: (Mora, Tobar, & Soto, 2012).

Cálculo para el sistema kanban

Al establecer un sistema kanban es necesario establecer una cantidad de piezas por kanban, un número de tarjetas kanban requeridos y la capacidad del contenedor kanban.

La cantidad de piezas por kanban se obtiene de acuerdo con la siguiente formula:

$$Piezas\ por\ kanban = D \times TE \times U \times \%VD \quad Ecuación\ 2.2$$

donde:

D= Demanda semanal

TE= Tiempo de entrega en semanas

U=Número de ubicaciones

%VD=Variación de la demanda

Para determinar el número de tarjetas kanban necesarios para el cubrimiento de los materiales:

$$\text{Número de tarjetas kanban} = \frac{\frac{\text{Tiempo de entrega del proceso}}{\text{Tiempo takt}}}{(\text{Piezas por kanban})(\text{Stock de seguridad})} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

De igual manera es necesario conocer el número de contenedores necesarios para transportar el material:

$$\text{Número de Contenedores} = \frac{\text{Unidades en el kanban}}{\text{Capacidad del contenedor}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

2.5 Simulación

Es necesario reproducir escenarios virtuales para evitar costos y tiempos extras y encontrar soluciones o mejoras dentro de un proceso, la simulación consiste en representar las condiciones de un sistema que permita la manipulación de sus partes y de sus variables (Himmelblau & Bischoff, 2010). La ingeniería demanda realizar representaciones de escenarios constantemente para adaptarse a las necesidades de un sistema real, utilizando las herramientas matemáticas mediante las condiciones de un sistema. Deben inferirse un conjunto de hipótesis que serán aceptadas o rechazadas de acuerdo con el comportamiento de la simulación. Pueden o no, existir modelos asociados a los modelos supuestos (Scenna, 1999). La simulación puede predecir el comportamiento de un sistema de manufactura ayudando en la optimización del mismo. Un software de simulación genera reportes y estadísticas detallados que describen el comportamiento del sistema en estudio. Con base en dichos reportes, pueden evaluarse distribuciones físicas, selección de equipo, procedimientos de operación, asignación y utilización de recursos, políticas de inventario y otras características importantes del sistema (Meyers & Stephens, 2006).

2.5.1 Simulador ProModel

Simulación de eventos discretos

Este tipo de simulación tiene lugar cuando solo se puede realizar cambios en lapsos de tiempos discretos (Barceló, 1996). “Se dice que la simulación es de eventos discretos

cuando se emplea para el análisis de sistemas en lo que su estado cambia en puntos separados de tiempo debido a la ocurrencia de un evento” (Jiménez & Gómez, 2014).

ProModel

Un simulador de eventos discretos permite reproducir eventos reales modificando las variables que se desean estudiar con respecto al tiempo. ProModel es un software de simulación que “cuenta con herramientas de análisis y diseño que, unidas a la animación de los modelos bajo estudio, permiten al analista conocer mejor el problema y alcanzar resultados más confiables respecto de las decisiones a tomar” (García, García, & Cárdenas, 2013). El software es una herramienta que permite la simulación de procesos de fabricación, líneas de ensamble, entre otros.

El software de simulación ProModel, permite el análisis de procesos de producción reales con la finalidad de poder optimizarlos. Los procesos de simulación requieren de una metodología o serie de pasos para la ejecución de las actividades, aunque estos varían de acuerdo a las necesidades del objeto de estudio, algunos pueden ser: definir el problema, realizar un modelo base, recolectar y analizar los datos, generar un modelo preliminar, verificar y validar el modelo, generar un modelo final, determinar las condiciones del modelo, analizar los resultados (García, García, & Cárdenas, 2013).

De acuerdo con Segovia (2009), el uso y aplicación de la simulación tiene las siguientes ventajas:

- Al hacer alteraciones en un modelo de simulación es posible analizar los efectos de los cambios internos y externos del sistema.
- Al obtener un análisis detallado, es más fácil entender el sistema y en consecuencia es posible realizar estrategias para la mejora de su operación y eficiencia.
- Se puede utilizar para experimentar en escenarios con nuevas condiciones sobre las cuales se tiene poca o ninguna información.

Conceptos

Para la creación de un modelo de simulación es necesario tener en claro varios conceptos, que de acuerdo con García et. al (2013) se pueden definir como:

- Sistema: Es el conjunto de elementos que se relacionan para funcionar como un todo (caso de estudio).
- Entidad: Son los flujos de entrada y salida de un sistema.
- Estado del sistema: Es la condición en la que se encuentra el sistema bajo estudio.
- Evento: Es el cambio que ocurre dentro del sistema.
- Localizaciones: Son todas las etapas del proceso en donde pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo (almacenes, bandas transportadoras, máquinas, estaciones de inspección).
- Recursos: Son los elementos necesarios para llevar a cabo una operación (herramientas, equipo, personal).
- Atributos: Son las características de una entidad (color, peso, tamaño).
- Variable: Son los valores que se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas.
- Reloj de simulación: Es el contador de tiempo de la simulación.

2.5.2 Pasos para realizar un modelo de simulación

Para realizar un modelo de simulación, es necesario seguir una serie de pasos que asegurarán la eficiencia del mismo. Según García et. al (2013), estos se resumen en:

1. Definición del sistema bajo estudio. Es necesario conocer el sistema a modelar, estar al tanto de toda la información necesaria que ayude a entender el comportamiento de todos los elementos del sistema.
2. Generación del modelo de simulación base. Ya definido el sistema de manera conceptual es necesario generar un modelo de simulación base. Este modelo es necesario para empezar a dar forma a cada uno de los conceptos del modelo.
3. Recolección y análisis de datos. Se debe establecer qué información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables necesarias para la simulación.

4. Generación del modelo preliminar. En este paso se crea un modelo que acerque lo más posible a la realidad del sistema bajo estudio, se integra el análisis de datos y los supuestos del modelo.
5. Verificación del modelo. Una vez que se han identificado todos los datos necesarios para ajustar el modelo a la realidad es necesario realizar un proceso de verificación de datos para comprobar que todos los parámetros usados en la simulación funcionen correctamente.
6. Validación del modelo. Consiste en realizar una serie de pruebas simultáneas con información de casos reales para observar su comportamiento y analizar sus resultados.
7. Generación del modelo final. Una vez que el modelo se ha validado, es posible realizar la simulación y estudiar el comportamiento del proceso.
8. Determinación de los escenarios para el análisis. Tras validar el modelo es necesario acordar los escenarios que se quieren analizar para hacer el ajuste de acuerdo con las variables de estudio.
9. Análisis de sensibilidad. Es importante realizar pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales.
10. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones. Es necesario efectuar toda la documentación del modelo para permitir el uso del modelo generado en caso de que se requieran ajustes futuros.

2.5 Estado del arte

Cadena de suministro

La cadena de suministro comprende las actividades (y adaptaciones) que son necesarias para el desarrollo de un producto o servicio, desde la llegada de la materia prima hasta la entrega del producto final (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2008). Satoglu y Sahin (2013) desarrollaron un diseño de una cadena de surtimiento de materiales mediante el sistema justo a tiempo para un proceso de producción de leche que fue posible aplicarlo en una planta de ensamblaje de televisores. Papadopoulos et al. (2016) analizaron los diseños de surtimiento de materiales para su aplicación en la industria de la construcción, donde enfatizaron en la importancia de la correcta administración de una cadena de suministros para lograr con éxito la integración entre las diversas disciplinas de la cadena.

Manufactura esbelta

Manufactura esbelta (Lean manufacturing), implica principios y métodos para hacer más con menos y llevar un sistema a la perfección (Ibarra & Ballesteros, 2017). Ballesteros (2008), expuso algunas reflexiones para la aplicación de la manufactura esbelta, destacando sus orígenes, la clasificación de los diferentes tipos de desperdicios, sus objetivos generales y específicos. Aplicando conceptos como: jidoka, kaizen, heinjunka, 5's, enfatizó en la necesidad de hacer el trabajo en un ambiente más agradable y satisfactorio, mediante la retroalimentación oportuna de los esfuerzos por convertir el desperdicio en valor. Morales et al. (2013), evaluaron y modelaron una cadena suministro basada en la manufactura esbelta, estableciendo un procedimiento de tres fases: inicial, de aplicación y de aseguramiento, y comprobaron las mejoras que conlleva la manufactura esbelta por medio de la experimentación.

Kanban

Crespo et al. (1998), expusieron alternativas para utilizar un sistema de control explicando los diversos sistemas Kanban y los dos mecanismos alternativos de bloqueo que se pueden encontrar, con lo que pudieron comprender las distintas configuraciones de los sistemas y el número de tarjetas necesarias para cada uno de ellos. Ballesteros y Ballesteros (2008), aplicaron un sistema kanban en empresas colombianas, identificando áreas donde se presentan desperdicios, sobreproducción e inventarios con la aplicación del justo a tiempo y las tarjetas kanban, eliminando toda actividad que desde la perspectiva del cliente no agrega valor al producto o servicio. Arango et al. (2015), presentaron una mejora en un proceso de manufactura mediante la programación de la producción con el sistema kanban, utilizando escenarios de simulación en ProModel, argumentando que el sistema es útil para la reducción de inventarios y la organización de los procesos. Matta et al. (2005), evaluaron el rendimiento de un sistema de ensamblaje mediante la gestión de dos consideraciones de tarjetas kanban, donde reportaron resultados con grandes valores de control y servicios de la producción. Muris y Moacir (2010), revisaron la literatura sobre los sistemas kanban modificados, estudiaron y analizaron treinta y dos sistemas, pudiendo concluir que la adecuación de los mismos es necesaria para poder utilizarlos en la producción. Sánchez, Sánchez y Patiño (2012), por medio de la simulación de un sistema kanban obtuvieron un modelo que permitiera el mejor rendimiento y la variación de una cadena

de suministro, argumentando que una mayor variación implica mayor número de tarjetas y por lo tanto mayor tiempo de estancia del material en la cadena.

Simulación en ProModel

Un simulador muy utilizado en el ámbito Industrial es el software ProModel, que permite realizar la simulación de justo a tiempo, teoría de restricciones, sistemas de empujar, jalar, logística, sistemas de servicio, entre otros. Macías et al. (2014), realizaron modelos de simulación discreta para reducir las pérdidas de producción por falta de surtimiento de materiales en líneas de ensamble mediante el software de simulación ProModel que les permitió calcular los porcentajes de pérdidas en nueve escenarios, compararlos con el sistema real y seleccionar el óptimo. Mora et al. (2012), midieron y analizaron sistemas de control de producción tipo Pull utilizando el simulador ProModel, desarrollando los escenarios de acuerdo a los diferentes sistemas kanban, en el modelo utilizaron tres estaciones de trabajo con las que pudieron evaluar variables como: producto en proceso, órdenes entregadas, y el tiempo de ciclo promedio de respuesta a los pedidos de los clientes. Juárez et al. (2011), analizaron diversos sistemas de manufactura mediante simulación en ProModel, aplicando los principios de la manufactura esbelta para enfrentar los problemas de producción, la mala calidad, los retrabajos, las interrupciones y los tiempos y esfuerzos perdidos. Observaron las diferentes variables e incongruencias dentro del sistema real, resaltando la necesidad de establecer parámetros para someter a propuestas de mejora. Bernal et al. (2015), diseñaron y evaluaron los elementos involucrados en el proceso de una celda de manufactura flexible utilizando la simulación en ProModel, en donde realizaron etapas de la simulación como definición del sistema, formulación del modelo, identificación de variables, recolección de datos (implementación e interpretación).

La tabla 2.1 muestra el estado del arte referente a los temas de investigación de la presente tesis.

Tabla 2.1 Estado del arte (Fuente: elaboración propia)

| AÑO | AUTORES | REVISTA | TÍTULO DEL ARTÍCULO | RELACIÓN CON LA INVESTIGACIÓN |
|------------|--|--|--|--|
| 1998 | Crespo Franco Velando Rodríguez García Vázquez | Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa | "Alternativas para utilizar un sistema de control de la producción de tipo Kanban" | Tipos de sistemas Kanban y sus aportaciones. |
| 2005 | Andrea Mattaa Yves Dalleryb MariaDi Mascolo | European Journal of Operational Research | Analysis of assembly systems controlled with kanbans | Funciones de Kanban de acuerdo a las etapas de ensamblaje. |
| 2008 | Pedro Pablo Ballesteros Silva | Scientia Et Technica | "Algunas reflexiones para aplicar la mabufactura esbelta en empresas colombianas" | Fundamentos del sistema de manufactura esbelta. |
| 2008 | Diana Paola Ballesteros Riveros Pedro Pablo Ballesteros Silva | Scientia Et Technica | "Una forma práctica para aplicar el sistema Kanba en las MyPIMES colombianas" | Aplicación de Kanban para identificar áreas que presentan desperdicios, sobreproducción e inventarios. |
| 2010 | Muris Lage Junior Moacir Godinho Filho | International Journal of Production Economics | "Variations of the kanban system: Literature review and classification" | Clasificación de las tarjetas Kaban |
| 2011 | Yolanda Juárez López Jorge Rojas Ramírez Joselito Medina Marín Aurora Pérez Rojas | Científica | "El enfoque de sistemas para la aplicación de manufactura esbelta" | Análisis de un sistema de manufactura mediante simulación. |
| 2012 | Alejandro Mora Barón Jorge Tobar López José A. Soto Mejía | Scientia Et Technica | "Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo Pull mediante simulación" | Simulación en ProModel de los sistemas de producción tipo Pull. |
| 2012 | Guillermo Andrés Sánchez C Juan Manuel Sánchez C Oscar Huberto Patiño H | Tecnura | "KANBAN allocation in a serial suply chain" | Simulación de un sistema Kanban con el objetivo de mantener un aceptable rendimiento y tiempo medio del sistema. |

| | | | | |
|------|--|--|--|--|
| 2013 | Ángel Morales González Jorge Rojas Ramírez Luis Manuel Hernández Simón Alberto Morales Varela Sara V. Rodríguez Sánchez Aurora Pérez Rojas | Científica | "Modelación de la cadena de suministro evaluada con el paradigma de manufactura esbelta utilizando la simulación" | Aplicación del pensamiento sistémico, conjunto de componentes de un sistema. |
| 2013 | Satoglu Sule Itir Sahin I. Ethem | The International Journal of Advanced Manufacturing Technology | "Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry" | Diseño de un sistema interno de suministro de material de producción. . El suministro de material por este sistema se produce justo a tiempo . |
| 2014 | René Iván Macías López José Alfredo Jiménez García José Martín Medina Flores Héctor Rodríguez Santoyo | Academia Journals | "Reducción de las pérdidas de producción por falta de surtimiento de materiales en líneas de ensamble utilizando modelos de simulación discreta" | Importancia de la reducción de pérdidas por falta de surtimiento de materiales y representación de escenarios. |
| 2014 | Manuel Jiménez B. Ezequiel Gómez A. | Industrial Data | "Mejoras en un centro de distribución mediante la simulación de eventos discretos" | Simulación de eventos discretos para probar diferentes alternativas sin poner en riesgo un sistema real. |
| 2015 | Martín Darío Arango Serna Luis Felipe Campuzano Zapata Julián Andrés Zapata Cortés | Revista Ingenierías Universidad de Medellín | "Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban" | Principios y reglas de la metodología Kanban. |
| 2015 | María Elena Bernal Loaiza German Cock Sarmiento Jorge Hernán Restrepo Correa | Tecnura | "Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en promodel utilizando path networks type crane" | Simulación en ProModel de una celda de manufactura. Flujograma de un proceso, recolección de datos (implementación e interpretación). |
| 2016 | Georgios A. Papadopoulos Nadia Zamer Sotiris P. Gayialis Ilias P. Tasiopoulos | Universal Journal of Management | "Supply Chain Improvement in Construction Industry" | Gestión de la cadena de suministro en el área de la construcción . |

CAPÍTULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La figura 3.1 muestra las etapas del método de investigación de la presente tesis, se pueden observar seis etapas que exponen los pasos a seguir para obtener los resultados esperados de la investigación.

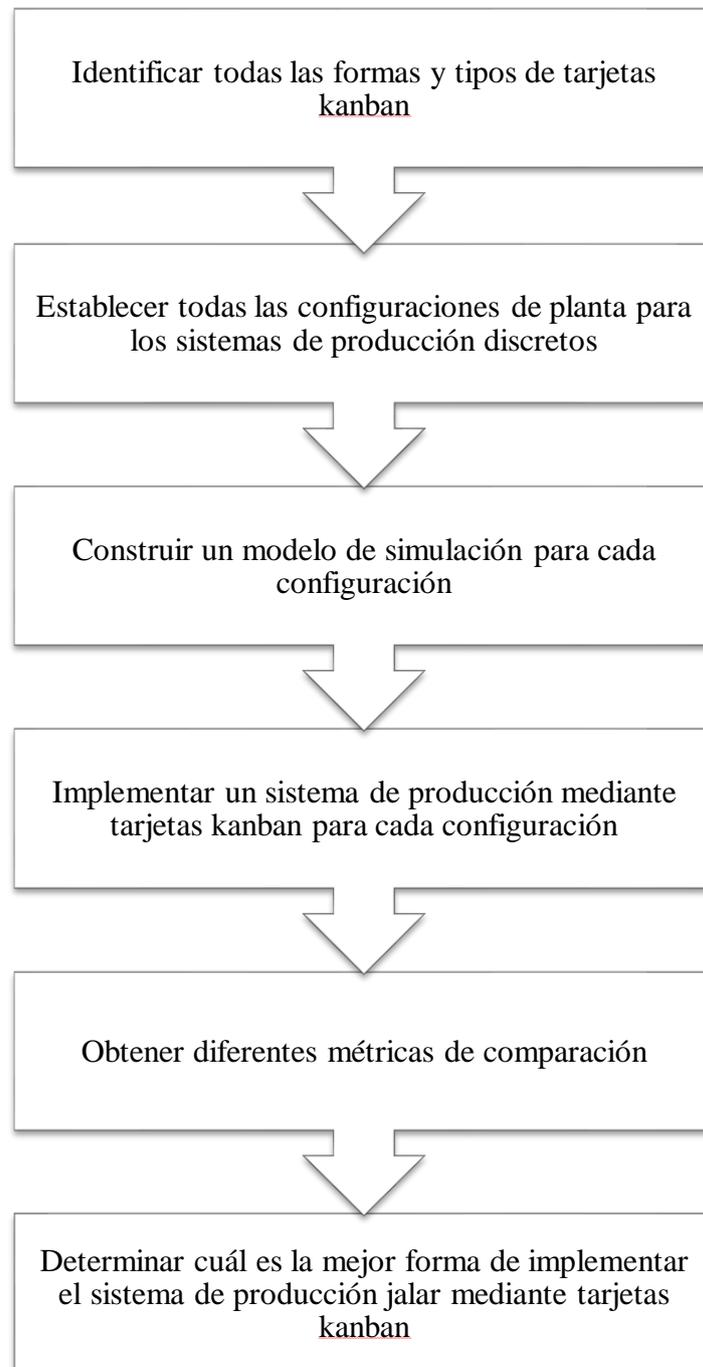


Figura 3.1 Método de investigación (Fuente: elaboración propia)

A continuación, se explican cada una de las etapas del diagrama.

3.1 Descripción de la metodología

La validez de la investigación se asegura de acuerdo con los conocimientos del investigador, que permiten establecer condiciones, en forma de una secuencia de pasos, para poder tomar decisiones en el proceso de la investigación (Behar, 2008). A continuación, se explica el método que se desarrollará para validar el presente proyecto.

3.1.1 Identificar todas las formas y tipos de tarjetas kanban

En la primera etapa se analizarán todas las formas de tarjetas kanban, definiendo su funcionamiento y proceso para tenerlas identificadas. De acuerdo con su funcionamiento, se detallarán los componentes que incluirá cada tarjeta y se explicará cómo pueden mejorar el flujo en la línea de producción.

3.1.2 Establecer todas las configuraciones de planta para los sistemas de producción

En esta etapa, se definirán la variedad de procesos con los que se trabajarán en la investigación para determinar una adecuada distribución de planta. De acuerdo con el proceso, se identificarán las diferentes configuraciones de planta de los sistemas de producción para establecer un comportamiento eficaz, tomando en cuenta redistribuciones de planta, si es necesario.

3.1.3 Construir un modelo de simulación para cada configuración

Una vez identificado el producto o proceso que se estudiará, se analizará el flujo de materiales de acuerdo con factores como tiempos de operación, maquinaria, operadores, distancias y recursos que intervienen para entender el proceso y establecer un modelo de simulación. Los modelos de simulación serán adecuados para cada configuración de planta.

3.1.4 Implementar un sistema de producción mediante tarjetas kanban para cada configuración

Ya identificados y analizados los modelos de simulación, se procederá a implementar en cada modelo representativo de cada una de las configuraciones de planta, el sistema de tarjetas kanban desarrollados con los diferentes tipos de tarjetas.

3.1.5 Obtener métricas de comparación

Se realizarán diferentes ensayos con los modelos de simulación para obtener métricas: producción final (número de piezas terminadas), trabajo en proceso, ocio por esperas por falta de surtimiento, tiempos de entrega entre estaciones, utilización de los recursos dedicados al surtimiento, etc. Se evaluará el desempeño de cada uno de los modelos de acuerdo con la comparación de las métricas obtenidas.

3.1.6 Determinar cuál es la mejor forma de implementar el sistema de producción jalar mediante tarjetas kanban

Una vez analizados los resultados se elegirá el modelo más eficiente. Se determinará la forma más eficiente de implementar el sistema de surtimiento mediante tarjetas kanban para cada una de las configuraciones analizadas. Se realizará la cantidad de escenarios necesaria para obtener un registro con el impacto de cada uno de ellos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

El desarrollo de la metodología se dividió en tres fases: la fase I permitió conocer el sistema preliminar, la fase II estudia al sistema con la metodología kanban y la fase III aplica la metodología kanban en diferentes configuraciones.

4.1 Fase 1. Definición del sistema

- Definición del sistema

El caso de estudio es un sistema de producción de pistones. El proceso corresponde a un sistema de producción jalar que tiene el objetivo de cumplir con un promedio diario de producto terminado correspondiente al pedido del cliente. La materia prima pasa por una serie de procesos que son expuestos, con su respectivo tiempo de operación y capacidad, en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Tiempos y capacidades de las operaciones (Fuente: elaboración propia)

| Operación | Tiempo de operación | Capacidad |
|------------------------------|----------------------------|------------------|
| Fusión | 8 horas | 1 |
| Desgasificado | 1 hora | 1 |
| Célula 1b | 20.69 seg | 850 |
| Célula 9^a | 34.62 seg | 850 |
| Célula 10^a | 27.27 seg | 850 |
| Corte | 4 seg | 900 |
| Tratamiento térmico | 9 horas | 900 |
| Línea 10 | 18.5 seg | 720 |
| Línea 14 | 18.5 seg | 720 |
| Gp Línea 10 | 20 seg | 720 |
| Gp Línea 14 | 20 seg | 720 |
| Anonizado | 10 seg | 720 |
| Grafito | 11 seg | 720 |
| Ensamble | 10.1 seg | 6400 |

- Flujograma del proceso

El flujograma del proceso es la base para poder definir el modelo de simulación. La figura 4.1 muestra el flujo del proceso de producción de pistones, que incluye la llegada de la materia prima hasta el embarque que representa la salida del sistema.

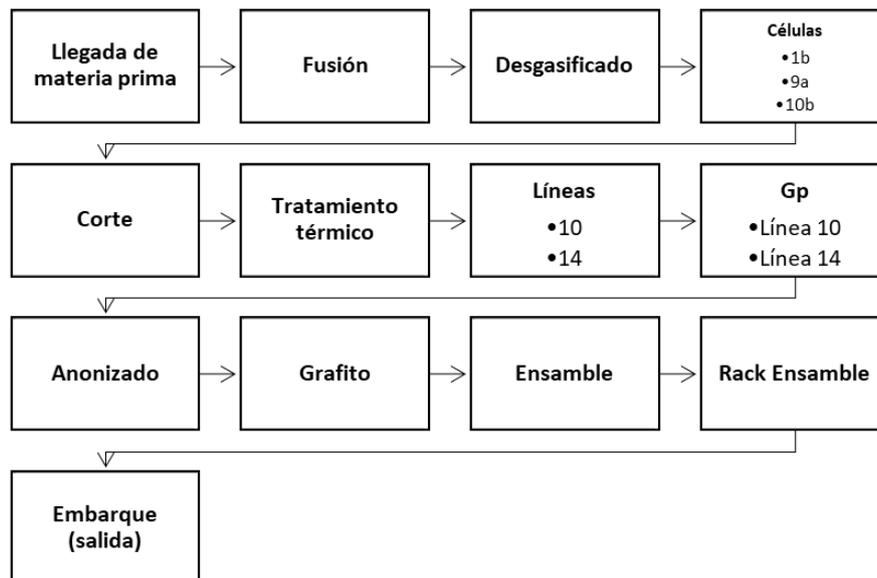


Figura 4.2 Flujograma del proceso. (Fuente: elaboración propia)

- Simulación del modelo preliminar

Una vez identificada la interacción existente en el proceso, es posible simular la relación entre las estaciones de trabajo para obtener un modelo preliminar, utilizando el software ProModel. El modelo preliminar del proceso está formado por 17 locaciones, donde se encuentran 14 estaciones de trabajo dos almacenes y un embarque a la salida del sistema, mismo que puede visualizarse en la figura 4.2.

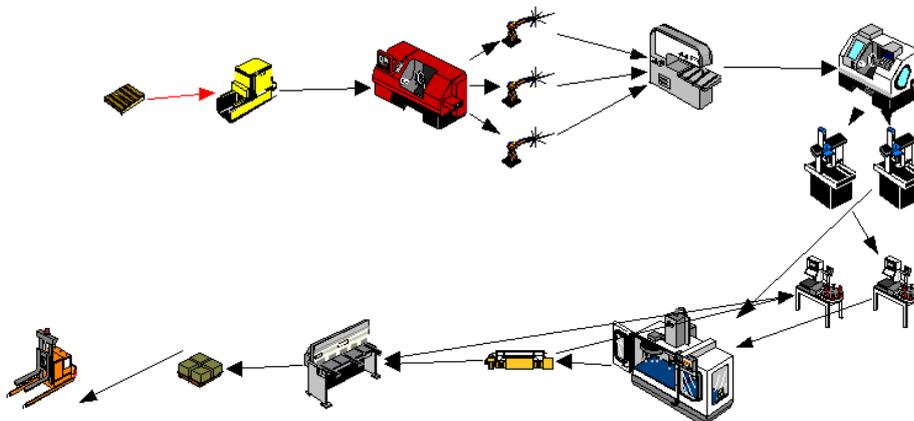


Figura 4.3 Modelo preliminar. (Fuente: elaboración propia)

4.2 Fase 2. Estudio de la metodología kanban en el sistema

Una vez analizando el modelo preliminar es posible configurar el sistema siguiendo la metodología Kanban. En primera instancia el proceso será tratado con el sistema kanban ConWIP, el cual implica una vista y análisis general de la metodología kanban.

Kanban ConWIP

La metodología kanban implica que el pedido del cliente es lo que jala al proceso. De esta manera la demanda es quien genera la señal kanban para dar inicio a la producción. El sistema kanban ConWIP, permite reducir el trabajo en proceso, ya que la señal emitida por el pedido del cliente autoriza la llegada de la materia prima necesaria. En la figura 4.3 se muestra la configuración del proceso de acuerdo con la entrada de un pedido. El sistema incluye los elementos del modelo preliminar

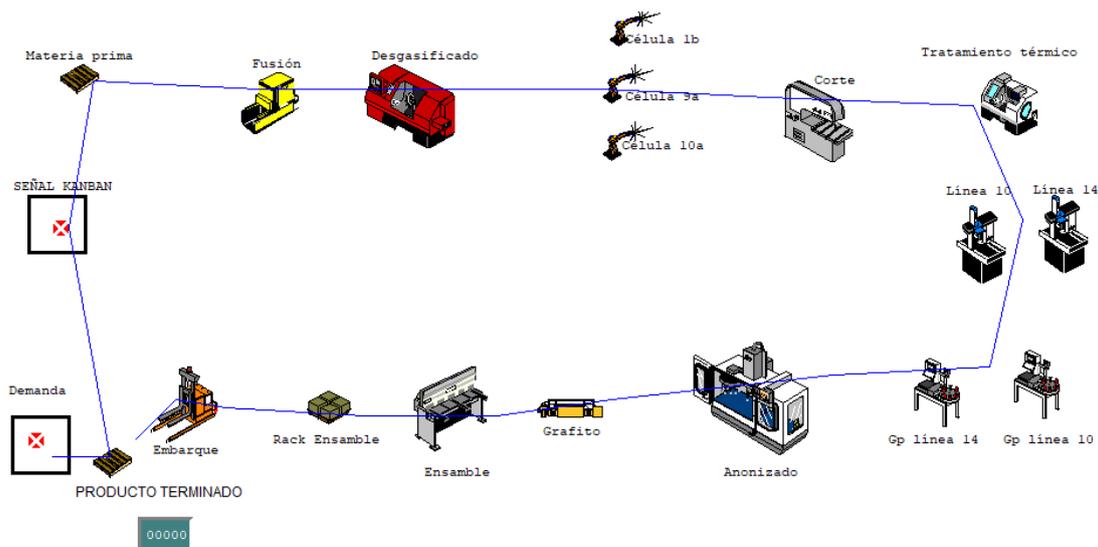


Figura 4.4 Modelo kanban ConWIP. (Fuente: elaboración propia)

- Definición de las variables de estudio

Las variables que permiten conocer la eficiencia del modelo son: producto en proceso y producto terminado, mismas que reconocen el número de piezas que se encuentran sin procesar dentro del sistema y el número de piezas terminadas, respectivamente.

- Análisis de resultados

Se realizarán los respectivos ensayos con los modelos de simulación para obtener las métricas de comparación. En ProModel es posible visualizar los resultados de la simulación por medio de tablas y gráficas, de esta manera es posible describir el comportamiento de los procesos simulados para poder ser analizados y comparados con el fin de mejorar la productividad.

Los resultados que se muestran a continuación corresponden al modelo preliminar (figura 4.4) y al sistema modelado con la metodología kanban (figura 4.5). En ambos casos se obtiene la misma cantidad de producto terminado debido a que se considera constante el pedido del cliente. El modelo kanban ConWIP, muestra una reducción del 5.68% respecto al trabajo en proceso en comparación con el modelo preliminar.

| Entity Name | Total Exits | Current Quantity In System | Average Minutes In System | Average Minutes In Move Logic | Average Minutes Wait For Res, etc. | Average Minutes In Operation | Average Minutes Blocked |
|-------------------|-------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Rin | 0 | 540 | - | - | - | - | - |
| Pistón líquido | 0 | 2 | - | - | - | - | - |
| Pistón en proceso | 1.02 | 2626 | 152.27 | 0.00 | 1.64 | 4.22 | 146.40 |
| Pistón 10 | 1440 | 545 | 422.76 | 0.03 | 422.29 | 0.30 | 0.12 |
| Pistón 14 | 22095 | 543 | 142.73 | 0.00 | 29.67 | 0.66 | 112.39 |
| Pistón terminado | 6360 | 3 | 3.12 | 0.01 | 3.10 | 0.00 | 0.00 |

Figura 4.5 Resultados modelo preliminar. (Fuente: elaboración propia)

| Entity Name | Total Exits | Current Quantity In System | Average Minutes In System | Average Minutes In Move Logic | Average Minutes Wait For Res, etc. | Average Minutes In Operation | Average Minutes Blocked |
|-------------------|-------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Rin | 0 | 255 | - | - | - | - | - |
| Pistón líquido | 0 | 3 | - | - | - | - | - |
| Pistón en proceso | 1.02 | 2669 | 152.41 | 0.00 | 2.02 | 4.22 | 146.15 |
| Pistón 10 | 1440 | 500 | 381.49 | 0.03 | 381.04 | 0.30 | 0.10 |
| Pistón 14 | 21947 | 588 | 145.50 | 0.00 | 32.57 | 0.66 | 112.26 |
| Pistón terminado | 6360 | 2 | 2.80 | 0.01 | 2.79 | 0.00 | 0.00 |
| KANBAN | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| Pedido cliente | 0 | 0 | - | - | - | - | - |

Figura 4.6 Resultados modelo kanban ConWIP. (Fuente: elaboración propia)

4.3 Fase 3. Aplicación de la metodología kanban en diferentes configuraciones

- Cálculos de requerimientos kanban para la implementación de diferentes configuraciones.

Al implementar una metodología kanban, es necesario realizar una serie de cálculos que permitirán saber cuántos contenedores kanban pueden ser usados en el proceso, así mismo para conocer el número de piezas que estos deben contener.

En la tabla 4.2 se muestran los tiempos laborales y de producción, datos conforme a los que trabaja el sistema productivo, permitiendo conocer que se pueden utilizar hasta 5 contenedores kanban con capacidad de 3950 piezas.

Tabla 4.2 Tiempos laborales y de producción (Fuente: elaboración propia)

| | |
|---|---------------------------------------|
| Jornada laboral: 8 horas por turno | 8 |
| Tiempo de almuerzo: 0,5 horas por turno | 0.5 |
| Número de turnos: 1 turno diario | 3 |
| Días hábiles por mes: 22 días al mes | 22.5 |
| Demanda mensual: 7.510 piezas al mes | 144000 |
| | |
| Tiempo disponible = (8 horas/turno) - (0,5 horas/turno) = 7,5 horas/turno | 7.5 |
| Tiempo disponible = (7,5 horas/turno) * (60 min/hora) = 450 min/turno | 450 |
| Tiempo disponible = (450 min/turno) * (1 turno/día) * (60 seg/min) = 27.000 seg/día | 81000 |
| | |
| Demanda diaria = (7.510 piezas/mes) / (22 días/mes) = 341 piezas/día | 6400 |
| | |
| Tiempo Takt = (27.000 seg/día) / (341 piezas/día) = 79 seg/pieza | 12.65625 |
| Operación | Tiempo de operación (segundos) |
| Fusión | 28800 |
| Desgasificado | 3600 |
| Célula 1b | 20.69 |
| Célula 9a | 34.62 |
| Célula 10a | 27.27 |
| Corte | 4 |
| Tratamiento térmico | 32400 |
| Línea 10 | 18.5 |
| Línea 14 | 18.5 |
| Gp Línea 10 | 20 |
| Gp Línea 14 | 20 |
| Anonizado | 10 |
| Grafito | 22 |
| Ensamble | 10.1 |
| Tiempo de abastecimiento | 56 horas |
| Tiempo de entrega | 74.05713333 |
| Tiempo ciclo total | 65005.68 |
| Tiempo estándar | 10.1571375 |
| PIEZAS POR KANBAN | 3950 |
| # kanban | 5 |

Existen diversas configuraciones de los sistemas kanban para implementar en los procesos productivos, para ello es necesario realizar una serie de cálculos que son requerimientos de los sistemas. Cada sistema presenta diferentes situaciones y complejidades con las que se encuentran las empresas frecuentemente.

En el sistema productivo de estudio, cada una de las locaciones representa un proceso específico, para su análisis fueron tomados varios procesos como un conjunto y así poder ubicar cada uno de los kanban.

Kanban monoficha

En el kanban monoficha se añaden a las locaciones existentes 3 señales kanban y 3 contenedores de inventario en proceso, tal como se muestra en la figura 4.6.

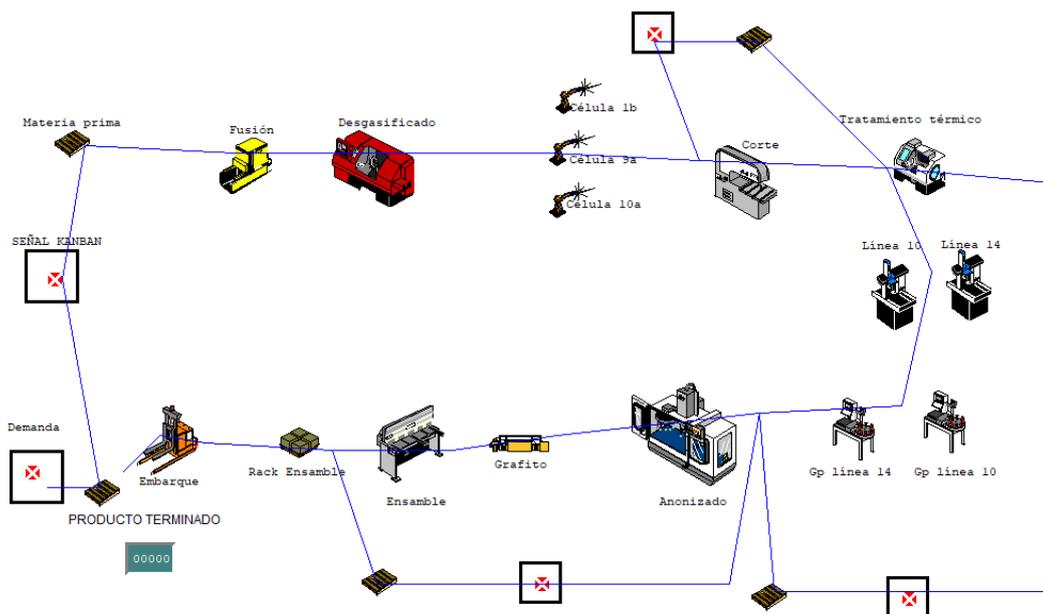


Figura 4.6 Modelo kanban monoficha. (Fuente: elaboración propia)

Kanban doble tarjeta

En el kanban de doble tarjeta se añadieron seis locaciones de inventario en proceso, tres locaciones donde se colocan las entidades kanban de producción y dos locaciones donde se colocan las entidades de transporte, mostrado en la figura 4.7.

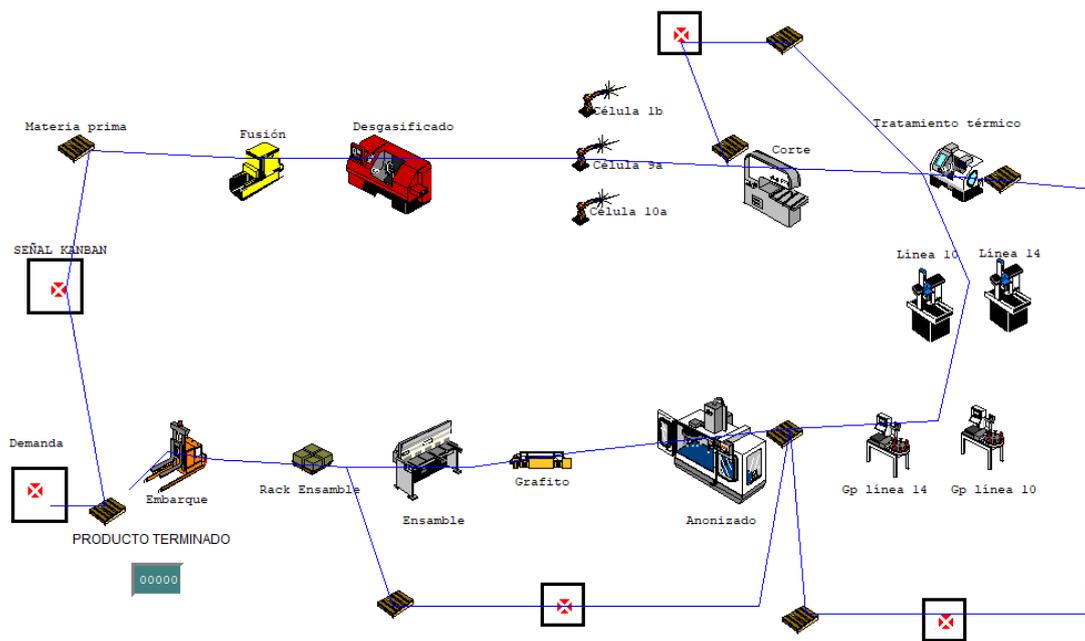


Figura 4.6 Modelo kanban doble tarjeta. (Fuente: elaboración propia)

Kanban minimal blocking

En el kanban minimal blocking se añadieron seis locaciones de inventario en proceso y tres locaciones donde se colocan las entidades kanban de producción, tal como se muestra en la figura 4.7.

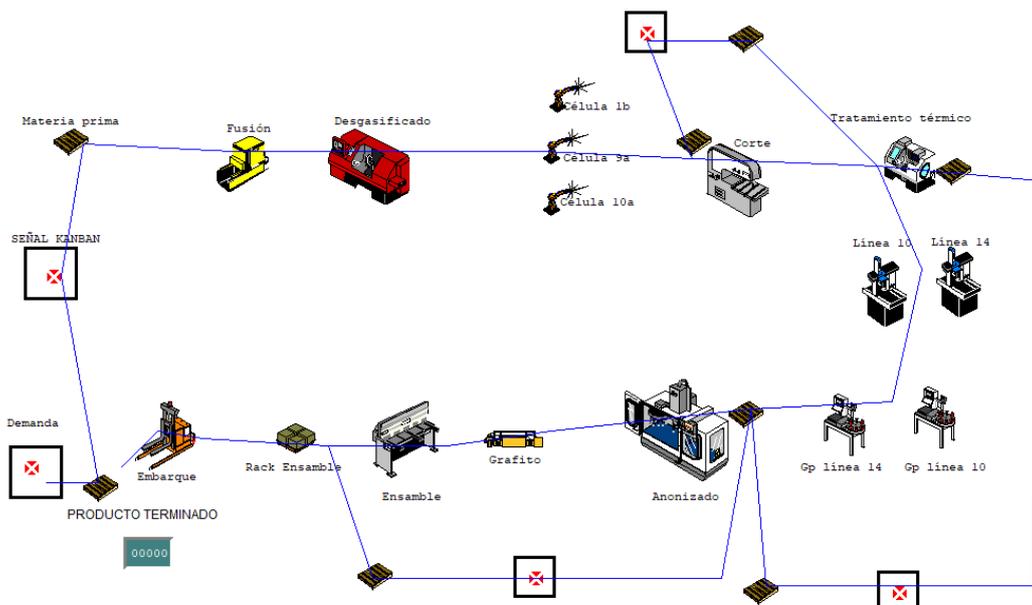


Figura 4.7 Modelo kanban minimal blocking. (Fuente: elaboración propia)

Kanban trigger

En el kanban trigger se encuentran cuatro locaciones de inventario en proceso y cuatro locaciones donde se colocan las entidades kanban, mostrados en la figura 4.8.

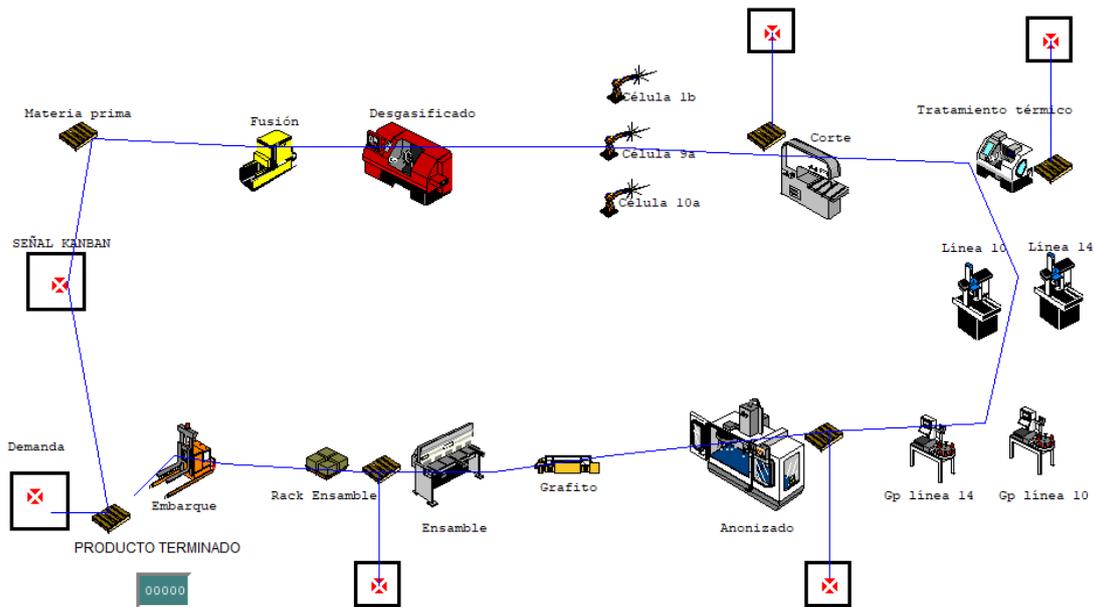


Figura 4.8 Modelo kanban trigger. (Fuente: elaboración propia)

Cada uno de los modelos kanban fue corrido para poder hacer una comparativa de los resultados, tal como se muestra en la tabla 4.2. En la columna “MEJORA DE PRODUCTO EN PROCESO (%)” se detalla el porcentaje en el que mejoró la cantidad de producto en proceso, siendo para este caso, el sistema trigger. La columna de “TIEMPO CICLO (SEG)” expone la mejora en el tiempo de procesamiento el cual coincide con el sistema trigger. La columna de “ÓRDENES ENTREGADAS” es la misma para cada sistema ya que representan un pedido fijo.

Tabla 4.3 Tabla comparativa de los sistemas kanban (Fuente: elaboración propia).

| SISTEMA | MEJORA DE PRODUCTO EN PROCESO (%) | TIEMPO CICLO (SEG) | ÓRDENES ENTREGADAS (PIEZAS) |
|------------------|--|---------------------------|------------------------------------|
| Monoficha | 6.50% | 43252 | 6360 |
| Doble tarjeta | 6.10% | 42473 | 6360 |
| Minimal blocking | 5% | 42587 | 6360 |
| Trigger | 8% | 40932 | 6360 |

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

La metodología kanban es una herramienta que permite la mejora productiva en los procesos reales y es posible visualizar los resultados gracias a los modelos de simulación, tal como se ha expuesto en el desarrollo de este trabajo.

En la revisión de la literatura se evidenció la utilidad de los sistemas kanban en el mejoramiento de la eficiencia operativa de sistemas de producción. La metodología kanban es una herramienta que permite la mejora productiva en los procesos reales y es posible visualizar los resultados gracias a los modelos de simulación de eventos discretos, tal como se ha expuesto en el desarrollo de este trabajo.

Para la correcta aplicación de herramientas para la mejora en un sistema productivo es necesario conocer concretamente el proceso, identificando y describiendo cada una de las partes u operaciones que lo conforman. De esta manera se puede aplicar una metodología kanban que, de igual manera, necesita ser comprendida totalmente. Una vez implementada y entendida en el sistema, es posible realizar reformas en el proceso reconfigurando la distribución de la planta para encontrar propuestas de mejora.

La función de la entidad kanban da inicio al momento de conocer el pedido de un cliente lo que permite nivelar la cantidad de producto en proceso generando más salidas en cada una de las operaciones. El sistema ConWIP estudia al proceso con una sola retroalimentación uniendo la primera y la última operación. En la fase I y fase II, el modelo propuesto la mejora se puede apreciar en la cantidad de producto en proceso dentro del sistema. Los resultados de la intervención al sistema de producción para la fabricación de pistones a través del modelo de simulación, evidencian el número de piezas en proceso, lo cual contribuye al uso inadecuado de los espacios físicos en la planta. Existe una reducción de producto en proceso de 242 piezas, que representan un 5.68% con respecto al modelo real. Esto permite conocer que la correcta aplicación de la metodología kanban conlleva a una mejora.

En la fase III se realiza una comparativa del proceso con otros sistemas kanban, con lo que se puede observar que de acuerdo a las métricas de comparación, el sistema kanban trigger

representa una mejora para el proceso, siendo mejor un 8% con un tiempo ciclo de 40932 segundos para un pedido de 6360 piezas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, M. D., Campuzano, L. F., & Zapata, J. A. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, XIV, 221-233.
- Ballesteros, D. P., & Ballesteros, P. P. (2008). Una forma práctica para aplicar el sistema Kanban en las MYPIMES colombianas. *Scientia el Technica*, XIV, 200-205.
- Ballesteros, P. P. (2008). Algunas Reflexiones para Aplicar la Manufactura Esbelta en Empresas Colombianas. *Scientia Et Technica*, XIV, 223-228.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística; Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson.
- Barceló, J. (1996). *Simulación de sistemas discretos*. Madrid: Isdefe.
- Barnes, M. R. (1961). *Estudio de tiempos y movimientos*. Madrid: Aguilar.
- Behar, R. D. (2008). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Shalom.
- Bernal, M. E., Sarmiento, G. C., & Restrepo, J. H. (2015). Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en promodel utilizando path networks type crane. *Tecnura*, XIX, 133-144.
- Cabrera, C. R. (2012). *Manual de Lean Manufacturing*. España: Editorial Academia Española.
- Chase, R. B., Jacobs, R. F., & Aquilano, N. J. (2008). *Administración de operaciones; Producción y cadena de suministros*. México: McGraw-Hill.
- Crespo, T. F., Velando, M. R., & García, J. V. (1998). Alternativas para utilizar un sistema de control de la producción tipo kanban. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, IV, 101-122.
- Freivalds, A., & Niebel, W. B. (2008). *Ingeniería Industrial; Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. México: Alfaomega.

- García, C. R. (2005). *Ingeniería de Métodos y Medición del trabajo*. México: McGraw-Hill.
- García, D. E., García, R. H., & Cárdenas, B. L. (2013). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*. México: Pearson.
- González, C. F. (2007). Manufactura Esbelta: principales herramientas. *Revista Panorama Administrativo, II*, 85-112.
- González, M. R. (2005). *Gestión de la producción: Cómo planificar y controlar la producción industrial*. España: Ideaspropias.
- Groover, P. M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw-Hill.
- Hazer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson.
- Hernández, M. J., & Vizán, I. A. (2013). *Lean Manufacturing: Conceptos, Técnicas e Implantación*. Madrid: Fundación EOI.
- Himmelblau, D. M., & Bischoff, K. B. (2010). *Análisis y Simulación de Procesos*. México: Reverte.
- Ibarra, V. M., & Ballesteros, L. L. (2017). Manufactura esbelta. *Conciencia Tecnológica*.
- Jananía, A. C. (2008). *Manual de tiempos y movimientos: Ingeniería de métodos*. México: Limusa.
- Jiménez, M. B., & Gómez, E. A. (2014). Mejoras en un centro de distribución mediante la simulación de eventos discretos. *Industrial Data, XVII*, 143-148.
- Juárez, Y. L., Rojas, J. R., Medina, J. M., & Pérez, A. R. (2011). El Enfoque de Sistemas para la Aplicación de la Manufactura Esbelta. *Científica, XV*, 35-42.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra: OIT.
- Lian, Y.-H., & Van Landeghem, H. (2007). Analysing the Effects of Lean Manufacturing Using a Value Stream Mapping-based Simulation Generator. *International Journal of Production Research, XLV*, 3037–3058.

- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. México: McGraw-Hill.
- Liker, K. J., & Meyer, D. (2005). *The Toyota Way. Fieldbook*. Chicago: McGraw-Hill.
- Lion, C. (2005). Los simuladores. Su potencial para la enseñanza universitaria. *Cuadernos de Investigación Educativa, II*, 53-66.
- Macías, R. I., Jiménez, J., M., M. J., & H, R. H. (2014). Reducción de las Pérdidas de Producción por falta de Surtimientos de Materiales en Líneas de Ensamble Utilizando Modelos de Simulación Discreta. *Academia Journals, VI*, 511-516.
- Matta, A., Dallery, Y., & Di Mascolo, M. (2005). Analysis of assembly systems controlled with kanbans. *European Journal of Operational Research, CLXVI*, 310-336.
- Meyers, F. E. (2000). *Estudio de Tiempos y Movimientos*. México: Pearson Educación.
- Meyers, F. E., & Stephens, M. E. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. México: Pearson.
- Mikell P., G. (2007). *Fundamentos de Manufactura moderna*. México: McGraw-Hill.
- Mora, A. B., Tobar, J. L., & Soto, J. A. (2012). Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación. *Scientia Et Technica, XVII*, 100-106.
- Morales, A. G., R., R. J., M., H. L., Morales, A. V., Rodríguez, S., & Pérez, A. R. (2013). Modelación de la Cadena de Suministro Evaluada con el Paradigma de Manufactura Esbelta utilizando la Simulación. *Científica, XVII*, 133-142.
- Moreno, P. V., & Mora, J. R. (2012). Elementos que afectan el nivel de Inventario en Proceso (WIP) y los costos de una línea de producción. *Conciencia Tecnológica*, 36-41.
- Müller, E., Tolujew, J., & Kienzle, F. (2012). Push-Kanban - a kanban-based production control concept for job shops. *Production Planning & Control: The Management of Operations, XXV*, 1-13. doi:10.1080/09537287.2012.701021

- Muris, L. J., & Moacir, G. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, CXXV, 13-21. doi:10.1016/j.ijpe.2010.01.009
- Muther, R., & Haganäs, K. (1969). *Systematic Handling Analysis*. Kansas: Management and Industrial Research Publications.
- Papadopoulos, G. A., Zamer, N., Sotiris, P. G., & Tatsiopoulos, I. P. (2016). Supply Chain Improvement in Construction Industry. *Universal Journal of Management*, IV, 528-534.
- Quesada, P. H., Buehlmann, U., & Arias, E. (9 de Mayo de 2013). *Virginia Cooperative Extension*. Obtenido de Pensamiento Lean: Ejemplos y Aplicaciones en la Industria de Productos de Madera: <http://hdl.handle.net/10919/48095>
- Salazar, L. B. (2016). *Ingenieria Industrial*. Obtenido de Lean Manufacturing: www.ingenieriaindustrialonline.com
- Sánchez, C. G., Sánchez, C. J., & Patiño, H. O. (2012). KANBAN allocation in a serial supply chain. *Tecnura*, XXI, 59-67.
- Satoglu, S. I., & Sahin, I. E. (2013). Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, LXV, 319-332.
- Scenna, N. (1999). *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos*. México: Scenna.
- Segovia, C. R. (2009). Simulación de sistemas para la optimización del almacenamiento y despacho de los productos de gas natural. *Ingeniería Industrial*(XXVII), 81-98.
- Sendil, K. C., & Panneerselvam. (2007). Literature review of JIT-KANBAN system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, XXXII, 393-408. doi:10.1007/s00170-005-0340-2
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for human

system. *International Journal of Production Research*, XV, 553-564.
doi:10.1080/00207547708943149

Womack, J. P., & Jonas, D. T. (1996). *Lean thinking. Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: FREE PRESS.

Wong, W. (1995). *Fundamentos del diseño*. Barcelona: Gustavo Gili.