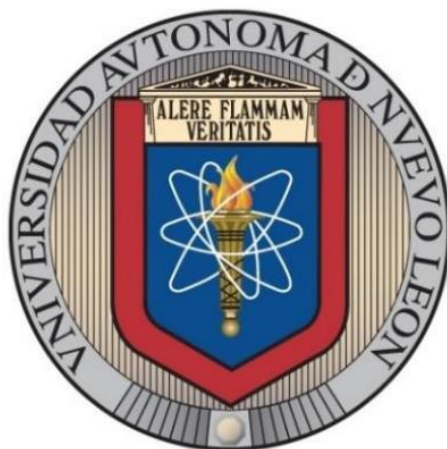


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**INNOVACIÓN EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA
Y SU ADAPTACIÓN A LA INDUSTRIA MODERNA**

**POR
YESSICA JAQUELINE RAMÍREZ ISLAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

AGOSTO, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



INNOVACIÓN EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA
Y SU ADAPTACIÓN A LA INDUSTRIA MODERNA

POR
YESSICA JAQUELINE RAMÍREZ ISLAS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

AGOSTO, 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Innovación en los sistemas de manufactura y su adaptación a la industria moderna», realizada por el alumno Yessica Jaqueline Ramírez Islas, con número de matrícula 1458698, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

Asesor

MBA. Daniel Gerardo Cordova Chavez

Revisor

MLCS. Blanca Idalia Pérez Pérez

Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, agosto 2019

*A mis padres Juan Carlos Ramírez y Sofía Islas, por su apoyo incondicional
durante estos dos años de maestría.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	x
Resumen	xi
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	4
1.4.1. Caso de Éxito ENSTO	4
1.5. Metodología	5
1.6. Estructura de la tesis	6
2. Marco Teórico	8
2.1. Sistemas de Manufactura Tradicionales	8
2.2. Sistema <i>Kanban</i>	11
2.2.1. Tipos de <i>Kanban</i>	11

2.2.2.	Adaptaciones y modificaciones del sistema <i>Kanban</i>	12
2.2.3.	Fórmula sistema <i>Kanban</i>	15
2.3.	Evolución de la industria y el uso de la tecnología	18
2.3.1.	Tecnologías Industria 4.0	19
2.3.2.	Paradigmas Industria 4.0	20
2.4.	<i>Lean Automation</i>	21
2.5.	Tecnologías disponibles de la Industria 4.0 para sistema <i>Kanban</i> . . .	22
2.6.	Conclusiones del Capítulo	26
3.	Metodología	27
3.1.	Estudio de la herramienta <i>Kanban</i> y análisis de marco teórico	28
3.2.	Estudio de herramientas disponibles en la Industria 4.0 para el Sistema <i>Kanban</i>	30
3.3.	Desarrollo de metodología para la adaptación del Sistema <i>Kanban 4.0</i>	31
3.3.1.	Selección de inventario que se requiere adaptar al sistema <i>Kanban 4.0</i>	32
3.3.2.	Estudio de la demanda del inventario seleccionado, cálculo de tarjetas <i>Kanban</i>	33
3.3.3.	Análisis de espacios, flujos y recursos disponibles	35
3.3.4.	Selección de tecnología disponible para <i>Kanban 4.0</i> de acuerdo al inventario seleccionado.	36
3.3.5.	Implementación en almacén y Operaciones	39

3.4. Aplicación de la herramienta en caso de estudio	41
3.5. Resultados y conclusiones del caso de estudio	41
4. Resultados	42
4.1. Aplicación caso de estudio	42
4.1.1. Características sistema <i>Kanban</i> Planta Mezquital	42
4.1.2. Proceso requisición material Planta Mezquital	43
4.1.3. Problema detectado en Planta Mezquital	45
4.1.4. Adaptación de la herramienta Planta Mezquital	46
4.2. Conclusiones	53
5. Conclusiones	56

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Beneficios Sistema <i>Kanban</i>	4
1.2. Metodología propuesta	5
2.1. Principios manufactura esbelta	9
2.2. Tipos de <i>Kanban</i>	11
2.3. Tecnologías Industria 4.0	19
2.4. Contenedor <i>Ibin</i> Fuente: wuerth-industrie	24
3.1. Metodología Investigación	27
3.2. Características originales Sistema <i>Kanban</i>	29
3.3. Metodología adaptación herramienta <i>Kanban</i>	31
3.4. Características para la selección de una tecnología	37
4.1. Proceso activación <i>Kanban</i> Planta Mezquital	44
4.2. Metodología adaptación herramienta <i>Kanban</i>	46
4.3. Proceso activación <i>Kanban</i> Planta Mezquital	54
4.4. Metodología adaptación herramienta <i>Kanban</i>	55

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Modificaciones <i>kanban</i>	14
2.2. Beneficios combinación <i>RFID y Kanban</i>	23
3.1. Checklist selección de inventario	33
3.2. Inventario de seguridad de acuerdo a clasificación ABC	35
3.3. Tipos de inventarios sugeridos de acuerdo al tipo de tecnología	38
3.4. Beneficios de la tecnología en la CS	39
4.1. Demanda en los últimos 6 meses	47
4.2. Porcentaje variación de la demanda	47
4.3. Checklist criterios	48
4.4. Uso mensual	49
4.5. Cálculo tarjetas <i>Kanban</i>	50
4.6. Comparación tecnologías	51

AGRADECIMIENTOS

A mis comité de tesis el Dr. Tomas Eloy Salais Fierro por guiarme estos dos años en este proceso tesis aportando sus conocimientos e impulsando a esforzarme y sacar lo mejor de mi en este trabajo demostrado mis capacidades y habilidades.

A la MLCS Blanca Idalia Pérez Pérez por participar como revisora en este proceso y ayudarme con sus aportaciones para que este proyecto saliera de la mejor manera posible.

A mi revisor externo MBA Daniel Gerardo Cordova Chavez por formar parte de este proyecto y brindarme herramientas que me ayudaran a complementarlo y lograr un trabajo exitoso.

A mis profesores que durante estos dos años de maestría me brindaron los conocimientos y bases necesarios para poderme desenvolver en este proyecto y llevarlo al ámbito labora.

Al Ingeniero José Luis Arrendondo que me apoyo con una beca escolar que me permitió llegar hasta aquí y concluir mis estudios.

RESUMEN

Yessica Jaqueline Ramírez Islas.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: INNOVACIÓN EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA Y SU ADAPTACIÓN A LA INDUSTRIA MODERNA.

Número de páginas: 60.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: El objetivo principal de este trabajo de tesis fue desarrollar una metodología para adaptar una herramienta tradicional de la manufactura esbelta a las tecnologías de la industria 4.0 con el fin de mejorar los niveles de inventario y abastecimiento de la materia prima haciendo uso de los procesos de automatización con los que actualmente contamos en esta era digital.

Como método de estudio la investigación tomó casos de estudio en donde el sistema *Kanban* ayudó a resolver problemas de abastecimiento e inventario de manera eficiente, así mismo se estudiaron todas las herramientas de la manufactura esbelta para poder desarrollar una metodología de adaptación adecuada.

Se estudiaron las tecnologías de la Industria 4.0 disponibles para *Kanban* y se tomaron las que podían ser utilizadas en nuestro caso de estudio.

Por ultimo revisamos caso de estudios en donde algunas herramientas de la manufactura esbelta se adaptaron a las nuevas tecnologías y lo tomamos como base para el desarrollo de este trabajo

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Como conclusión de este trabajo desarrollamos una metodología para adaptar el sistema *Kanban* a las tecnologías de la industria 4.0 mediante una serie de pasos que se podrán seguir, tomando en cuenta los criterios mas frecuentes que encontramos en los casos de estudio analizados durante la revisión de literatura. Esta metodología permite a las empresas hacer uso de la tecnología al mismo tiempo que de las herramientas de manufactura esbelta, en este caso el sistema *Kanban* adaptado en nuestro caso de estudio ayudo a la reducción de inventarios y mejor control dentro del almacen.

Nuestra principal contribución para la cadena de suministro es una metodología para adaptar sus sistemas tradicionales a las nuevas tecnologías y así mantenerse actualizados dentro de la industria que cada vez esta mas automatizada.

Firma del asesor:



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

A principios de la actual década las tecnologías como *Big Data*, *Machine Learning*, Internet de las Cosas, *Smart Cities* han transformado la era digital y dado paso a la Cuarta Revolución Industrial.

Trabajar en la era digital, nos permite crear relaciones entre tecnología, innovación, transformación digital y nuevos productos así como cambiar los modelos de negocios y las relaciones e interacción de las personas con este tipo de tecnologías.

La tecnología está cambiando la manera de hacer nuestros procesos, nos encontramos en una era en la que todo está conectado al internet, desde hacer una compra a través de un dispositivo móvil, hasta poder ver la ubicación de un objeto en tiempo real, ésta tecnología no solo la vemos en nuestra vida diaria, si no también está tomando fuerza en las industrias.

En la actualidad las empresas deben mantenerse competitivas a nivel global y poder enfrentar los cambios emergentes en el mercado, no solo deben de ofrecer los mejores productos y servicios, necesitan mejorar sus operaciones de manufactura. Una de las estrategias que más se utilizan en la actualidad son los principios de manufactura esbelta, los cuales tienen como finalidad la eliminación de desperdicios y mejorar los procesos de fabricación.

Las empresas que no cambien su modelo de negocios o adapten sus sistemas de manufactura actuales a las nuevas tecnologías, corren el riesgo de quedar en la obsolescencia, ya que el mundo está creciendo de una manera exponencial y con ello su demanda de productos en el mercado.

Es por eso que esta investigación se centrará en adaptar los sistemas de manufactura actuales a la nueva era digital. Tomaremos la disciplina de la manufactura esbelta que a través de los años ha llevado a las empresas a obtener mejores resultados y aprovechamientos, seleccionando la herramienta *Kanban* analizando y modificando de acuerdo a los nuevos requerimientos de las tecnologías actuales.

El *Kanban* es un sistema que forma parte del *Toyota Production System* (TPS) el cual fue creado para controlar los niveles de inventario, producción y el abastecimiento de los componentes. De acuerdo a (Graves, 1995) el *Kanban* es definido como un sistema de control para el flujo de los materiales que controla la cantidad correcta en el tiempo correcto que la producción lo necesita.

El *Kanban* fue creado para satisfacer las necesidades específicas de una compañía (Toyota) es decir que su implementación y estudio fueron bajo condiciones de mercado y producción específicas.

Los clientes actualmente buscan productos con costos más bajos, alta calidad, entregas a tiempo y flexibilidad, debido a la dificultad de usar el concepto original del sistema *Kanban* con diversas situaciones y factores, nos vemos en la necesidad de realizar un análisis y estudio para adaptarlo adecuadamente a las necesidades específicas de las empresas y las tecnologías actuales.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La demanda actual del mercado se encuentra muy cambiante cada vez mas, los clientes buscan precios competitivos y tiempos de entrega cortos, para las empresas

es muy difícil reaccionar a este tipo de cambios con sistemas de manufactura tradicionales que no les permiten reaccionar de manera adecuada y rápida, se topan con problemas para conseguir la materia prima, sobreproducción, excesos de inventario que corren riesgo de obsolescencia con el tiempo lo cual se traduce en costos para la empresa.

Debido a estos cambios de demanda y la competencia global a la que se enfrentan deben modificar la manera en que gestionan su cadena de suministro con la finalidad de poder cumplir con las necesidades del mundo actual y poder mantenerse competitivas.

Es por eso que en este trabajo de tesis se desarrolla una metodología que permita modificar la manera en que se abastece la materia prima, haciendo uso de las tecnologías que brinda la industria 4.0 con el fin de evitar excesos de inventario, tener un mejor control de la materia prima, así como mejorar los procesos que se tienen en la cadena de suministro actualmente.

1.2 OBJETIVO

Mejorar el nivel de inventario y abastecimiento de la materia prima, mediante la adaptación del Sistema *Kanban* con la ayuda de tecnologías de la industria 4.0 como etiquetas *RFID* y *Ibin System*

1.3 HIPÓTESIS

Mediante la adaptación del sistema *Kanban* a la industria 4.0 podremos mejorar el nivel de abastecimiento de materia prima, el cual nos ayudara a mantener un control de inventario eficiente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al artículo *Overview of Kaban Systems* por (Chun-Che, 2010) se tienen grandes beneficios con el uso del sistema *Kanban* los cuales se muestran en la figura siguiente 1.1



Figura 1.1: Beneficios Sistema *Kanban*

Dentro de la reducción de inventarios encontramos que al ser un ambiente controlado por señales solo se requiere el inventario cuando este se necesita, lo cual nos ayuda evitar los excesos de inventario que no se requieren y evitar las obsolescencias. Así mismo logramos tener una flexibilidad en nuestra Cadena de Suministro al poder modificar nuestros procesos a medida que nuestras demandas de material cambian, logrando reducción de costos para la empresa.

1.4.1 CASO DE ÉXITO ENSTO

Ensto es un grupo industrial finlandés especializado en el desarrollo, producción y comercialización de sistemas y componentes eléctricos. Esta empresa decidió pasar de un Sistema tradicional *Kanban* a un sistema automatizado, el cual con ayuda de tecnologías para la industria 4.0 obtuvo los siguientes beneficios:

1. Niveles de almacén más estables y fáciles de controlar.

2. Reducción de los tiempos de entrega, gestión y planificación.
3. Tiempo de entrega se mejor un 3.3%
4. Reducción y corrección de errores humanos

La empresa paso de tener fallas con sus sistema tradicional del *Kanban* a hacer uso de las tecnologías y mejorar de manera eficiente sus procesos y reducción de costos para la empresa por este tipo de errores.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología que se siguió para realizar este trabajo de tesis es a continuación a través del siguiente diagrama de flujo 1.2

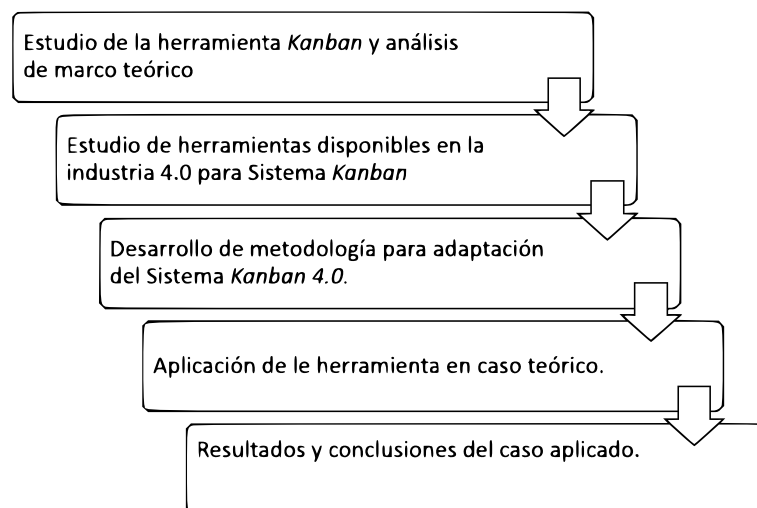


Figura 1.2: Metodología propuesta

En el primer punto definición y alcance de estudios, analizamos el impacto que actualmente tiene la tecnología en los procesos productivos con los que cuentan las empresas y la necesidad que existe de evolucionar los sistemas de manufactura tradicionales con la finalidad de poder satisfacer la demanda cambiante del mercado que se tiene actualmente y poder ofrecer los mejores servicios y productos.

Como herramienta a estudiar y adaptar a las tecnologías de la industria 4.0. se selecciona el sistema *Kanban* a las tecnologías el cual nos permite mantener el control de los inventarios y el abastecimiento de la materia prima en forma y tiempo adecuado.

Para este trabajo se realizó una investigación en la literatura de la definición de sistema *Kanban*, tipo de *Kanban* , principales funciones del *Kanban* y fallas en el sistema actual que con la metodología propuesta en este trabajo de tesis pretendemos resolver con el uso de la tecnología.

Para el desarrollo de la herramienta, se estudiaron varios artículos científicos que hablan del sistema *Kanban* tradicional así como las adaptaciones que este ha sufrido a través del tiempo y el uso de las tecnologías, así mismo se estudiaron las tecnologías actuales de la industria 4.0 con el que se cuentan actualmente con el fin de desarrollar una metodología que permita a las empresas adaptar su herramienta *Kanban* tradicional a la industria 4.0 a través de una serie de pasos y procesos.

En el punto de aplicación de la herramienta, desarrollamos un caso de estudio en el cual aplicamos la metodología propuesta para la adaptación de la herramienta mostrando los resultados de esta adaptación.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está estructurada en cinco capítulos, ordenados según un proceso lógico de desarrollo en función de los objetivos de la investigación.

Capítulo I Introducción: Se establece el objetivo de la investigación el cual es mantener un nivel adecuado de inventario y abastecimiento la materia prima, mediante la adaptación del Sistema *Kanban* con tecnologías 4.0 se da una pequeña introducción de la metodología que se llevo a cabo para el desarrollo de la investigación así como una justificación del porque del proyecto.

Capítulo II Antecedentes: En el marco teórico se detallan temas como el sistema *Kanban*, se explica un poco acerca de los sistemas de manufactura tradicionales como la manufactura esbelta, se explica la evolución de la industria para pasar al termino industria 4.0 y por ultimo se explica un poco acerca del nuevo concepto *lean automation*.

Capítulo III Metodología: En la metodología, se establece los pasos que se siguieron durante la investigación para llegar a los resultados propuestos para la adaptación de la herramienta a las tecnologías de la industria 4.0

Capítulo IV Resultados/Análisis: En este capitulo se muestran los resultados de la metodología propuesta aplicada en el caso de estudio, se ven mejoras en los procesos y los beneficios que se obtuvieron de la adaptación de la herramienta.

Capítulo V Conclusiones: Se presentan conclusiones generales del trabajo, comentarios de la investigación así como trabajo a futuro que se pretende realizar.

En este documento de tesis como trabajo de investigación se establece una metodología que permite adaptar un sistema tradicional de manufactura como el Sistema *Kanban* a algunas de las tecnologías disponibles en la industria 4.0, para el abastecimiento de la materia prima y un control eficiente del inventario.

Como se explica en este capitulo y a través de la tesis la demanda en el mundo actual es muy cambiante y los clientes necesitan productos de calidad con tiempos de entrega cortos y mejores precios, es por eso que las empresas necesitan modificar su modelo de negocios y adaptarse a las nuevas tecnologías.

Con la metodología propuesta se espera que a las empresas se les facilite la manera de hacer esta transición a la nueva era digital y poder cumplir con los requerimientos del mundo actual.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo mostraremos la literatura analizada para nuestro trabajo de tesis, mostraremos los conceptos más importantes y casos de estudio que le darán soporte al trabajo que pretendemos realizar.

Describiremos los sistemas de manufactura tradicionales desde sus orígenes así como las herramientas más sobresalientes de la cultura de la Manufactura Esbelta. Pasando más a detalle a explicar acerca del Sistema *Kanba* que es la herramienta que adaptaremos durante este trabajo de tesis.

También analizamos la evolución de la industria, cuales son las diferentes revoluciones que ha vivido la industria, para llegar a la cuarta revolución industrial, explicando algunas de sus tecnologías y paradigmas.

2.1 SISTEMAS DE MANUFACTURA TRADICIONALES

La Manufactura Esbelta fue desarrollada en Japón en 1940, dentro del sistema de producción Toyota el cual se basaba en el deseo de producir en un flujo continuo que no dependiera de una larga producción para ser eficiente (Melton, 2005) es por eso que se define como un conjunto de herramientas que ayuda a la identificación y eliminación de desperdicios con el fin de mejorar la calidad así como la producción

y los costos.

La manufactura esbelta hoy en día, cubre diversos aspectos de la fabricación a partir de la etapa inicial del ciclo de vida del producto, como desarrollo de productos, adquisición y fabricación hasta distribución.

A continuación se muestra una imagen 2.1 que presenta los pasos y los principios de la Manufactura Esbelta (Melton, 2005)

Paso	Principio Lean
Establecer vision estrategia	-
Identificar y establecer equipos	-
Identificar productos	Value
Identificar procesos	Value Stream
Revisar el layout de la empresa	Flow
Seleccionar la estrategia correcta de pull	Pull
Mejora continua	Perfection

Fuente: Hobbs

Figura 2.1: Principios manufactura esbelta

Los principales elementos de la Manufactura Esbelta según (Melton, 2005) son:

1. *Value Stream Mapping (VSM)* define el flujo de valor como "Todas y cada una de las actividades, incluida la actividad de valor agregado (VA) y Actividad no agregada al valor (NVA) requerida para convertir la materia prima en producto terminado mediante el mapeo del proceso y los flujos de información esenciales para cada producto "

2. *Push and Pull system* el sistema Pull depende totalmente de un requisito de cliente, mientras que el Push depende de un programa de producción determinado.

3. *Manufactura celular*: define la instalación agrupación para producir el producto con un tiempo de proceso mínimo, tiempo de espera y transporte mediante el flujo del proceso.

4. *Kanban* es la entrega del material correcto en el tiempo correcto. Sistema

de producción justo a tiempo de una pieza para asegurar el flujo adopte un horario directo sin interrupción, reflujo o desecho, relajando el tiempo de *takt* el cual es el tiempo medio entre el inicio de la producción de un material y el inicio del otro, disminuyendo el riesgo de fallas de la máquina y errores del operador.

5. *Production Levelling* aumenta el volumen de producción, así como la mezcla de producción y la eficiencia de producción mediante la reducción desperdicio, desnivel y sobrecarga de personas o equipos.

En el artículo « Una metodología para la efectividad, implementación de estrategias lean y su evaluación de desempeño en organizaciones de fabricación» (Karim y Arif-Uz-Zaman, 2013) nos muestran una metodología para implementar técnicas de manufactura esbelta y los resultados que se obtuvieron utilizando sistemas de manufactura tradicional.

El caso de estudio se desarrolló en una empresa australiana llamada EXCELL Limited la cual contaba con problemas en el tiempo que le tomaba realizar ciertos procesos, como parte de la investigación se realizó un mapeo de sus procesos aplicando la técnica *Value Stream Mapping* la cual dio como resultado encontrar las deficiencias en el proceso y poder mejorarlas a través de técnicas de Manufactura Esbelta.

El resultado de la implementación de sistemas de manufactura esbelta en la compañía EXCELL fue la eliminación de tiempo en uno de sus procesos mejorando su productividad 11 % (Karim y Arif-Uz-Zaman, 2013).

En conclusión el aumento de la competitividad mundial ha obligado a las empresas producir productos de alta calidad a un ritmo más rápido y a un costo competitivo. A fin de alcanzar estas metas, las organizaciones deben competir con paradigmas modernos de manufactura tales como Manufactura Esbelta y técnicas de mejora continua para lograr mantenerse competitivos y satisfacer las exigencias del mercado actual.

2.2 SISTEMA *Kanban*

El sistema *Kanban* forma parte de las herramientas de la manufactura esbelta el cual es un sistema de señales de requisición de material que tiene como objetivo minimizar el inventario.

Kanban es una palabra japonesa que literalmente significa «señal visible» pero hablando en un ambiente de manufactura se refiere a tarjetas *Kanban*. El sistema *Kanban* se basa en el requerimiento de un cliente hacia su proveedor (Rahman *et al.*, 2013) es decir requerir el material en el momento en que este se termina.

Kanban es un método para gestionar el trabajo que surgió en Toyota Production System (TPS). A finales de los años 40, Toyota implementó en su producción el sistema justo a tiempo que en realidad representa un sistema de arrastre. Esto significa que la producción se basa en la demanda de los clientes y no en la práctica tradicional jalón de fabricar productos e intentar venderlos en el mercado.

2.2.1 TIPOS DE *Kanban*

El sistema *Kanban* de acuerdo a su función en el proceso de requisición de material se clasifica en 4 tipos como se muestra en la figura 2.2 de acuerdo a (Rahman *et al.*, 2013).



Figura 2.2: Tipos de *Kanban*

Kanban primario : viaja de una etapa a otro entre las principales células de

fabricación el *Kanban* primario tiene dos tipos:

Kanban transportador que es llevado al pasar de una etapa a la etapa siguiente.

Kanban de producción y se utiliza para ordenar producción de la parte retirada por la etapa sucesiva.

***Kanban* de suministro:** es aquel que viaja de un almacén a una instalación de fabricación.

***Kanban* de compras:** viaje desde afuera de la empresa hacia el área de recibos de la empresa.

***Kanban* auxiliar:** es un *Kanban* para una aplicación específica.

2.2.2 ADAPTACIONES Y MODIFICACIONES DEL SISTEMA *Kanban*

Después del análisis y estudio de los artículos seleccionados se elabora una tabla comparativa de los sistemas *Kanban* adaptados que existen actualmente, cuáles han sido las ventajas de la modificación que han sufrido respecto al *Kanban* original y que características originales permanecieron.

Como características del *Kanban* original de acuerdo a las literaturas utilizadas en el *Toyota Production System (TPS)* se toman las siguientes, cada característica original es enumerada consecutivamente para tomarse como referencia en la tabla comparativa.

Características originales Sistema *Kanban*:

1. Sistema de dos tarjetas: esta característica se basa en el uso de dos tarjetas las cuales son usadas como señales de producción que autorizan el proceso de producir cierta cantidad de piezas de un producto.

2. *Pull production*: La producción es jalada de acuerdo al de inventario de la

estación anterior.

3.Trabajo limitado en proceso: el nivel de inventario es limitado en cada estación de trabajo dependiendo del número de señales *Kanban* que se tengan.

4.Control descentralizado: el flujo del control de la producción depende completamente del control visual de los empleados de caso en el proceso de producción.

Para las modificaciones respecto al sistema *Kanban* original se elabora la siguiente lista en la cual cada letra muestra la ventaja respecto a la modificación realizada, que se usara como referencia en la tabla comparativa:

- A. Simplifica el uso de señales.
- B. Facilita la introducción de nuevos productos.
- C. Se puede utilizar en ambientes donde se manejan muchos proveedores.
- D. Se puede utilizar en ambientes con sistemas automatizados.
- E. Se puede utilizar en estaciones de trabajo que están a largas distancias una de la otra.
- F. Reduce el margen de error por el manejo manual de las señales *Kanban*.
- G. Reduce el tiempo y manejo de las señales *Kanban*.
- H. Se puede utilizar para productos con demanda inestable. I. Se puede utilizar en ambientes donde hay una gran variedad de números de parte y productos.
- J. Se puede utilizar en ambientes donde existe alta variación en el tiempo de los procesos.
- K. Reduce el promedio del inventario.
- L. Incrementa la flexibilidad para el re abastecimiento de la materia prima.

Como se observa en la tabla comparativa 2.1 de los artículos seleccionados

Año artículo	Autor	Adaptación	Características originales	Ventajas de la adaptación
2010	Vernyi,Vinas	E-kanban	2,3,4	E,F,G,C,B
2003	Takashi	Inventory Based System	1,3,4	H, K
2001	Tardif, Maaseidvaag	Adaptive kanban	2,3,4	G,H,K
2000	Takeda	Virtual Kanban	2,3	H, J, I, K
1997	Landt	Bar- Coding Kanban	3	H,C,K,L
1990	Chaudhury, Whinston	Auto adaptive kanban	2,3,4	H, I, J, D

Tabla 2.1: Modificaciones *kanban*

se buscaron variaciones del sistema *Kanban* que tuvieran alguna adaptación con la tecnología, a continuación explicaremos cada una de estas variaciones para un mejor entendimiento.

Auto adaptive Kanban, propuesto por (Chaudhury and Whinston, 1990) contiene una estructura similar al sistema *Kanban* y se puede auto ajustar de acuerdo a la producción y las condiciones de la demanda, este sistema propuesto en 1990, funciona a través de sistemas de manufactura computarizados, podemos ver que en 1990 se empezaba a utilizar el uso de las tecnologías para la adaptación de este tipo de sistemas.

Bar- Coding Kanban, propuesto por (Landt et al, 1997) en este sistema se usa la planeación de los materiales con el uso de código de barras en las tarjetas, dentro de los beneficios que se observan con esta adaptación es el control del trabajo en proceso.

Virtual Kanban, propuesta teóricamente por (Takeda, 2000) el cual se puede aplicar a productos altamente configurables este tipo de *Kanban* consiste en transferir la señal una vez que se haya acabo la materia prima.

Adaptive Kanban, desarrollado por (Tardif anf Maaseidvaag 2001,) este sistema fue desarrollado en ambientes con demanda inestable, nos ayuda a controlar el material que se tiene en proceso ya que se mide cuanto y como debe pasar la señal para el re abastecimiento del *Kanban*.

Inventory based system, en este sistema propuesto por (Takashi, 2003) el nivel

del inventario es monitoreado para detectar variaciones inestables en la demanda, cada que se detecta una inestabilidad el nivel de señales *Kanban* aumenta o baja.

E-Kanban, desarrollado por (Vernyi y Vinas, 2005) esta es una adaptación similar al *Kanban* original el único cambio que se hace aquí es que se sustituyen las tarjetas físicas por señales electrónicas.

Después de haber analizado y comparado las adaptaciones que ha sufrido el sistema *Kanban* a lo largo de los años, desarrollaremos una metodología que nos permita adaptar el sistema tradicional que se presenta en nuestra empresa a las tecnologías de la industria 4.0.

El artículo «Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation» (Rahman *et al.*, 2013) nos muestra el caso de una empresa en Malasia la cual tenia problemas en el abastecimiento de la materia prima el cual con la adaptación del sistema *Kanban* tuvo los siguientes beneficios:

Los costos operativos, los desperdicios, los desperdicios y las pérdidas se minimizaron, a lo largo de la implementación las existencias de producción fueron controladas con estaciones de trabajo flexibles lo cual los llevo a reducir el inventario que se tenia en proceso, llevándolos a sus niveles de inventario óptimo de acuerdo a las metas específicas de la empresa.

2.2.3 FÓRMULA SISTEMA *Kanban*

La fórmula que utilizo Toyota Motor Company para determinar su número de tarjetas *Kanban* es conocida como Toyota fórmula (Kumar y Panneerselvam, 2007), la cual se presenta a continuación:

$$K \geq \frac{DL(1 + \alpha)}{C}$$

En la que:

K es el número de *Kanbans*

D es la demanda por unidad de tiempo

L es el tiempo de espera

α es el factor de inventario de seguridad

C es la capacidad del contenedor

De acuerdo a la literatura se observo que para el tiempo de espera la fórmula Toyota toma en cuenta el tiempo de procesamiento, el tiempo de transporte y el tiempo de entrega.

El inventario de seguridad de acuerdo a (Kumar y Panneerselvam, 2007) sirve para amortiguar las variaciones tanto en la oferta como en la demanda.

La letra K es el número de *Kanbans* el cual esta relacionado con valores, si el valor de K aumenta el inventario de seguridad de las partes también lo hará y si este disminuye lo mismo pasara con los inventarios de seguridad.

Si bien esta fórmula tiene su origen desde el TPM es importante resaltar que ha sufrido varias adaptaciones de acuerdo al tipo de industria y lo que se pretende adaptar al sistema *Kanban*, para los propósitos de esta tesis nosotros nos basaremos en en la fórmula que se muestra a continuación la cuál es una adaptación de la fórmula original:

$$((DU*LT)*SS/PQ)+1$$

DU: Uso diario

LT: Tiempo de entrega

SS: Inventario seguridad

PQ: Cantidad por *bin*/ tarima

DU: Se toma en cuenta el uso que se tiene del inventario seleccionado de acuerdo a la demanda que se tiene del inventario de acuerdo a la producción o ventas.

LT: Es el tiempo de entrega que tiene el inventario seleccionado desde su producción hasta su fecha de llegada al punto de abastecimiento, se toman en cuenta los tiempos de transito.

SS: Es el inventario de seguridad que se tiene dependiendo de la clasificación del inventario seleccionado en base a un pareto ABC 80/20.

PQ: En este punto se toman en cuenta la cantidad de contenedores que se necesitaran utilizar de acuerdo al standard del inventario seleccionado, estos pueden ser *bines* o tarimas.

Análisis ABC: es un método de control de inventario basado en un principio estadístico descubierto por un economista del siglo XIX, Vilfredo Pareto.

Clasificación ABC: cuando el análisis ABC se aplica como una técnica de control de inventario, se revela la importancia relativa de cada elemento y se puede promulgar un nivel de inventario correspondiente. La adaptación de la Ley de Pareto sigue el siguiente patrón:

- o El inventario A representa aproximadamente el 20 % de los artículos y el 80 % del costo.

- o El inventario B representa aproximadamente el 30 % de los artículos y el 15 % del costo.

- o El inventario de C representa aproximadamente el 50 % de los artículos y el 5 % del costo,

En conclusión el sistema *Kanban* nos permite mantener buenos niveles de de

inventario y abastecimiento ya que nos permite a través de señales requerir el material necesario la producción en el tiempo y forma adecuada, eliminando la generación de excesos de inventario.

2.3 EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA Y EL USO DE LA TECNOLOGÍA

Industria es la parte de la economía que produce bienes materiales son altamente mecanizados y automatizados (Lasi *et al.*, 2014).

Desde el inicio de la industrialización varios cambios tecnológicos han sido implementados lo que ahora conocemos como revoluciones industriales.

La primera revolución industrial es en la cual se tuvo la mecanización y el uso de la maquina de vapor, la segunda donde tuvo la producción en masa y la electricidad, en la tercera se tuvo la introducción de los sistemas de automatización y así pasamos a lo que hoy en día conocemos como la cuarta revolución industrial o industria 4.0 en la que vemos la interconexión de las cosas por medio del internet y la autosuficiencia de las maquinas.

El término Industria 4.0 fue acuñado por el gobierno alemán para describir la fábrica inteligente, una visión de la fabricación informatizada con todos los procesos interconectados por Internet de las Cosas, las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 se muestran en la imagen siguiente 2.4.

(Lasi *et al.*, 2014) Define a la industria 4.0 como un proyecto futuro que es definido en dos direcciones de desarrollo por un lado es una necesidad de hacer cambios en los marcos operativos debido a las condiciones actuales del mercado y por otro existe un empuje tecnológico en el sector industrial.



Figura 2.3: Tecnologías Industria 4.0

2.3.1 TECNOLOGÍAS INDUSTRIA 4.0

Dentro de las tecnologías mas relevantes que podemos encontrar en la industria 4.0 de acuerdo (Lu, 2017) tenemos:

Sistemas ciberfísicos: Sistemas que son capaces de unir los procesos físicos con los software con el fin de obtener análisis, datos, diseños y modelados.

Realidad Aumentada: Convierte el entorno en una interfaz digital que permite colocar objetos virtuales en el mundo real y a tiempo real.

Fabricación aditiva: En esta tecnología se tiene el uso importante de las impresoras 3D las cuales permiten construir de manera mas eficiente ayudando en la reducción de tiempos para la fabricación de materiales y prototipos.

Cloud Computing: Son plataformas públicas o privadas en la Nube que permiten el acceso y la recuperación de datos desde cualquier lugar o dispositivo.

Big Data y Blockchain: Esta tecnología nos permite agrupar gran cantidad de datos y hacer una lectura de ellos para realizar pronósticos, el *Blockchain* nos permite

realizar transacciones financieras de manera virtual con todo tipo de valores.

2.3.2 PARADIGMAS INDUSTRIA 4.0

De acuerdo a (Kolberg y Zühlke, 2015) la Industria 4.0 puede ser descrita por tres principales paradigmas:

1. Producto Inteligente
2. Máquina Inteligente
3. Operador Aumentado

La principal idea del Producto Inteligente es que pase de ser una parte pasiva del proceso a una activa, en un sistema de este tipo, los productos tienen una memoria para almacenar datos operativos y requisitos individualmente, y pueden solicitar los recursos necesarios y coordinar los procesos de producción para su terminación.

La Máquina Inteligente junto con las redes abiertas y semánticas permite comunicar los componentes autónomos y así como la comunicación con otros dispositivos, módulos de producción y productos lo que hace que la línea de producción sea flexible y modular permitiendo tener datos en tiempo real y detección de cualquier falla.

Finalmente, el Operador Aumentado aborda la automatización del conocimiento que convierte al operador en la parte más flexible y adaptativa en el sistema de producción. El operador aumentado puede interferir manualmente en el sistema de producción organizado de manera autónoma, ya que este recibe el apoyo de sistemas de asistencia automatizados que el permiten ser responsable de la toma de decisiones estratégicas así como la solución que se presenten con la ayuda de los sistemas autónomos.

Como se puede observar la evolución en la industria ha tenido grandes cambios a través de los años, pasamos de una máquina de vapor a los sistemas interconectados a través del internet, estos cambios han permitido a las empresas responder a los cambios globales del mercado y manteniéndolos en la competencia global, gracias a la evolución en sus procesos con el uso de la tecnología no solo viendo beneficios en la reducción de costos si no que tienen productos con mejor calidad así como una visión mas amplia de su cadena de suministro, con lo cual pueden tomar decisiones mas rápidas y acertadas.

2.4 *Lean Automation*

Lean Automation (Kolberg y Zühlke, 2015) toma la idea de combinar la tecnología de automatización con manufactura esbelta. El término se produjo a mediados de la década de 1990, poco después del pico de *Computer Integrated Manufacturing (CIM)*. En la última década, la ciencia no le prestaba mucha atención a *Lean Automation*. Sin embargo, en el contexto de Industria 4.0, hay nuevas soluciones disponibles para combinar la tecnología de automatización con manufactura esbelta.

A continuación se muestran algunos casos de estudio que vinculan la Industria 4.0 con la Manufactura esbelta:

1. *Smart Operator*

A través del sistema Andon mediante el cual los empleados en caso de falla deberían ser notificados tan pronto como sea posible, el *Smart Operator* podrá reducir el tiempo de ocurrencia de fallas hasta la notificación de ellas. Equipados con relojes inteligentes, los empleados reciben mensajes de error y ubicaciones de error cercanas al tiempo real. En comparación con las lámparas de señal amplia, el reconocimiento de fallas ya no depende de la ubicación de los empleados.

2. *Smart Product*

En el contexto de los procesos de mejora continua, también llamados *Kaizen* japonés, *Smart Product* podría recopilar datos de proceso para el análisis durante y después de su producción. A diferencia de la adquisición manual de datos para el mapeo de flujo de valor, es posible recopilar información individualizada por producto y línea de producción automáticamente. Por un lado, esta forma de adquisición de datos requiere menos mano de obra y, por otro lado, los datos son más precisos. Además, un producto inteligente podría contener información de *Kanban* para controlar los procesos de producción.

3. *Smart Machine*

(Ōno, 1988) Poka Yoke, las instalaciones técnicas ayudan a los empleados a evitar errores. Con su capacidad de computación y sensores conectables, que permiten integrarse de manera rápida y flexible en procesos proclives a fallas para su soporte.

4. *Smart Planner*

Con *Smart Planner* los sistemas *Kanban* tradicionales con cantidad fija de *Kanban*, los tiempos de ciclo fijos y los viajes de ida y vuelta fijos para el transporte de mercancías se convierten en producciones dinámicas que adoptan automáticamente los programas de producción actuales. Descentralizado, en las estaciones de trabajo integradas y así encontrar el óptimo entre la utilización de capacidad más alta posible por estación de trabajo y un flujo continuo de mercancías.

2.5 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES DE LA INDUSTRIA

4.0 PARA SISTEMA *Kanban*

Dentro la literatura estudiada podemos encontrar dos tecnologías que se pueden adaptar y hacer uso para el sistema *Kanban* las cuales explicaremos a continuación.

2.5.0.1 *RFID*

(Landt, 2005) *Radio Frequency Identification RFID* es el término acuñado para la tecnología de radio de corto alcance utilizada para comunicar principalmente información digital entre una ubicación estacionaria y un objeto móvil o entre objetos móviles. Este sistema utiliza el principio de retrodispersión modulada donde puede transferir los datos de la etiqueta al lector.

Un estudio realizado por (Baudin y Rao, 2000) analiza la combinación del sistema *Kanban* y las tecnologías de *RFID* en el artículo se muestran los beneficios que se tendrían en la Cadena de Suministro con la combinación de estos dos elementos, los cuales se muestran en a tabla siguiente 2.2:

Beneficios RFID y Sistema Kanban	
Flexibilidad en la Cadena de Suministro	Permite tener una mejor visión en los componentes donde es implementado, permitiendo un tiempo de reacción más rápido
Mejor control de inventarios	Al tener la visión de los materiales en tiempo real nos permite monitorear los niveles de inventario
Visibilidad de los productos en tiempo real	Permite ver su ubicación en tiempo real
Control de los contenedores	Nos permite saber el número de contenedores que tenemos, su ubicación y si se retorno de proveedor

Tabla 2.2: Beneficios combinación *RFID* y *Kanban*

Dentro de la literatura investiga el uso del *RFID* en combinación con el sistema *Kanban* se recomienda para los siguientes tipos de materiales (Thoroe *et al.*, 2009):

1. Contenedores grandes: contenedores en los que se busca tener un control dentro del almacén así como la información del producto que transporta.
2. Contenedores retornables: Contenedores que se estarán enviando con algún proveedor externo fuera del almacén y que es necesario mantener un inventario de los mismos.

3. Tarimas completas de material: Materiales de producto terminado con el fin de monitorear la salida del inventario y ayudar en los planes de re planeo.
4. Materiales grandes: Materiales de naturaleza grandes o pesados que por cuestiones de espacio en almacén son acomodados en diferentes locaciones y es necesario tener la rastreabilidad en inventario del mismo.
5. Materiales que necesitamos ver su ubicación en tiempo real para rastreabilidad

2.5.0.2 *Ibin System*

Ibin System es un un sistema de contenedores los cuales contienen una cámara pequeña que nos permite monitorear los niveles de inventario físico, cuando un operador toma piezas del mismo el módulo inteligente mide y calcula el porcentaje restante, sin la intervención humana activando el pedido al proveedor. (Hoffmann, 2016)

La cantidad, el número y la información de pedido para el artículo se pueden obtener a nivel de contenedor a través de la cámara incorporada; Esto se transmite automáticamente al sistema ERP. La imagen 2.4 muestra la estructura del contenedor *Ibin*.

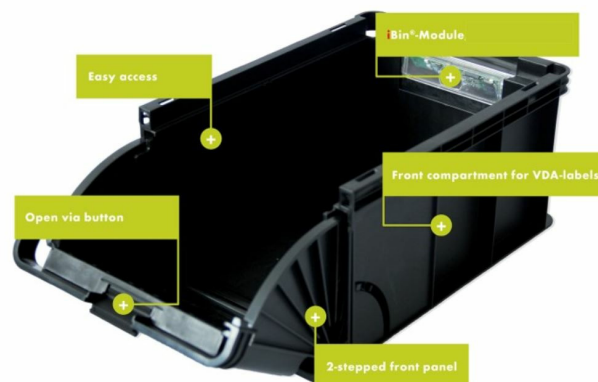


Figura 2.4: Contenedor *Ibin* Fuente: wuerth-industrie

Esta tecnología fue introducida en el 2013, pero fue hasta el 2016 donde se realizó una implementación a un sistema *Kanban* tradicional, cambiando la manera de re planear el material.

En el artículo *iBin anthropomatics creates revolutionary logistics solutions* (Hoffmann, 2016) nos muestra el cambio de paradigma en el contexto de la Industria 4.0. Utilizando el ejemplo del nuevo sistema logístico *iBin*, demostrando como la conexión en red de los procesos logísticos y abastecimiento muestran una nueva cadena de valor.

Los beneficios que se obtuvieron con esta implementación se explican a continuación:

Menos estantes y espacio de piso necesarios en áreas de producción

La provisión individual y precisa de materiales directamente en el punto de uso ayuda a agilizar los procesos de almacén y reducir los niveles de inventario.

Integración perfecta con sistemas de MRP

Fácil de introducir sin la necesidad de cambiar sus procesos existentes o de modernizar sus sistemas de almacenamiento o infraestructura.

Máximo seguimiento del inventario

El consumo es totalmente transparente debido al seguimiento permanente de los niveles de inventario. Los picos / fluctuaciones de la demanda se reconocen desde el principio.

Así mismo dentro de la literatura encontrada este tipo de tecnologías y contenedores se recomiendan para números pequeños, materiales que por su naturaleza son difíciles de medir así como para algún *Kanban* de sub ensamblés ya que cuenta con mecanismos de reordenación precisos para sus piezas C a partir de una cantidad mínima definida.

Esta tecnología nos da el beneficio de no tener mas registros manuales, ya que tenemos máxima transparencia de información a través del contenedor así como controles regulares y visuales que nos realizan la función del conteo de inventario físico.

2.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

En este capítulo se muestra la recolección literatura para este trabajo permitiéndonos tener una idea amplia de los conceptos y trabajos que se tomaron en cuenta para realizar nuestro trabajo de tesis, los cuales se tomaron como referencia para la resolución de nuestro problema.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo mostraremos la metodología de investigación que se realizó con la finalidad de cumplir con el objetivo de adaptar el sistema *Kanban* a las tecnologías de la Industria 4.0. La metodología que se siguió se muestra en la figura siguiente 3.1:

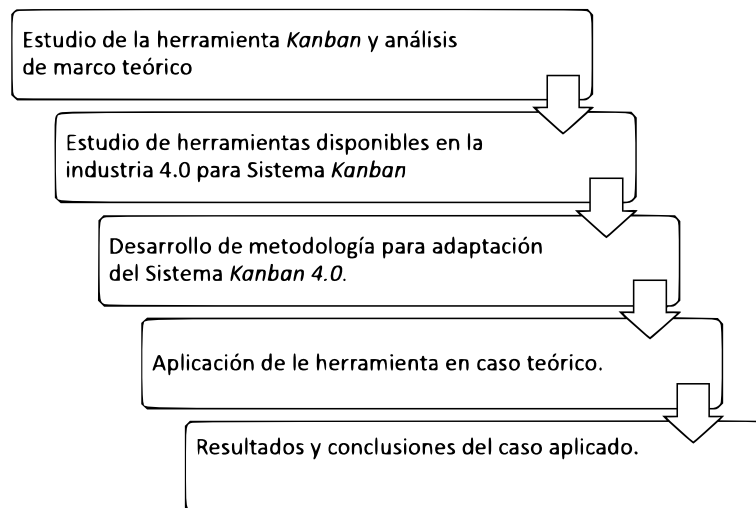


Figura 3.1: Metodología Investigación

3.1 ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA *Kanban* Y ANÁLISIS DE MARCO TEÓRICO

En este punto de nuestra metodología se realizó el estudio de la literatura en fuentes bibliográficas como Google Scholar y la Base de Datos de la UANL en ellas se buscaron temas de ingeniería relacionados con la logística, aprovisionamiento y el manejo de los inventarios.

Las siguientes palabras se usaron en combinación para obtener los artículos relacionados: *Kanban system*, *Kanban adaptation*, *lean manufacturing*, *Kanban implementation*, *Industry 4.0*, *E-kanban*

Se realizaron dos tipos de búsqueda para la selección de los artículos en la primera nos enfocamos en el uso de la herramienta *Kanban* como método para resolver problemas de inventario y abastecimiento de la materia prima y en la segunda parte revisamos artículos que nos hablaran de las modificaciones que el sistema *Kanban* ha sufrido a lo largo del tiempo con el uso de las tecnologías disponibles y que ventajas ha tenido la adaptación realizada, las cuales se explican en nuestro capítulo anterior en la tabla 2.1.

El estudio de la herramienta *Kanban* comprendió el análisis de la herramienta original creada en 1947 por Taichi Ohno, se estudió la manera en que el sistema funcionaba para la empresa Toyota tomando en cuenta las características de la industria que se presentaban en ese tiempo.

Así mismo analizamos las características que este sistema tenía como originales y que representaban la esencia original del sistema *Kanban* las cuales se muestran en la figura siguiente 3.2:

En este punto realizamos una selección de las características originales que queríamos que nuestra adaptación conservara de las cuales se seleccionaron las si-

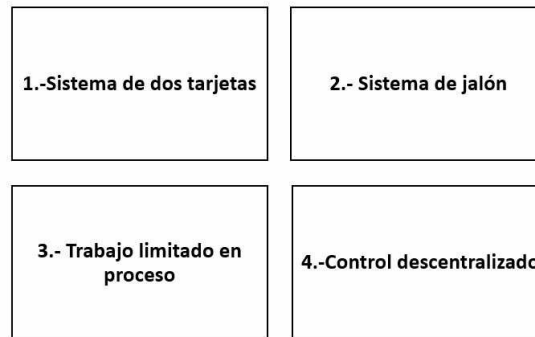


Figura 3.2: Características originales Sistema *Kanban*

guientes:

1. Sistema de dos tarjetas: lo que buscamos es que sea un sistema de dos contenedores que contengan el inventario necesario para sostener la demanda en lo que se llena el contenedor vacío.
2. Sistema de jalón: buscamos que sea un *kanban* que nos permita mejorar los inventarios, es por eso que debemos requerir el material solo cuando este se necesita y el sistema de jalón nos da esa facilidad.

Una vez seleccionada las dos características originales que queríamos conservar pasamos a revisar cuales han sido las ventajas más significativas del sistema *Kanban* con el uso de la tecnología con la finalidad de que nuestra adaptación mantuviera estas ventajas las cuales se explican en nuestro capítulo anterior, seleccionando las siguientes cuatro:

1. Reducir el promedio de inventario
2. Reducir el tiempo de manejo de señales *Kanban*

3. Reducir el margen de error por manejo manual de señales *Kanban*
4. Se pueda utilizar en sistemas automatizados.

Entonces tenemos que nuestra adaptación debe ser un Sistema *Kanban* de dos tarjetas a través de un sistema de jalón que nos permita reducir inventarios, eliminar errores humanos y nos permita hacer uso de los ambientes automatizados.

3.2 ESTUDIO DE HERRAMIENTAS DISPONIBLES EN LA INDUSTRIA 4.0 PARA EL SISTEMA *Kanban*

En nuestro segundo paso explicado en la figura 3.1 hicimos una búsqueda en la literatura de las tecnologías en la industria 4.0 que pudieran adaptarse a la automatización del sistema *Kanban*.

En este estudio buscamos que fueran etiquetas o contenedores que nos permitieran una visualización en tiempo real del inventario y una visión amplia de nuestra cadena de Suministro, además de que nos permitieran mantener nuestras características previamente seleccionado así como las ventajas que buscamos mantener la adaptación.

La literatura nos sugiere dos tecnologías *RFID* y el uso de *Ibin System*.

Para el uso de etiquetas *RFID* nos sugiere que busquemos adaptar inventario de producto terminado, tarimas completas y materiales grandes por lo que si decidimos escoger esta tecnología cumple con las características originales del sistema de jalón así como de un sistema de dos tarjetas, además de que nos brinda la facilidad del monitoreo en tiempo real del material así como de su inventario, lo cual nos ayuda con las ventajas que deseamos mantener. Así que podemos concluir que esta tecnología cumple con las características y objetivos que buscamos.

La otra tecnología que nos sugiere la literatura es el *Ibin System* el cuál es

un contenedor con una cámara integrada que nos permite medir los niveles de inventario, así mismo el contenedor es capaz de re planear de manera automática los componentes que se encuentren en el y nos permite visualizar cualquier pico en la demanda, al ser contenedores esta tecnología también nos permite cumplir con las dos características previamente seleccionadas y cumplir con las ventajas que queremos mantener con la adaptación.

Por lo cual podemos concluir que las dos tecnologías disponibles para realizar la adaptación del sistema *Kanban* sera el uso de etiquetas *RFID* y el uso de contenedores *Ibin System*.

3.3 DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DEL SISTEMA *Kanban 4.0*

En este punto de nuestra metodología 3.1, desarrollamos la adaptación de la herramienta aplicando los conocimientos adquiridos a través del estudio de la literatura y haciendo uso de las tecnologías seleccionadas.

Tomamos en cuenta criterios que nos permitieran mantener la estructura del Sistema *Kanban* pero combinándolos con el uso de la tecnología, obteniendo los pasos que se muestran en la figura siguiente 4.2.



Figura 3.3: Metodología adaptación herramienta *Kanban*

3.3.1 SELECCIÓN DE INVENTARIO QUE SE REQUIERE ADAPTAR AL SISTEMA *Kanban* 4.0

De acuerdo a la literatura existen 3 tipos de inventario, tenemos el inventario de materia prima, de producto terminado y de sub ensambles. Nuestra selección de inventario adaptar debe de contar con las siguientes características para poderse adecuar al sistema *Kanban*:

Producción nivelada nuestro inventario debe tener niveles de producción constantes y con niveles de variación no muy altos.

Variaciones de no mas del 15 % nuestro inventario seleccionado no debe tener una variación mayor al 15 % ya que tendríamos que estar cambiando la señalización a cada rato y no estamos hablando de una producción nivelada.

Para saber si nuestro inventario seleccionado tiene una variación mayor al 15 % es necesario utilizar la fórmula de variación porcentual la cuál se muestra a continuación:

Fórmula:

$$((V2 - V1)/V1)100$$

Cabe mencionar que para poder revisar la variación de nuestro inventario seleccionado es necesario tomar un periodo de demanda de seis meses que nos permita ver el comportamiento que ha tenido durante este tiempo.

Una vez que comprobamos que nuestro número de parte cumple con el requisito de la variación, realizamos un pequeño checklist que se muestra en la tabla 3.1 siguiente, el cuál nos dará una visión de que problemas no esta generando el inventario seleccionado y que podríamos eliminar con la adaptación del sistema *Kanban* a las tecnologías de la industria 4.0.

Podemos concluir que para seleccionar nuestro inventario adaptar al Sistema

Criterio	Materia Prima	Producto Terminado	Inventario en proceso
Retraso en entregas de proveedor			
Sobre inventario en las estaciones de trabajo			
Materias difíciles de medir, por su naturaleza (tornillos, pinturas, aceites)			
Exceso de inventario en el número de parte/ sub ensamble/ producto terminado			
Material obsoleto			

Tabla 3.1: Checklist selección de inventario

Kanban debemos seguir los siguientes pasos.

1. Revisar que el inventario seleccionado tenga un histórico de al menos 6 meses para poder ver su comportamiento de la demanda.
2. Hacer la prueba de la variación porcentual la cual no debe de exceder al 15 % de variación.
3. Realizar el checklist acerca de los problemas ocasionados que nos ha dado el inventario seleccionado.

3.3.2 ESTUDIO DE LA DEMANDA DEL INVENTARIO

SELECCIONADO, CÁLCULO DE TARJETAS *Kanban*

En este segundo paso de nuestra metodología propuesta, procedemos a realizar el estudio de la demanda después haber seleccionado nuestro inventario así como el cálculo de las tarjetas *Kanban* de mismo.

Para el estudio de la demanda debemos tomar en cuenta lo siguiente:

Debemos seleccionar un periodo de tiempo de 6 meses que nos permita ver las variaciones que ha tenido el componente durante este periodo tiempo. Una vez

que tenemos los datos de la demanda del producto, procedemos a utilizar la fórmula *Kanban* la cual se explica previamente en nuestro análisis de literatura

$$((DU*LT)*SS/PQ)+1$$

Para el cálculo del inventario de seguridad que tendrá nuestra tarjeta *Kanban* es necesario realizar la clasificación ABC de nuestros artículos con la finalidad de asignarle el % correcto.

La clasificación ABC como bien se menciona es la que nos dará el % de seguridad para nuestra tarjeta *Kanban*, el cuál calculáremos de la siguiente manera:

Pasos para clasificación ABC

1. Obtener el uso histórico de 12 meses para cada número de parte en el sistema.
2. Obtener el costo estándar para cada número de parte, este debe ser provisto por el departamento de Finanzas u otra fuente válida.
3. Multiplicar el uso anual de cada número de parte por su costo estándar para obtener el valor total de uso anual o el valor extendido.
4. Ordenar los números de parte en orden descendente de acuerdo con su valor extendido.
5. Dividir el valor extendido para cada número de parte por el valor extendido total para todos los números de parte y luego multiplicar por 100 para sacar el %.
6. Procedemos a calcular el porcentaje acumulativo de cada número de parte.
7. Utilizando el porcentaje acumulado, clasificamos los números de parte de la siguiente manera: del 0 % al 80 % como artículos A, por encima del 80 % y menos del 95 % como artículos B y por encima del 95 % al 100 % como artículos C .

Ya que tenemos clasificados los números de parte de acuerdo al Pareto 800 procedemos a asignarle el inventario de seguridad que se muestra en la siguiente tabla 3.2 de acuerdo a su clasificación.

Clasificación	SS
A	10 %
B	20 %
C	30 %

Tabla 3.2: Inventario de seguridad de acuerdo a clasificación ABC

Como se observa los números de parte que son los más caros y representan un 20 % de nuestro inventario total, se le asigna un inventario pequeño con la finalidad de lograr las metas de inventario en costos para la empresa.

Ya con la clasificación realizada para nuestros números de parte, procedemos a terminar el cálculo de nuestras tarjetas *Kanban*.

3.3.3 ANÁLISIS DE ESPACIOS, FLUJOS Y RECURSOS DISPONIBLES

En este tercer paso de nuestra metodología hacemos un análisis de los espacios que vamos a requerir de acuerdo al cálculo previo de tarjetas *Kanban* dependiendo del inventario seleccionado, revisamos espacios disponibles en el almacén, así como la logística del inventario seleccionado con el proveedor o hacia cliente y evaluamos si es necesario hacer la compra de racks, contenedores, etc para adecuar nuestro sistema *Kanban*.

Análisis de los espacios disponibles

En este punto es necesario revisar que contemos con los espacios necesarios para instalar nuestro *Kanban* físicamente, en este caso dependiendo de la cantidad de números que queremos adaptar podemos calcular fácilmente la cantidad de espacios,

ya que estamos manejando un sistema de dos tarjetas o dos contenedores.

Por lo cual podemos hacer una multiplicación simple del total de números de parte adaptar por 2 que sera la cantidad de tarjetas *Kanban* dándonos como resultado, la cantidad de *pallet position* o contenedores.

Ya con la cantidad de espacios que necesitaremos podemos hacer una comparación con la cantidad de espacios disponibles que se tienen en nuestro almacén y podemos tomar la decisión acerca de si es necesario adquirir mas racks, contenedores, bins y súper mercados.

Logística de inventario seleccionado con proveedor

En este punto es necesario medir el tiempo que tarda nuestro inventario seleccionado en llegar al punto de uso desde que se recibe en nuestro almacén.

Es necesario tomar en cuenta los tiempos de descarga, el tiempo que tarda de darse de alta en nuestro sistema, hasta que es llevado al punto de uso.

Este punto lo utilizaremos solo como referencia para poder monitorear la reducción de tiempos que se lograron obtener con un sistema *Kanban* automatizado.

3.3.4 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DISPONIBLE PARA *Kanban 4.0* DE ACUERDO AL INVENTARIO SELECCIONADO.

En este cuarto punto de la metodología propuesta hacemos una revisión acerca de cuales son los puntos que necesitamos tomar en cuenta para poder hacer la elección de nuestra tecnología, basándonos en un artículo de (Montoya,2008) en el cuál nos sugiere que debemos buscar las características que se muestran en la imagen siguiente

3.4

Proporcione información en tiempo real: Debido a que parte de las ventajas que buscamos con nuestra adaptación es el monitoreo de los inventarios y visión

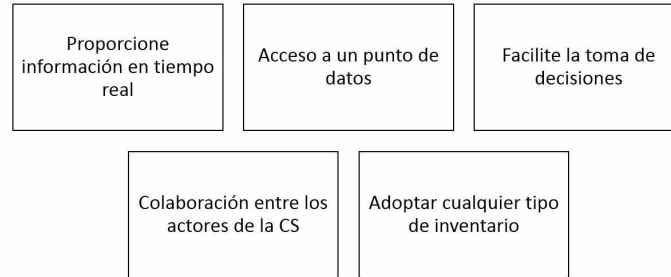


Figura 3.4: Características para la selección de una tecnología

de la cadena de suministro, es necesario que nuestra tecnología cumpla con este punto.

Acceso a un punto de datos: Debemos asegurarnos que podremos conectar nuestra tecnología seleccionada a nuestras bases de datos o sistemas de la información ya existentes para realizar análisis de datos, generar reportes etc.

Facilite la toma de decisiones: Es necesario buscar una herramienta que nos facilite la toma de decisiones críticas en nuestro proceso y que nos ahorre tiempo en el análisis con los beneficios que ofrece la tecnología.

Colaboración entre los actores de la CS: Nuestra tecnología debe de ser capaz de poder colabora con los demás actores de la cadena de suministro en el caso del *Kanban* tenemos que tomar en cuenta que es necesario que se pueda conectar y adaptar con los sistemas de nuestro proveedor o clientes.

Adoptar cualquier tipo de inventario: La tecnología seleccionada debe ser capaz de permitirnos adaptar los 3 tipos de inventario que se mencionaron previamente.

Una vez que revisamos que nuestra posible tecnología cumple con estas características pasamos a la selección de la misma.

De acuerdo a la literatura revisada existen dos tipos de tecnologías para la Industria 4.0 que podemos utilizar para adaptar nuestro sistema *Kanban* las cuales

son: etiquetas *RFID* y *Ibin System*.

De acuerdo a las ventajas que se explican de cada una de las tecnologías en la sección de literatura, elaboramos una tabla comparativa 4.1 de los tipo de inventario que de acuerdo a la literatura se pueden adaptar dependiendo del tipo de tecnología esto nos permite tomar una mejor decisión dependiendo de nuestras necesidades.

Tipos de inventario sugeridos adaptar	
<i>RFID</i>	<i>Ibin System</i>
Contenedores grandes	Materiales tipo C
Contenedores retornables	Materiales difíciles de medir
Tarimas completas de material	Materiales pequeños
Producto terminado	Materiales requeridos en procesos de sub ensambles
Materiales tamaño grande	

Tabla 3.3: Tipos de inventarios sugeridos de acuerdo al tipo de tecnología

Además elaboramos otra tabla comparativa 4.2 de ventajas que posee cada tecnología de acuerdo a la revisión de la literatura, que servirán como criterio a tomar de acuerdo al tipo de beneficio que buscamos con esta adaptación.

Con estas tablas comparativas que muestran beneficios y tipos de inventario adaptar de acuerdo al tipo de tecnología podemos hacer la selección de la tecnología adaptar y seguir con el último paso de nuestra metodología de adaptación de la herramienta.

Beneficios de la tecnología	
<i>RFID</i>	<i>Ibin System</i>
Ubicación en tiempo real de los materiales	Monitoreo en tiempo real del inventario
Control de inventarios	Generación de reportes para el análisis de la demanda
Control de entradas y salidas	Fácil integración con sistemas de MRP
Monitoreo de demanda	Re planeo automático de ordenes con proveedor
Fácil integración con sistemas de MRP	Detección de fluctuaciones y picos en la demanda

Tabla 3.4: Beneficios de la tecnología en la CS

3.3.5 IMPLEMENTACIÓN EN ALMACÉN Y OPERACIONES

Este es el último punto de nuestra metodología y es el punto del arranque de la adaptación de nuestro sistema *Kanban* y lo dividimos en 6 fases las cuales se explican a continuación:

1. Entrenamiento al personal acerca de los principios del Sistema *Kanban*.
2. Capacitación del sistema automatizado.
3. Implementación y adaptación de *Kanban 4.0* en nuestro inventario seleccionado.
4. Instalación física del sistema *Kanban* acomodo de racks, contenedores, supermercados
5. Sistema *Kanban4.0* es activado
6. Seguimiento de 6 meses para detección de fallas y monitoreo de mejoras.

Entrenamiento al personal acerca de los principios del Sistema *Kanban*

En esta fase se capacita al personal acerca del funcionamiento del sistema *Kanban* se explica en que consiste la herramienta, se habla acerca de la importancia del trabajo en equipo y mantenimiento del sistema para su correcto uso, se explica el sistema de dos contenedores y la importancia de mantener el orden en el almacén.

Capacitación sistema automatizado

Se da la capacitación a todo el personal que hará uso de la herramienta automatizada, se explica como funcionara el sistema y así mismo se explican los procesos que tuvieron algún cambio con esta implementación.

Implementación y adaptación del *Kanban 4.0* en el inventario seleccionado

Esta fase es una de las más importantes, ya que consiste en la carga de información de nuestro *Kanban* al sistema. En el punto 2 de nuestra metodología fig: 4.2 realizamos el cálculo de las tarjetas *Kanban* así que esta es la información que nosotros cargaremos al sistema.

Instalación física del sistema *Kanban*

En este punto se hace la señalización de donde tendremos nuestro *Kanban* físicamente, se hace el acomodo de los racks, súper mercados y contenedores.

Sistema *Kanban4.0* es activado

En esta fase se hace la activación del sistema automatizado en nuestro sistema digital y comienza el flujo del *Kanban 4.0*.

Comenzamos a ver los resultados de la automatización dependiendo de la tecnología seleccionada.

Seguimiento de e 6 meses para detección de fallas y monitoreo de

mejoras.

Al ser un sistema nuevo se pueden tener diferentes fallas durante su adaptación por eso es recomendable un seguimiento de 6 meses que nos permita registrar los errores que se han tenido así como la solución que se le dieron a estos.

Es importante la medición de las mejoras para realizar la comparativa de las mejoras con el sistema automatizado esto a través del seguimiento de los métricos impactados.

3.4 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA EN CASO DE ESTUDIO

Es necesario probar que nuestra metodología desarrollada para la adaptación de la herramienta funcionara. Es por eso que la aplicaremos en la empresa a la que llamaremos Planta Mezquital durante el capítulo 4, con el objetivo de poder evaluar los resultados y hacer modificaciones necesarias que se vayan dando durante nuestra implementación.

3.5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

En esta parte de nuestra metodología presentamos los resultados obtenidos de la adaptación del sistema *Kanban* en nuestro caso de estudio.

Se presentan las mejoras y beneficios que esta adaptación trajo al sistema tradicional con el uso de la tecnología.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 APLICACIÓN CASO DE ESTUDIO

Para el estudio de esta tesis se elaboro un caso de estudio basado en una empresa manufacturera el cual cumple con las características necesarias para hacer el desarrollo y aplicación de nuestra metodología propuesta.

La empresa donde se desarrolla el problema esta dedicada a la fabricación de lámparas de alumbrado público, cuenta con 3 plantas manufactureras en México y más de 20 centros de distribución en Estados Unidos. El caso de estudio se enfoca en una de las plantas de Monterrey, específicamente planta Mezquital.

Planta Mezquital cuenta con un sistema *Kanban* como método de abastecimiento de material prima y para la producción de sus sub ensambles.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS SISTEMA *Kanban* PLANTA MEZQUITAL

Su sistema *Kanban* cuenta con las siguientes características:

1.Sistema de dos tarjetas: Cada material cuenta con dos tarjetas *Kanban*

que conforman el *Kanban* completo, se maneja una tarjeta verde que representa al primer contenedor y una rosa que representa al segundo, cada tarjeta muestra la cantidad del contenedor, su número de parte, descripción, proveedor, clasificación ABC y el lugar donde debe estar el número de parte físicamente.

2.Sistema de dos contenedores: El *Kanban* en su mayoría esta compuesto por dos contenedores acomodados en el mismo rack, uno delante de otro que conforman el *Kanban* completo.

3.Sistema operado manualmente: Es un sistema que es operado manualmente por un operador, el cual se encarga de activar la señal de la falta del material cada que el detecta un contenedor vacío.

4.Actualizaciones manuales: Al ser un sistema *Kanban* manual, la información de las tarjetas se actualiza por el planeador o comprador de los componentes.

Como se menciono anteriormente la planta maneja el sistema *Kanban* para los siguientes tipos de inventarios:

- Materia prima: Comprende todo lo necesario para la producción de la lámpara, desde carcazas, focos, gaskets, cartones, etc.
- Materiales HTMI: pinturas, aceites, pegamentos, silicon, tornillería, grapas etc.
- Sub ensambles: Planta Mezquital se encarga de la producción de la mayoría de sus sub ensambles críticos del proceso, entre ellos podemos encontrar cables, balastras así como el proceso de pintar una carcaza.

4.1.2 PROCESO REQUISIÓN MATERIAL PLANTA MEZQUITAL

A continuación se explica el proceso del disparo de sistema *Kanban* en planta Mezquital fig 4.1:



Figura 4.1: Proceso activación *Kanban* Planta Mezquital

- 1.-El materialista detecta el contenedor vacío.
- 2.- Procede a disparar o requerir la tarjeta *Kanban* del contenedor vacío.
- 3.- En el reverso de la tarjeta *Kanban* procede a llenar el campo de la fecha en que se termino el material y coloca su nombre como control de que el requirió el material en esa fecha.
- 4.-Después de haber llenados los campos mencionados previamente la tarjeta es colocada en el pizarrón *Kanban*.
- 4.- El planeador de materiales realiza varios recorridos durante el día para recoger las tarjetas requeridas por el materialista y este coloca la orden compra a proveedor
- 5.- El planeador llena los datos de la parte que le corresponde en el reverso de la tarjeta en el cual indica el día en el que realizo la compra y el día en el que se espera llegue el material.
- 6.- Una vez que lleno los datos procede a colocar de nuevo la tarjeta *Kanban* en el día que se espere llegue el material a la planta.

7.- El material llega a la planta en el día asignado.

8.-El materialista procede a colocar el material en el contenedor asignado ,llena el ultimo campo de la etiqueta del reverso que le corresponde indicando el día en el que relleno el contenedor y procede a colgar o dejar la tarjeta en el contenedor como señal de que se tiene material.

4.1.3 PROBLEMA DETECTADO EN PLANTA MEZQUITAL

Planta Mezquital tiene un plan de reducción anual del 40% de inventario, se analizó el inventario que se tiene actualmente y se detectó que la mayor parte del exceso de material que se tiene es inventario *HTMI* como tornillería.

El exceso de tornillería se ha generado debido a que los materialistas ven un contenedor semi vacío y deciden requerir el material antes de que este impacte en un paro de línea haciendo uso incorrecto del *Kanban*, además de esto se revisaron los consumos y en algunos de ellos se detectó que la información de la tarjeta no corresponde con la demanda actual del componente.

Lo cual nos indica que no solo tenemos un problema en la requisición de la tarjeta *Kanban* por parte del materialista si no que las tarjetas no se encuentran actualizadas lo cual esta haciendo que se requiera material en exceso en ciertos números de parte.

El mal manejo del sistema esta creando problemas de exceso de inventario, obsolescencias, materiales oxidados que al final serán reportados como Scrap los cuales se convierten en costos para la empresa.

Es por eso que Planta Mezquital busca evolucionar y adaptar su sistema tradicional *Kanban* a las tecnologías de la industria 4.0 con el fin de eficientizar su proceso y poder obtener los beneficios que esta ofrece.

La adaptación de su herramienta se hará utilizando la metodología propuesta previamente.

4.1.4 ADAPTACIÓN DE LA HERRAMIENTA PLANTA MEZQUITAL

Para la adaptación del sistema *Kanban* haremos uso de la metodología propuesta fig:4.2 .

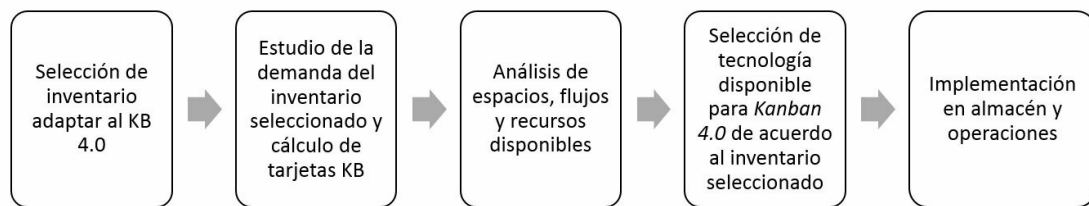


Figura 4.2: Metodología adaptación herramienta *Kanban*

4.1.4.1 SELECCIÓN DE INVENTARIO

En este punto tomamos en cuenta los criterios previamente establecidos en nuestro capítulo de metodología. Entre los cuales evaluamos lo siguiente:

1. El inventario propuesto para adaptación, no debe tener una variación mayor al 15%. En este caso realizamos una prueba con tres números de parte al azar y analizamos su variación en la demanda de los últimos 6 meses.

Usamos la fórmula de la variación porcentual, la cual nos ayuda a revisar el nivel de variación que tuvo el número de parte durante el periodo de tiempo seleccionado y poder analizar si cumplimos con el primer punto para seleccionar la tornillería como nuestro inventario a adaptar.

Fórmula:

$$((V2 - V1)/V1)100$$

Número de parte	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
X4023101415	15,600	22,300	18,000	15,000	16,700	15,200
X4335678910	1,500	1,736	1,456	1,657	1,490	1,458
X8934678534	5,097	5,150	5,350	5,234	5,100	5,090

Tabla 4.1: Demanda en los últimos 6 meses

Estos fueron los resultados que se encontraron para los números de parte:

X4023101415	2.56 %
X4335678910	2.80 %
X8934678534	0.14 %

Tabla 4.2: Porcentaje variación de la demanda

Como se puede observar los números de parte no muestran una variación mayor al 15 % por lo que el primer criterio para adaptar el inventario se cumple.

Después realizamos el checklist propuesto en la metodología en el cual señalamos el tipo de problemas que hemos tenido con el inventario seleccionado:

Como se puede observar en la tabla 4.3 el inventario seleccionado presenta problemas de sobre inventarios, es un inventario difícil de medir y tenemos riesgo de obsolescencia.

Tomando en cuenta y cumpliendo los criterios que se proponen en el capítulo de la metodología, el inventario seleccionado es la tornillería. De los cuales planta Mezquital cuenta con 320 números de parte de este inventario.

Criterio	Materia Prima	Producto Terminado	Inventario en proceso
Retraso en entregas de proveedor			
Sobre inventario en las estaciones de trabajo			
Materias difíciles de medir, por su naturaleza (tornillos, pinturas, aceites)	X		
Exceso de inventario en el número de parte/ sub ensamble/ producto terminado	X		
Material obsoleto	X		

Tabla 4.3: Checklist criterios

4.1.4.2 ESTUDIO DE LA DEMANDA Y CÁLCULO DE TARJETAS *Kanban*

En este punto de la metodología, hicimos la extracción de los números que conformar el inventario de tornillería en Planta Mezquital.

Con la finalidad de analizar su demanda por los últimos 6 meses y poder tener una mejor visión de su consumo a continuación procedemos a realizar el cálculo de las tarjetas.

El cálculo de las tarjetas *Kanban* para cada uno de los números de parte se realizo de la siguiente manera.

$$\text{Fórmula Kanban: } ((DU*LT)*SS/PQ)+1$$

Número de parte: X40305610

El siguiente paso es saber el uso semanal, diario, tiempo de entrega del componente y establecer el inventario de seguridad de acuerdo a la clasificación del número de parte, en este caso todos los materiales HTMI están bajo clasificación ABC la cual tiene un inventario de seguridad del 30%

Después de haber analizado la demanda y obtener los datos necesarios, se procede hacer el cálculo de las tarjetas:

Mes	Uso mensual
Enero	15,600
Febrero	22,300
Marzo	18,000
Abril	15,000
Mayo	20,900
Junio	21,200
Total	113,000

Tabla 4.4: Uso mensual

Uso promedio mensual	18,833
Uso semanal	4,708.25
Uso diario	941.65
Tiempo de entrega	2 dias
Item C, SS	30 %
Pallet QTY	2 contenedores

Obteniendo del análisis previo el siguiente resultado:

2 tarjetas de 1, 225.66 cada una, el empaque de este tornillo es de 600 piezas por caja por lo que se adapta el cálculo a este número, dando como resultado:

2 tarjetas de 1, 200 cada una, para un *Kanban* total de 2,400.

Comparando el *Kanban* que se tenía de este número de parte se tenía establecido, dos tarjetas de *Kanban* por 2,000 piezas cada uno, *Kanban* total de 4,000.

Analizando este número se detecta que se tiene un 40 % de exceso por falta de

Calculo tarjetaa Kanban	
$((DU*LT)*SS)/PQ)+1$	
DU: daily usage	941.65
LT: lead time	2
SS: safety stock	0.30
PQ: Pallet Qty	1000

Tabla 4.5: Cálculo tarjetas *Kanban*

actualización en las tarjetas *Kanban*.

A continuación realizamos el re cálculo de las tarjetas *Kanban* para los 320 números de parte de tornillería siguiendo el proceso anterior.

4.1.4.3 ANÁLISIS ESPACIOS, FLUJOS DISPONIBLES Y RECURSOS.

Planta Mezquital después de haber realizando el re cálculo de las tarjetas *Kanban* determina que se debe de contar con 640 contenedores, de lo cuales 500 deben ser tamaño pequeño por el tipo de material y 140 tamaño mediano.

Para el caso del acomodo de los materiales se opta por usar racks tipo supermercado cerca de la célula de producción, en el cual se continuara con un sistema de dos bins por número de parte.

También en este punto, revisamos la manera en que el material llegar de proveedor y el tiempo que toma en ser puesto en el contenedor, obteniendo la siguiente información:

1.- El material llega a planta en un promedio de cada 3 días.

2.- Una vez que el material llega a recibos, toma alrededor de 5 horas en ser recibido a través del sistema, siempre y cuando este tenga la papelería completa y no se encuentre otro tipo de problema.

3.- Una vez que el material es recibido en planta, se avisa a materialista y este lo toma.

Dándonos un tiempo de surtimiento a célula de producción promedio de 7 horas.

4.1.4.4 ANÁLISIS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

De acuerdo a las tecnologías propuestas en el capítulo 3 de la metodología, en el cual se explican las ventajas que cada una ofrece de acuerdo a la literatura, se toma en cuenta lo siguiente:

RFID	Ibyn Sistem
Tarimas completas	Materiales difíciles de medir
Producto terminado	Materiales pequeños
Materiales grandes	Materiales que represente un sub ensamble en la línea de producción

Tabla 4.6: Comparación tecnologías

Los 320 números de parte que conforman el inventario de tornillería, son materiales muy pequeños considerados como difíciles de medir. Por lo que tomando en cuenta las recomendaciones hechas en el capítulo 3 se toma la decisión de utilizar el *Ibyn Sistem*.

La tecnología *Ibyn Sistem* es analizada con el equipo de tecnologías e innovación de Planta Mezquital para verificar que efectivamente sea compatible con el sistema que actualmente se maneja.

Entre los puntos que se verificaron, fueron los siguientes:

Información en tiempo real: En este punto lo que se busco con la tecnología y con el proveedor fue que el contenedor fuera capaz de transmitir datos en tiempo real, de manera que pudiera facilitar los procesos de compra así como el monitoreo de los inventarios y demandas.

Acceso a un punto de datos: Se verifico que la tecnología seleccionada fuera capas de conectarse con el sistema actual ORACLE para la descarga de reportes y actualizaciones en tiempo real.

Colaboración entre los actores de la CS: Aquí se analizo que los reportes y datos en tiempo real, pudieran dar una visión de como se encuentra la cadena de suministro, además se reviso que la tecnología fuera compatible con el sistema de compras de proveedor, esto con la finalidad de poder realizar el re planeo automático de los materiales.

Seleccionando esta tecnología Planta Mezquital tendrá una mejor visibilidad de su inventario seleccionado, ya que contenedor sera configurado con la cantidad de la tarjeta *Kanban* la cual se cálculo en el punto anterior de la metodología, una vez que el contenedor detecte que se llego al nivel mínimo requerirá la orden de compra a proveedor automáticamente.

4.1.4.5 IMPLEMENTACIÓN EN ALMACÉN Y OPERACIONES

En este ultimo punto de la metodología Planta Mezquital sigue la serie de fases previamente explicado en el capitulo 3.

Fase 1: Comienza el entrenamiento al personal acerca del sistema *Kanban*. El

cual consiste en una explicación de como funciona de manera tradicional la herramienta, los problemas que se detectaron por el mal uso y la manera correcta en la que se debe utilizar.

Fase 2: Se da la capacitación del sistema automatizado de *Kanban* se explica como sera el re planeo de las ordenes a través del sistema, así como el nuevo flujo del material a través del recibo hasta su surtimiento en los racks tipo supermercado.

Fase 3: Se realiza la implementación en el inventario de la tornillería, Planta Mezquital carga la información del tamaño del *Kanban* total al sistema así como el inventario que tendrá cada tarjeta y contenedor.

Fase 4: Planta Mezquital realiza el acomodo de los racks tipo supermercado en el espacio asignado para el *Kanban* físico, el cual se encuentra a 3 metros de la célula de producción, además se hace el llenado físico de los y el *Ibin* y el acomodo de los contenedores en el rack.

Fase 5: El sistema *Kanban* es activado en la plataforma digital y en el sistema ORACLE para el flujo de las ordenes de compra.

Fase 6: Se comienza el seguimiento de 6 meses, con la finalidad de detectar fallas en el sistema y corregirlas, se comienzan a monitorear los tiempos de entrega con proveedor, la manera en que la información fluye en el sistema, el inventario así como el tiempo de ciclo del surtido de material.

4.2 CONCLUSIONES

Parte de los resultados ha obtenido Planta Mezquital con esta implementación se explican a continuación:

Se redujo el inventario en exceso para el inventario seleccionado un 30 % gracias al re calculo de tarjetas *Kanban* y re planeo de ordenes de compra automáticas.

Planta Mezquital contaba con un inventario inicial de \$750,950k dolares para el inventario de tornillería, el cual después con los seis meses que ha tenido de implementación el sistema *Kanban* ha tenido una reducción de \$177, 750k.

A continuación se muestra una gráfica de como se ha comportado el inventario de tornillería en estos seis meses de implementación.



Figura 4.3: Proceso activación *Kanban* Planta Mezquital

Como parte de los resultados se redujo un 100% los errores por factor humano en cuanto a la manipulación física de las tarjetas *Kanban* y activación de la señal de contenedor vacío, ya que la implementación de la tecnología el *Ibyn* re planea de manera automática cuando detecta que este se ha terminado, de acuerdo a los niveles de inventarios que se establecieron previamente en la fase 3 de la implementación, lo cual permite que se cree una orden de compra la cual es enviada directamente a proveedor.

Así mismo se facilito el trabajo a los materialistas y se redujo el tiempo de surtimiento ya que se elimino el proceso de revisar contenedores vacíos, llenar información al reverso de la tarjeta y colocarla en el pizarrón *Kanban*. Lo cual permitió que se enfocaran en tareas principales como el relleno de contenedores, surtimiento

a las células de producción y mantenimiento de 5s en el área.

Dentro de los beneficios que se tuvieron con el proveedor es que se ha logrado reducir un 50 % el tiempo de entrega, esto gracias a que el sistema *Kanban* automatizado envía reportes diarios y en tiempo real de la demanda de los componentes, lo cual permite que el proveedor visualice el comportamiento del componente y poder responder de manera mas acertada a las necesidades de la empresa.

También se mejoro la comunicación entre las áreas, este sistema permitió que la información fluyera de manera paralela entre proveedor, planeadores, materiales y que se pudieran detectar posibles desabastos a tiempos previniendo impactos a cliente.

A continuación se muestra una imagen del flujo autónomo que se logro obtener gracias a esta adaptación.

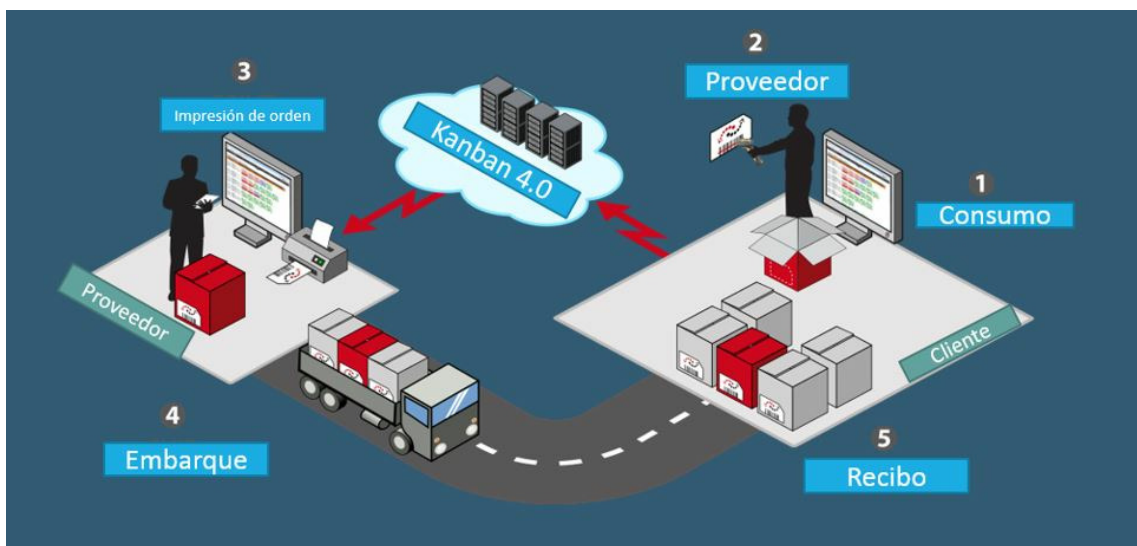


Figura 4.4: Metodología adaptación herramienta *Kanban*

Como se observa en la imagen anterior se simplifico completamente el proceso *Kanban* pasando de una señal que era manual a través de una tarjeta a una señal automática a través de un contenedor que manda la orden de compra a proveedor.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta tesis fue elaborar una metodología que nos permitiera adaptar un sistema tradicional de manufactura las tecnologías que nos ofrece la Industria 4.0 y poder mejorar los niveles de inventario y abastecimiento de las empresas.

Como se explico previamente nos encontramos en una época en la que el mundo esta creciendo de manera exponencial y con ello la demanda de productos, para las empresas reaccionar a este tipo de cambios tan bruscos es muy difícil hacerlo con herramientas de la manufactura actual, es por esto que deben buscar la manera de adaptar sus procesos con el uso de la tecnología y poderse mantener en la competencia global.

Durante este trabajo se hizo la revisión de la literatura para los sistemas de manufactura tradicionales, revisamos el sistema *Kanban* cuales son sus orígenes, características y ventajas de usa este sistema, analizamos la evolución que ha tenido la industria con el uso de la tecnología y como se han visto impactados los procesos. Así mismo revisamos las tecnologías disponibles que nos ofrece la Industria 4.0 para la adaptación del sistema *Kanban*.

Con toda esta información recolectada a través de la literatura pudimos desarrollar nuestra metodología para la adaptación de la herramienta. Es por eso que

nuestra principal aportación de este trabajo fue el desarrollo de metodología y pasos a seguir, si lo que buscamos es hacer uso de las nuevas tecnologías.

Con la metodología propuesta las empresas podrán escoger a través de una serie de criterios cual es mejor inventario adaptar a esta herramienta así como la tecnología a utilizar y obtener los beneficios que la industria 4.0 nos brinda además de atacar el objetivo de mejorar los niveles de inventario y abastecimiento con el propósito de poder reaccionar a los cambios en la demanda que actualmente vivimos.

Esta metodología fue desarrollada para que cualquier empresa que cuente con una herramienta *Kanban* tradicional pueda adaptarla y llevarla a la tecnología 4.0.

Dentro de las conclusiones de este trabajo y la metodología propuesta se establecen mejores resultados en surtimiento de inventario, eliminación de errores por factor humano, reducciones de inventario y una mejor comunicación entre las áreas.

Como bien se explicó durante esta tesis el uso de la tecnología en el sistema *Kanban* llevara a las empresas a mejorar sus resultados y facilitar sus procesos, gracias a que podrán obtener datos en tiempo real y enfocarse en otro tipo de problemas.

Dentro de los beneficios que la empresa obtuvo con la adaptación de esta herramienta se tienen los siguientes:

- Información actualizada del almacén
- Monitoreo en tiempo real de todo el estado de la cadena de suministro
- Se optimizó la recolección de información y se mejoraron las proyecciones tanto como para la planeación de materiales como para el proveedor acerca del comportamiento de los componentes.

Como podemos dentro de los resultados nos damos cuenta que la adaptación de las herramientas de la manufactura esbelta a las tecnologías de la industria 4.0 traen mejores resultados a la empresa tanto en ahorros como reducciones de tiempo en los

procesos. Se ven mejores notables en las reducciones de inventario y abastecimiento de materia prima.

Con los resultados obtenidos de este trabajo, podemos concluir que nuestro objetivo e hipótesis de tesis se cumplieron satisfactoriamente.

Como trabajo a futuro se pretende utilizar esta metodología como base para adaptación de las demás herramientas que ofrece la manufactura esbelta modificando los criterios de acuerdo a cada una de las herramientas.

También se pretende ir actualizando conforme a los cambios en la tecnología que se vayan presentando ya que la era digital en la que nos vivimos nos puede volver obsoletos si no continuamos investigando y adaptando nuestras herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

- BAUDIN, M. y A. RAO (2000), «RFID applications in manufacturing», .
- HOFFMANN, F.-J. (2016), «iBin–Anthropomatik schafft revolutionäre Logistiklösungen», *Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik*, págs. 1–13.
- KARIM, A. y K. ARIF-UZ-ZAMAN (2013), «A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations», *Business Process Management Journal*, **19**(1), págs. 169–196.
- KOLBERG, D. y D. ZÜHLKE (2015), «Lean automation enabled by industry 4.0 technologies», *IFAC-PapersOnLine*, **48**(3), págs. 1870–1875.
- KUMAR, C. S. y R. PANNEERSELVAM (2007), «Literature review of JIT-KANBAN system», *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **32**(3–4), págs. 393–408.
- LANDT, J. (2005), «The history of RFID», *IEEE potentials*, **24**(4), págs. 8–11.
- LASI, H., P. FETTKE, H.-G. KEMPER, T. FELD y M. HOFFMANN (2014), «Industry 4.0», *Business & information systems engineering*, **6**(4), págs. 239–242.
- LU, Y. (2017), «Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues», *Journal of Industrial Information Integration*, **6**, págs. 1–10.
- MELTON, T. (2005), «The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has

-
- to offer the process industries», *Chemical engineering research and design*, **83**(6), págs. 662–673.
- RAHMAN, N. A. A., S. M. SHARIF y M. M. ESA (2013), «Lean manufacturing case study with Kanban system implementation», *Procedia Economics and Finance*, **7**, págs. 174–180.
- THOROE, L., A. MELSKI y M. SCHUMANN (2009), «The impact of RFID on management of returnable containers», *Electronic Markets*, **19**(2-3), págs. 115–124.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Yessica Jaqueline Ramírez Islas

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

INNOVACIÓN EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA Y SU
ADAPTACIÓN A LA INDUSTRIA MODERNA

Mi nombre es Yessica Jaqueline Ramírez Islas, nacida en Ciudad de México el 06 de agosto de 1992, mis padres Juan Carlos Ramírez Gasso y Sofia Islas Gonzalez.

Como parte de mi trayectoria como estudiante, me gradué de la Facultad de Contaduría Pública y Administración en el 2013 bajo la Licenciatura de Negocios Internacionales.

En mi experiencia profesional he trabajado en empresas como:

AFL: Programador de Producción Acuity Brands Lighting: Planeadora de compras y producción. Trane :Supervisora de Inventarios Brazeway : Planeadora de Materiales Sr.