

UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES EN
UNA EMPRESA MANUFACTURERA ELECTRÓNICA MEDIANTE
TÉCNICAS DE MAPEO DE LA CADENA DE VALOR**

T E S I S

PRESENTADA POR

LUZ ANEL ARCE CONTRERAS

Desarrollada para cumplir con uno de los
requerimientos parciales para obtener
el grado de Maestra en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS
DR. LUIS FELIPE ROMERO DESSENS

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

OCTUBRE 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Hermosillo, Sonora a 6 de octubre de 2017

LUZ ANEL ARCE CONTRERAS

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA ELECTRÓNICA MEDIANTE TÉCNICAS DE MAPEO DE LA CADENA DE VALOR** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

Dr. Luis Felipe Romero Dessens
Director de tesis y Presidente del jurado

M.C. Guillermo Cuamea Cruz
Secretario del Jurado

Dr. Jaime Alfonso León Duarte
Vocal del Jurado

Dra. María de los Angeles Navarrete
Hinojosa
Vocal del Jurado



INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO

Ciudad de México, a 15 de septiembre de 2017

LUZ ANEL ARCE CONTRERAS

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo, como sinodal externo y vocal del jurado, extiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA ELECTRÓNICA MEDIANTE TÉCNICAS DE MAPEO DE LA CADENA DE VALOR** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

DR. ADRIÁN RAMÍREZ NAFARRATE
INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO
Sinodal Externo y Vocal del Jurado

RESUMEN

Actualmente, la manufactura es una de las áreas más significativas en cuanto a su participación en la actividad económica a nivel mundial, siendo cada vez más las compañías que se unen a esta industria. De ahí que se eleve la competencia dentro del mercado y los requerimientos necesarios para incorporarse y permanecer en él, llevando a las empresas a la necesidad de innovar sus sistemas productivos. Dicha innovación se refiere al desarrollo de estrategias que les permitan producir flexiblemente; es decir, con capacidad de adaptarse a la variabilidad de la demanda, a los nuevos procesos, y, en general, a cualquier tipo de cambio mientras buscan continuamente proporcionar mejores productos y servicios a sus clientes al menor costo posible.

El mapeo de la cadena de valor, fue creado como una de las herramientas auxiliares dentro de la manufactura esbelta, que de manera relativamente sencilla proporciona un lenguaje común para que todas las áreas de una empresa comprendan el flujo que sigue la cadena de valor de una familia de productos. Partiendo de este principio se busca crear una competencia competitiva económica para las empresas, y mediante su aplicación se obtiene una mayor visibilidad de los desperdicios presentes, lo cual lleva a plantear formas realistas de eliminarlos y así reducir los costos en que se incurren durante el proceso.

Desde los inicios de su implementación, el mapeo de la cadena de valor ha demostrado la capacidad de proporcionar resultados efectivos al incremento del valor entregado a los clientes, visto desde su perspectiva. Esto se logra con satisfacción generalmente si la técnica se aplica de forma correcta, aunque debido a características de la herramienta que se han considerado insuficientes para resolver cierto tipo de situaciones en ambientes particulares de sectores manufactureros, se han generado variantes de acuerdo a las necesidades particulares de dichas empresas.

La presente metodología busca dar solución al problema de desperdicios en una empresa manufacturera dedicada a la manufactura de componentes electrónicos.

Esta propuesta surge del análisis de las características del sistema productivo bajo estudio y de una profunda revisión de la literatura disponible, tanto de tipo conceptual como modelación y casos de aplicación. Se dio atención a los puntos que se identificaron como claves para el tipo de problema tratado, entre estos el entorno, la configuración del diseño de planta y el volumen de producción.

Como conclusión se obtiene que al rediseñar el sistema productivo mediante el mapo de la cadena de valor junto a otras herramientas de la manufactura esbelta apropiadas para el entorno tratado es posible mejorar el flujo de materiales, lo cual se refleja en el valor de los indicadores claves de desempeño, como el tiempo utilizado para surtir una orden. Uno de los aspectos que se identificó como fundamental para lograr un resultado favorable es el plan de acción derivado del análisis holístico que la herramienta del mapeo de la cadena de valor permite y promueve.

ABSTRACT

Nowadays, manufacturing is one of the most important areas regarding its participation in the economic activity at a worldwide level, with a steady increase of companies joining this industry. Thus, the competition in the market as well as the requirements to access and remain on it have considerably magnified, making it necessary for companies to innovate their productive systems. Such innovation points out to the development of strategies that allow them to a flexible production; this means the ability to adapt to demand variability, to new processes and, in general, to any type of change while they look forward to continuously providing better products and services to their customers at the lowest possible cost.

Value stream mapping emerged as one of the auxiliary tools of lean manufacturing, which in a relatively simple way, provides all the areas within the company with a common language in order to understand the value stream for a products family, based on that principle the aim is to create a competitive advantage for enterprises. Through its implementation, it is possible to obtain an improved visibility of the present wastes while promoting the creation of new ways to eliminate them, and thus, reduce the related costs.

Since its implementation first started, value stream mapping has demonstrated a high potential to provide companies with effective results regarding a significant increase in the value delivered to customers, seen from their own perspective. Frequently, this goal is successfully reached if the tools is properly utilized, however since it has been found that some features of the tool do not meet the needs of every type of industrial environment, some variants have been developed, suiting the tool to their particular characteristics and purposes.

The methodology herein presented intends to solve the wastage problem in a manufacturing company that produces electronic components. This proposal arose from the analysis of the productive system under study as well as a deep review of the available literature, including conceptual works, as well as modeling and case studio papers. Special attention was given to those points that we considered as

keys for the problem handled, among them, the environment, the layout of the plant and the volume of production.

We concluded that when the productive system is redesigned through value stream mapping along with other lean manufacturing tools selected accordingly to the situation treated, it is possible to improve the flow of materials, which is reflected in the key performance indicators, such as the lead-time. One of the fundamental aspects that we found by carrying out this work is the importance of the resulting action plan, since it is the mean to transform the productive system and it can lead to the expected positive effects, once the holistic analysis has been carried out, which is possible and promoted by the value stream mapping tool.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mis papás, Lucy y Jorge. Los quiero y aprecio el esfuerzo que han hecho por mí y mi hermano.

A mi hermano Alonso que es una de las personas más importantes en mi vida.

A mis abuelos María de la Luz y Pascual, por su amor incondicional.

A los futuros estudiantes que lleguen a toparse con mi tesis, espero que de alguna manera les sirva y salgan adelante en sus proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Primero, a Dios y a mamita María, que me trajeron aquí, me guiaron, me sostuvieron y me acompañaron hasta el término de mis estudios. Por su paciencia.

A mis papás, primeramente, por darme la vida, por ayudarme en la medida de sus posibilidades a alcanzar mis sueños y permitirme seguir los caminos que creo que son mejores. Por ser como son, los quiero.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por las becas otorgadas y los apoyos económicos brindados para contar con los recursos para realizar mis estudios de posgrado.

Al Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora por los apoyos económicos que de igual manera me brindaron y por permitirme realizar mis estudios de maestría.

A mi director de tesis, Luis Felipe Romero Dessens, por su disposición, dedicación y paciencia. Por todo su apoyo, por compartir sus conocimientos en lo académico, y más aún, por darme consejos que me ayudan a crecer como persona. Estoy infinitamente agradecida por que haya sido mi director.

Al coordinador del programa Alonso Pérez, por su acompañamiento durante este proceso, por su empeño y su responsabilidad hacia nosotros, y por buscar la forma de ayudarnos a lograr nuestros propósitos académicos de la mejor manera.

A los demás profesores, por sus valiosas enseñanzas académicas y personales.

A mis excompañeros del posgrado, por ser mis cómplices en esta aventura y hacer mis días más divertidos. Los admiro y agradezco a cada uno.

A las personas de la empresa donde realicé mi proyecto de tesis, especialmente al ingeniero que me atendió y asesoró durante este tiempo, Rafael Pasillas. Por ser un gran apoyo y una parte fundamental para llevar a buen término mi proyecto, por facilitarme el trabajo en las medidas de sus posibilidades y preocuparse porque logre mis metas.

A las personas que me recibieron en la empresa Lindig durante mi estancia corta de investigación, por el excelente trato. Especialmente a Sven Lindig, por aceptarme y a Ralf Kleedörfer, quien dirigió mi proyecto. Estoy infinitamente agradecida.

A las personas que me abrieron las puertas de su hogar durante mi estancia de investigación, Carola, Wolf-Dieter, Luise, Claus y Corinna, por hacerme sentir en casa, por su amistad, cariño y confianza.

A Marco S. M., por su amistad y apoyo durante mi estancia en Alemania. Por la constante paciencia y por ser como es, por ayudarme a ver todo de mejor forma.

A quienes me recibieron e impulsaron durante mis ponencias en los congresos IFAC 2017 y AHFE 2017, por permitirme crecer en lo académico y en lo personal.

A mi prima Estefania, por escucharme y por estar ahí. Por hacerme a ver la vida más alegre y por ser como es. Te quiero mucho.

A todas las personas que de una u otra forma me apoyaron durante este tiempo. Su compañía significa mucho.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Objetivo general	5
1.4. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	6
1.6. Alcances y delimitaciones	6
1.7. Justificación.....	6
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Importancia de la cadena de suministros y la logística	9
2.2. Implicaciones de un rediseño del sistema de manejo de materiales.....	10
2.3. El enfoque de manufactura esbelta.....	13
2.3.1 Las herramientas de manufactura esbelta	15
2.3.2 Disciplinas de apoyo a la manufactura esbelta	18
2.4. Características del mapeo de la cadena de valor	20
2.4.1 Evolución y aplicación del VSM en la literatura.....	23
2.3.1 Creación del mapa de la cadena de valor.....	29
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1 Seleccionar la familia de productos.....	34
3.2 Mapa actual de la cadena de valor.....	35
3.3 Mapa futuro de la cadena de valor.....	37
3.4 Planeación e implementación de mejoras a la cadena de valor.....	37

3.5	Evaluación de los resultados.....	38
4.	IMPLEMENTACIÓN.....	39
4.1	Seleccionar la familia de productos.....	39
4.2	Mapeo de la cadena de valor actual	43
4.3	Mapeo de la cadena de valor futuro.....	46
4.4	Planeación de mejoras a la cadena de valor.....	49
4.4.1	Evento Kaizen: Caminatas Gemba y 3P	50
4.4.2	Evento Kaizen: Cambio rápido de herramental.....	58
4.4.3	Establecimiento de un sistema Kanban	62
4.4.4	Implementación de las mejoras a la cadena de valor	65
4.4.5	Evaluación de los resultados	67
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	69
5.1	Conclusiones.....	69
5.2	Recomendaciones.....	70
5.3	Trabajos futuros	71
6.	REFERENCIAS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Conectores fabricados en el departamento E1.....	4
Figura 1.2. Inventario de materia prima no controlado	4
Figura 1.3. Inventario de componentes no controlado en la línea de producción.....	5
Figura 2.1. <i>Clasificación de la revisión literaria sobre VSM</i>	26
Figura 2.2. Ejemplo de una matriz proceso-producto, traducida de (Rother y Shook, 1999).....	29
Figura 2.3. <i>Íconos para la creación del VSM, basado de Braglia et al., (2006)</i>	31
Figura 3.1. <i>Metodología para mejorar el MHS en una planta manufacturera, basado en (Rother y Shook, 1999)</i>	33
Figura 3.2. <i>Nivel de análisis a emplear</i>	34
Figura 3.3. <i>Pasos para seleccionar la familia de productos</i>	35
Figura 3.4. Clasificación de los íconos utilizados comúnmente en el VSM	36
Figura 4.1. Diagrama de recorrido para la familia de productos seleccionada	43
Figura 4.2. VSM actual para la familia de productos seleccionada	45
Figura 4.3. VSM futuro para la familia de productos seleccionada.....	48
Figura 4.4. Equipo del proyecto de investigación	50
Figura 4.5. Elementos de trabajo y takt time	51
Figura 4.6. Áreas de mejora identificadas durante las caminatas Gemba.....	53
Figura 4.7. <i>Diseños individuales de mejoras al sistema de producción actual</i>	54
Figura 4.8. Compartición de ideas sobre las propuestas de rediseño	54
Figura 4.9. Propuestas de rediseño realizadas por los integrantes del proyecto.....	54
Figura 4.10. Prototipo final según la metodología 3P	55
Figura 4.11. Revisión colectiva del modelo 3P creado	56
Figura 4.12. Simulación de operación del sistema productivo para la familia L-190	56
Figura 4.13. Diseño final de la celda de manufactura.....	57
Figura 4.14. Diagrama de recorrido: pasos necesarios para la preparación y cambio de herramental	58
Figura 4.15. Comparación gráfica de los tiempos de cambio de herramental	61
Figura 4.16. Operación del sistema Kanban para la familia de productos L-190	65
Figura 4.17. Celda para la familia de productos L-190 (versión 1)	66
Figura 4.18. Celda para la familia de productos L-190 (versión 2)	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. <i>Aplicaciones del VSM a sectores diferentes de la manufactura</i>	24
Tabla 2.2. <i>Revisiones previas de la literatura acerca del VSM</i>	25
Tabla 2.3 Variantes del VSM y sus aplicaciones	28
Tabla 4.1. Matriz proceso-producto para seleccionar la familia de productos de la gama L-190 (izquierda) y análisis de demanda cada uno de estos productos L-190 (derecha).....	40
Tabla 4.2. <i>Pasos para fabricar los conectores del departamento E1 y operadoras por estación</i>	41
Tabla 4.3. Indicadores claves de desempeño del área en su estado inicial	51
Tabla 4.4. Tiempos de preparación y cambio de herramental	59
Tabla 4.5. Comparación de los tiempos de cambio de herramental en el estado actual y el propuesto	60
Tabla 4.6. Nuevos tiempos internos de preparación y cambio de herramental.....	62
Tabla 4.7. Cantidad de inventario en punto de uso (Harris et al., 2011)	63
Tabla 4.8. Información para implementar el sistema Kanban de la familia de productos L-190	64
Tabla 4.9. Resultados obtenidos mediante las actividades de mejora propuestas ...	68

1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo presenta los antecedentes del problema a tratar, los conceptos básicos utilizados a lo largo de la tesis y los principios elementales que rigen a los sistemas de manejo de materiales. Después se plantea el problema, se establecen los objetivos, tanto el general como los específicos; así también, la hipótesis, el alcance, las limitaciones y la justificación para la realización de esta investigación.

1.1. Antecedentes

El manejo de materiales se define como las funciones y sistemas asociados con el transporte, almacenamiento y control de materiales y partes en el ciclo de producción total de un producto (Caggiano, 2014). Este ha sido uno de los temas más importantes y ampliamente discutidos en la literatura durante los últimos años, el cual se encuentra en constante evolución (Chang y Lee, 2004) y ha producido la introducción de numerosas técnicas enfocadas a mejorar la forma en que los materiales son manejados en las diferentes industrias.

Muchas compañías necesitan ajustar su suministro de artículos producidos de acuerdo a la demanda de sus clientes, al ser esto una de las claves de su éxito. Así, buscan estrategias que respondan efectivamente a los cambios del mercado, es decir, sin incrementar significativamente los costos ni el inventario, manteniendo a su vez, la calidad de los productos y el nivel de servicio ofrecido (Cárdenas-Barrón y Porter, 2013; Accorsi et. al, 2014).

Simchi-Levi et al. (2014) hacen énfasis en la necesidad de reducir los costos y mejorar el nivel de servicio de las compañías, mediante estrategias logísticas que tomen en cuenta las relaciones entre sus integrantes, tales como proveedores de materia prima y de servicios de transporte, almacenes, centros de manufactura, de distribución y de venta, así también la materia prima, inventario de trabajo en proceso y productos terminados que fluyen entre las instalaciones.

Generalmente, el objetivo de una empresa dada es generar una gran ganancia, que se puede obtener si mejora el precio de sus artículos a través de la eliminación de desperdicios. Primero, la compañía debe identificar el problema que puede causar tales desperdicios, los cuales se clasifican en sobreproducción, sobre-procesamiento, esperas, transportes innecesarios, inventario innecesario, movimientos innecesarios, defectos y talento humano no utilizado (Mezgebe, et al., 2013). Algunas de las formas de reducirlos incluyen la mejora de la calidad y acortar los tiempos de espera durante el proceso de producción de un producto para que los bienes puedan ser entregados más rápidamente a los clientes (Suhadak et al., 2015).

Una herramienta que destaca por su ayuda a identificar el desperdicio es el mapeo de la cadena de valor, donde se plasman de forma gráfica los procesos, flujos de materiales e información de una familia de productos dada (Hines y Rich, 1997). Esta herramienta se basa en una técnica de Toyota que se empleó por la administración de operaciones de Taiichi Ohno con el fin de ayudar a que los proveedores de manufactura aprendieran el Sistema de Producción Toyota y comenzaran a entender su situación actual, pudiendo entonces realizar un mapa de la visión del estado futuro con rectángulos que contenían información importante como el Kanban, y tiempos de cambio de herramienta y flujos representados mediante flechas (Liker, 2004).

Una vez que los desperdicios han sido identificados se pueden emplear diversas herramientas para disminuirlos o eliminarlos, entre éstas, se encuentra la filosofía de gestión justo a tiempo, la cual incrementa el desempeño del proceso al reducir el nivel de inventario y los costos de operación, enfocándose en producir solo lo necesario; esto representa un gran reto, en el que se busca mantener el flujo continuo de los productos (Qureshi et al., 2013). El sistema de producción de jalón es una parte importante de la filosofía de gestión justo a tiempo, en el cual, se eliminan las conjeturas acerca de la demanda, al hacer que la orden de los productos sea la señal necesaria para comenzar la producción (Lage y Godinho, 2010; Abhale y Masurkar, 2015). El sistema de jalón utiliza tarjetas para indicar, ya sea la producción de partes

que reabastecen los inventarios internos, el retiro de productos para enviar al cliente o como una señal para reemplazo de materia prima o componentes.

Se desea mejorar el flujo de materiales a través de la cadena de valor en una compañía manufacturera, por lo cual se contemplarán los puntos mencionados anteriormente como parte de una investigación que se desarrollará en Hermosillo, Sonora, México, al norte de la ciudad. Por razones de confidencialidad, la empresa será nombrada como XYZ; esta fábrica certificada en ISO 9000 cuenta con diversos departamentos y estaciones de trabajo en los que se elaboran productos electrónicos que son enviados a clientes ubicados en diferentes países de América, Asia y Europa, para diferentes industrias como la automotriz, telecomunicaciones, sector salud, aeroespacial, marina y defensa, entre otras.

La fábrica consta de 9 departamentos y por razones estratégicas se asignó el proyecto al departamento denominado E1, en el cual se producen conectores como los observados en la figura 1.1 para varios clientes. De acuerdo al personal a cargo, desde hace aproximadamente 11 años presenta numerosos problemas provocados por la falta de un adecuado flujo de materiales en las áreas de almacenes, producción e inspección; entre estos problemas se encuentran los altos costos generados por los grandes volúmenes de inventario acumulado de materia prima, productos en proceso y productos terminados (ver figuras 1.2 y 1.3). Sin embargo, hasta hace poco se acentuó la atención al área, buscando mejorar su productividad debido a que en el año 2017 la empresa modificará su línea de productos y desea hacer un buen uso de los recursos existentes, esto, con el fin de evitar inversiones innecesarias en el futuro próximo.

Esto implica que dentro de unos meses habrá una etapa de transición, en la cual varias familias de productos se traspasarán a otra compañía, asimismo se traerán nuevos. Al ser E1 uno de los departamentos que permanecerá dentro de las instalaciones, se le ha solicitado al ingeniero del área implantar mejoras que permitan liberar parte del espacio que actualmente ocupa el departamento y elevar la productividad, para brindar

disponibilidad de recursos a las nuevas estaciones de trabajo que comenzarán a operar a mediados del 2017.



Figura 1.1. Conectores fabricados en el departamento E1



Figura 1.2. Inventario de materia prima no controlado



Figura 1.3. Inventario de componentes no controlado en la línea de producción

1.2. Planteamiento del problema

Las áreas de producción, inspección y almacén del departamento E1 de la empresa XYZ no cuentan con un adecuado sistema de manejo de materiales que permita un flujo adecuado de los mismos, resultando en altos niveles de desperdicios diversos al tener excesos de inventario de materia prima, productos en proceso y productos terminados; así también, transportes innecesarios y esperas de los materiales durante el proceso.

1.3. Objetivo general

Rediseñar el sistema de manejo de materiales en un área de una empresa manufacturera mediante técnicas de mapeo de la cadena de valor para agilizar el flujo de materiales dentro de las instalaciones.

1.4. Objetivos específicos

- Identificar y analizar los factores que ocasionan desperdicios relacionados con el sistema de manejo de materiales, impidiendo su flujo adecuado dentro de las instalaciones.

- Desarrollar una herramienta basada en técnicas de mapeo de la cadena de valor para rediseñar del sistema de manejo de materiales y agilizar el flujo de materiales a lo largo de la logística interna del área.
- Implementar y evaluar la herramienta propuesta para conocer su grado de efectividad en el cumplimiento del objetivo propuesto.

1.5. Hipótesis

El rediseño del sistema de manejo de materiales utilizando técnicas de mapeo de la cadena de valor y otras técnicas de manufactura esbelta logrará agilizar el flujo de materiales dentro de la red logística, resultando en una reducción del 10% del tiempo empleado para surtir una orden.

1.6. Alcances y delimitaciones

El presente estudio se realizará en el área que comprende la logística interna de la empresa en el departamento E1 de la empresa XYZ. Se incluirá el almacén general, rutas utilizadas para manejo de materiales, almacenes temporales de materia prima y producto en proceso, ubicados en el área de producción; almacén temporal de productos terminados en el área de producción, áreas de inspección, recepción de materia prima y envío de productos terminados; así también la distribución de las estaciones de trabajo y el flujo de información. Se dejará de lado el análisis logístico externo con clientes y proveedores.

1.7. Justificación

El proyecto se realizará debido a que la empresa XYZ necesita agilizar el flujo de materia prima, productos en proceso y terminados en el área de E1, para incrementar la capacidad de producción y competitividad en el mercado, así como cumplir oportunamente con los pedidos de sus clientes, promoviendo su lealtad hacia la compañía. Por esto se ha propuesto una mejora en el sistema de manejo de materiales que contribuya al cumplimiento adecuado de las órdenes de producción y haga uso eficiente de los recursos, tanto los humanos como el espacio y tiempo.

Un mejor sistema de manejo de materiales dentro de la compañía no solo implica reducción en costos, al disminuir o eliminar desperdicios de tiempo, espacio y recurso humano; sino que permitirá a la empresa mejorar el desempeño interno y ante los clientes, se evitará la disminución de órdenes, aumentará la satisfacción de los clientes y empleados y, en general, se mejorará el prestigio de la empresa.

2. MARCO TEÓRICO

Esta sección proporciona un amplio panorama del mapeo de la cadena de valor (VSM, por sus siglas en inglés) centrándose de manera particular en el rediseño del sistema de manejo de materiales (MHS, por sus siglas en inglés) dentro del sector manufacturero. Se tratan aspectos como el contexto y condiciones en las que dicha herramienta ha sido implementada; su desempeño y aplicación a través del tiempo, y entre las diferentes industrias; y los retos que su utilización supone actualmente. Lo anterior implicó un examen profundo de la literatura relacionada con el tema, la cual abarcó tanto aspectos teóricos como casos de aplicación.

2.1. Importancia de la cadena de suministros y la logística

En los sistemas productivos actuales, los productos son manufacturados en una o más fábricas, enviados a almacenes y centros de distribución para almacenamiento temporal, y después enviado a los minoristas o clientes; consecuentemente, para reducir los costos y mejorar el nivel de servicio, las estrategias logísticas deben tomar en cuenta las interacciones entre las entidades que participan en la red logística. Esta red consiste en proveedores, centros de manufactura, almacenes, centros de distribución, y minoristas de rebajas, así como la materia prima, inventario de trabajo en proceso y productos terminados que fluyen entre las instalaciones (Simchi-Levi et al., 2014).

El Concilio de Profesionistas de la Gestión de la Cadena de Suministros (CSCMP) define que la gestión de la cadena de suministros (SCM, por sus siglas en inglés) abarca la planeación y administración de actividades relacionadas con el abastecimiento, procuración, transformación y todas las actividades de la gestión logística; mientras que la logística es la parte de la SCM que planea, implementa, y controla de forma eficiente y efectiva los flujos hacia delante y de reversa, y el almacenamiento de los bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el punto de consumo para satisfacer los requerimientos del cliente (CSCMP, 2016).

Cabe mencionar que, como lo menciona Martin (2011), SCM es un concepto más amplio que logística, pues ésta se enfoca a la planeación y estructura necesarias para crear un solo plan para el flujo de productos e información a través de un negocio; por otro lado, la SCM se cimienta sobre esta estructura buscando además, lograr la conexión y coordinación entre procesos de otras entidades de su canal, por ejemplo, proveedores y clientes y en la organización misma.

2.2. Implicaciones de un rediseño del sistema de manejo de materiales

De acuerdo con el Instituto de Manejo de Materiales, el manejo de materiales (MH por sus siglas en inglés) se refiere al movimiento, protección, almacenamiento y control de materiales y productos a través de las etapas de fabricación, almacenamiento, distribución, consumo y disposición; además da soporte a las actividades logísticas y ayuda a que la cadena de suministros funcione correctamente. Asimismo, el Instituto define que el MHS y los procesos de una empresa son establecidos con el fin de mejorar el nivel de servicio al cliente, reducir el inventario, acortar el tiempo de entrega, y reducir los costos totales de manejo en la manufactura, distribución y transporte (MHI, 2016).

En años recientes, un gran número de compañías, incluyendo negocios dedicados a la producción, consumo y transformación de bienes, han encontrado que el rol de los MHSs es vital (Bartholdi y Hankman, 2016), y los han reconfigurado para responder a los crecientes niveles de servicio requeridos y a la variabilidad de la demanda; específicamente, las necesidades de los clientes en términos de exactitud de la orden y tiempo de respuesta, frecuencia, cantidad y tamaño de la orden, han cambiado dramáticamente con la economía global y las nuevas tendencias de la demanda (por ejemplo, con el comercio electrónico) (Accorsi, et al., 2014). Ejemplos típicos de estos sistemas incluyen almacenes, centros de distribución y plantas de manufactura (Mital, et al., 2015).

La misión de los MHSs es proveer la cantidad solicitada del material, con las condiciones, lugar, posición, secuencia, precio y métodos correctos (Tompkins, et al.,

2010). Con la aplicación de este enfoque es posible equiparar la producción con la demanda, ajustarse a las demandas estacionales, consolidar productos y organizar eficientemente las actividades de distribución (Accorsi, et al., 2014).

El MHS abarca una gran cantidad de problemas de diseño y operación en los sistemas de producción/distribución, es un tema crítico porque afecta los costos, eficiencia, impacto ambiental, riesgos, mantenimiento y ergonomía (Manzini, et al., 2015). El diseño de estos sistemas conlleva un amplio rango de decisiones, donde se toman en cuenta restricciones del diseño de la planta y situaciones operativas (Accorsi, et al., 2014); algunos atributos importantes respecto a los MHSs son la seguridad, calidad, disponibilidad, costos, nivel de automatización, diseño de la planta, tiempo de transporte, localizaciones de almacenamiento, entre muchos otros (Manzini, et al., 2015).

Siendo el MH uno de los sectores de mayor crecimiento en la economía mundial y capaz de habilitar a las empresas manufactureras para operar a altos niveles de productividad, muchos autores reconocen la extrema importancia de entender sus diez principios (Bechtel y Jayaram, 1997; Taylor, 2007; Heragu, 2016); que fueron desarrollados por el “College-Industry Council on Material Handling Education” en conjunto con el Instituto de MH, los cuales constan de recomendaciones basadas en la experiencia y conocimiento de profesionales y académicos formados en esta disciplina (MHI, 2016). Los diez principios se mencionan y describen a continuación:

1. Principio de planeación. Todo MH debe ser el resultado de un plan deliberado donde las necesidades, objetivos de desempeño, y especificaciones funcionales de los métodos propuestos son completamente definidos al comienzo.
2. Principio de estandarización. Métodos del MH, equipo, controles y software deben estandarizarse dentro de los límites que lleven a alcanzar los objetivos de desempeño generales y sin sacrificar la flexibilidad, modularidad y rendimiento necesarios.

3. Principio del trabajo: el trabajo de MH (definido como flujo de material, multiplicado por la distancia movida) debería ser minimizada sin sacrificar la productividad o el nivel de servicio requerido de la operación.
4. Principio de ergonomía: las capacidades humanas y limitaciones deben ser reconocidas y respetadas en el diseño de las tareas de MH y el equipo debe asegurar operaciones efectivas y seguras.
5. Principio de unidad de carga: las unidades de carga deben ser apropiadamente clasificadas, según el tamaño, y configurarse de manera que se logren los objetivos del flujo de material e inventario en cada etapa de la cadena de suministros.
6. Principio de utilización del espacio. Todo el espacio cúbico se debe utilizar de forma efectiva y eficiente.
7. Principio de sistema: el movimiento de material y actividades de almacenamiento deben ser completamente integradas para formar un sistema operacional coordinado que abarque recibo, inspección, almacenamiento, producción, ensamble, empaque, selección de orden, envíos, unificación, transporte y el manejo de devoluciones.
8. Principio de automatización: las operaciones de MH deben ser mecanizadas y/o automatizadas cuando sea factible para mejorar la eficiencia operacional, incrementar el cumplimiento con las responsabilidades, mejorar la consistencia y predictibilidad, disminuir los costos de operación, y para eliminar las labores manuales repetitivas o potencialmente inseguras.
9. Principio medioambiental: deben considerarse al impacto al medio ambiente y el consumo de energía como criterios cuando se diseña o seleccionan un equipo y MHS alternativos.
10. Principio del costo de ciclo de vida: se debe realizar un análisis económico exhaustivo para el ciclo de vida completo de todos los equipos de MH y los sistemas resultantes.

Como se mencionó en previamente, el MH se relaciona estrechamente con la SCM y la logística, pues comparten enfoques similares orientados a satisfacer los requerimientos del cliente. Lograr dicha satisfacción es uno de los retos principales de toda compañía y aunado a los requerimientos señalados debe considerarse la intensa competencia del mercado, sin embargo, este paradigma ya no es el mismo (Hartono, et al., 2015). La competencia ya no es entre la compañía y su competidor, sino entre la cadena de suministros de una empresa y la de su competencia (Li, et al., 2006), por eso resulta vital desarrollar estrategias que tomen en cuenta los elementos de una buena gestión de la cadena de suministros.

2.3. El enfoque de manufactura esbelta

En las últimas décadas, varios autores han desarrollado el término de logística esbelta, el cual se define como la habilidad superior para diseñar y administrar sistemas que controlen el movimiento y la posición geográfica de los inventarios de materia prima, trabajo en proceso y productos terminados al menor costo (Jim Wu, 2002). Jones et al. (1997) al igual que Schönemann et al. (2016) afirman que para mejorar la cadena productiva es necesario poner atención a toda la secuencia de eventos desde que el cliente ordena hasta que la orden le es provista, más aún analizando desde el productor de materias primas, y a todas las compañías sucesivas que elaboran y entregan el producto al cliente.

Refiriéndose a la logística esbelta, Jim Wu (2002), aclara que, aunque la producción esbelta tiene influencia implícita en cada aspecto del proceso logístico desde las compras, manufactura hasta el transporte y su distribución física, hasta hace poco se ha comenzado a analizar el impacto de las estrategias de logística eficiente (que opera justo a tiempo) en el sistema logístico en su totalidad. De igual manera es importante considerar que al identificar las alternativas para remover el desperdicio, conviene enfocarse en un producto o familia de productos en particular – y en todas las entidades que participan en el flujo de la cadena que crea el valor (Jones, et al., 1997).

La manufactura esbelta (ME) es el enfoque de mejora industrial más conocido (Dotoli, et al., 2015), que se originó en el sistema de producción Toyota como un método para reducir sistemáticamente los desperdicios y maximizar el valor en los procesos de manufactura (Bortolotti et al., 2016). Desde sus inicios se enfocó en la aceleración de la cadena de suministros, acortando el tiempo necesario para surtir una orden, llevando a Toyota a mejorar la calidad y a reducir costos, mientras se mejoraba la seguridad y la moral (Liker, 2004).

Según Liker y Meier (2006), el punto de partida para la creación de ME se explica en la descripción hecha por su creador, Taiichi Ohno en 1988, sobre lo que estaba tratando de lograr: “Todo lo que hacemos es mirar la línea del tiempo desde el momento en el que cliente nos da una orden hasta el punto en el que obtenemos el dinero. Y estamos reduciendo esa línea de tiempo mediante la remoción de desperdicios que no añaden valor”.

Los siete tipos principales de desperdicios que obstruyen el flujo de información y materiales son la sobreproducción, exceso de inventario, transporte, esperas, movimientos innecesarios, sobre-procesamiento y los defectos (Hines y Rich, 1997; Steur et al., 2016). Al tratar de eliminar los desperdicios se debe considerar principalmente el problema de los cuellos de botella (Suhadak et al., 2015); el término se refiere a un cuello de botella del proceso en una operación donde la capacidad de producción es menor que la demanda asignada a dicha operación, provocando la acumulación de inventario en proceso y los otros desperdicios antes mencionados, siendo un problema común en las compañías manufactureras (Amit et al., 2012).

La ME ha sido ampliamente adoptada, probablemente debido a que, para muchas compañías, la habilidad de equiparar la demanda y el suministro es la clave de su éxito. Recientes acontecimientos como la intensa competencia entre las compañías dentro el mercado, proliferación de productos y el incremento del número de productos con un ciclo de vida corto han creado un ambiente ciertamente más complejo donde la demanda de los clientes es volátil e impredecible (Simchi-Levi et al., 2014). Al ser la ME uno de los sistemas con mayor aceptación entre las compañías, principalmente en

aquellas empresas que operan a nivel mundial, se prevé que continuará creciendo rápidamente hasta convertirse en un aspecto bien conocido por las industrias (Cox y Ulmer, 2015).

2.3.1 Las herramientas de manufactura esbelta

Con el paso del tiempo se han desarrollado herramientas para ser utilizadas en diversos tipos de industria con el fin de dar apoyo y propiciar la creación de una ME. Entre algunas de las técnicas y conceptos que comúnmente se utilizan se encuentran el VSM, manufactura celular, eventos Kaizen, cambio rápido de herramental, mantenimiento productivo total, gestión visual de la fábrica, procesos productivos con flujo de una pieza, mecanismos a prueba de error, y sistemas de producción nivelada (Ar y Al-Ashraf, 2012), a continuación se da una breve descripción de algunas de herramientas de ME comúnmente utilizadas:

1. Flujo continuo de producción: es un término que, en su estado ideal, significa que los productos son procesados y movidos directamente desde un paso del proceso al siguiente, una pieza a la vez. Cada paso del proceso opera solo en aquella pieza que el siguiente proceso requiere justo antes de que dicho proceso lo necesite, y el tamaño de lote de transferencia es igual a uno. Al flujo continuo también se le conoce como flujo de una pieza, o “hacer uno, mover uno” (Rother y Harris, 2001). Comúnmente, para mejorar el flujo dentro de una compañía se utilizan diversos diagramas, por ejemplo, el VSM, que documenta información sobre el flujo del proceso tal como tiempos de procesamiento, de espera en almacenes temporales, flujos de información y políticas de espera (sistemas productivos de jalón o de empuje) (Braglia et al., 2006; Kemper et al., 2010).
2. Kaizen: es una palabra japonesa, cuyo significado se puede traducir como “mejora continua”, y originalmente esta palabra se refería a mejoras sutiles y graduales a través del tiempo (Manos, 2007). Se le reconoce como una de las metodologías más importantes utilizada en la industria manufacturera (García et al., 2013).

3. Eventos Kaizen: Son cambios de mejora realizados rápidamente (Manos, 2007) y facilitan la aceptación de los proyectos por parte de los empleados (Baril et al., 2016). Para su realización se integran equipos de trabajo donde los que tienen mayor participación con la proposición de ideas de mejora son los operadores, también están conformados por gerentes o supervisores, pero las personas más activas de equipo son los que realizan comúnmente el trabajo en la línea de producción (T. S., 2015). Los eventos Kaizen son conocidos internacionalmente como métodos de mejora continua, se consideran como pequeños pasos encaminados a obtener beneficios económicos para las compañías; las pequeñas mejoras aplicadas a procesos claves, además de generar beneficios monetarios, constituyen una forma segura de obtener lealtad por parte de los clientes (Titu et al., 2010).
4. Gemba: es una palabra japonesa que significa “el lugar real” y se refiere al lugar donde las acciones son realizadas; en los negocios, Gemba es donde suceden las actividades que añaden valor y la satisfacción del cliente se lleva a cabo, es lo que permite que una compañía se mantenga en el mercado y prospere (Imai, 1996; Dotoli, 2015). Durante las caminatas Gemba que realizan los miembros del equipo es posible encontrar problemas a lo largo de la cadena de valor y entenderlos para verificar sus posibles causas, antes de trabajar en resolverlos (Ar y Al-Ashraf, 2012).
5. Kanban: esta herramienta proviene de una palabra japonesa que significa letrero y se desarrolló para producir de acuerdo a la demanda programada, es decir, para producir de acuerdo a la filosofía justo a tiempo (Naik et al., 2013). Los operadores la utilizan mediante señales visuales para determinar cuánto deben producir y cuándo deben de parar o realizar algún cambio de herramental; también informa a los operadores las acciones a seguir en caso de que un problema suceda. Además, un Kanban bien planeado cuenta con indicadores visuales que permite a los gerentes y supervisores saber el estado de la producción programada con un vistazo a la línea (Gross & McInnis, 2003).

6. Reposición de materiales por supermercados: este sistema de reposición de materiales utiliza tarjetas Kanban y controla la producción del proceso que provee a la línea en cuestión, sin tratar de hacer una programación del surtido; esto ayuda a controlar la producción entre los flujos. Usualmente se instalan cuando el flujo continuo se interrumpe y el proceso aguas arriba aún necesita producir en lotes. Normalmente, los supermercados se localizan en el área de producción, cerca del proceso que surte a la línea con el fin de mantener un sentido visual acerca del consumo del cliente y sus requerimientos (Rother y Shook, 1999).
7. Manufactura celular: de acuerdo a Meyers y Stephens (2006) es una colección de equipo que se requiere para fabricar una parte aislada o una familia de productos con atributos similares, donde el equipo se coloca en forma de círculo alrededor de uno o más trabajadores; normalmente estos equipos incluyen máquinas automáticas. La manufactura celular es una aplicación de la manufactura de grupos, que emergió como un sistema de manufactura alternativo y prometedor, este puede ser caracterizado como un sistema híbrido que combina las ventajas de los procesos de producción por trabajo (que brinda flexibilidad) y el masivo (proporcionando un flujo eficiente a una alta tasa de producción) (Papaioannou y Wilson, 2010; Delgoshaei y Gomes, 2016).
Las celdas de manufactura se desarrollan a un ritmo muy rápido y reducen el tiempo de arranque en forma significativa, eliminan la acumulación de material entre operaciones y la mayoría del tiempo de movimiento entre operaciones; además terminan con las demoras por esperar a la máquina siguiente, reducen costos y disminuyen inventario de producto en proceso; es importante mencionar que dentro del concepto de manufactura celular la utilización del operador es preferible por encima del de la máquina (Meyers y Stephens, 2006).
8. 3P (proceso de preparación de la producción): es un elemento integral de la manufactura esbelta que sirve para diseñar el proceso de producción y toma en cuenta a las personas, productos y los procesos (Hicks et al., 2015). Es un enfoque participativo que da como resultado un diseño colectivo mediante la

inclusión de aportes de un amplio rango de partes interesadas y envuelve a los recursos humanos en el proceso de la toma de decisiones y en cuanto al análisis de los riesgos potenciales (Coletta, 2012). La metodología para aplicar esta técnica incluye la formación de un equipo interdisciplinario, aportación de ideas para el diseño del proceso productivo, proponer un modelo que incluya las ideas más factibles y la construcción del modelo real hecho con material reciclado, para evaluar factores importantes de la cadena de valor, como el tiempo de ciclo, movimientos, aspectos ergonómicos, entre otros (Hicks et al., 2015).

9. Cambio rápido de herramental: es una metodología útil para la reducción del tiempo de preparación la cual requiere innovación de los procesos de cambio de herramental originales y permite a las compañías responder de forma rápida y efectiva a las fluctuaciones en la demanda, mientras se eliminan desperdicios y se reducen los tamaños de lote simultáneamente. Los pasos a seguir para implementar esta herramienta son: seleccionar el proceso donde se aplicará, analizar el estado actual de la preparación del cambio de herramental, clasificación de actividades en internas y externas, seguido de la mejora de dichas actividades, es decir, buscar la forma en que sean realizadas en el menor tiempo posible. Las actividades mejoradas deben de ser estandarizadas y validadas, así también será importante entrenar al personal para cambiar el herramental con el nuevo método propuesto (Azizi y Manoharanb, 2015).

2.3.2 Disciplinas de apoyo a la manufactura esbelta

Resulta común encontrar que las compañías que adoptan la ME para mejorar sus sistemas productivos también aplican otros enfoques de apoyo a la toma de decisiones o para cumplir con las normativas vigentes, incluso, algunas las utilizan como parte indispensable de sus herramientas estratégicas. Entre estos enfoques podemos mencionar los siguientes:

- Sustentabilidad:

El desarrollo sustentable en las empresas de manufactura está tomando cada vez más importancia, involucra el uso de procesos y sistemas capaces de fabricar productos más sustentables, y (Faulkner y Badurdeen, 2014). Este se soporta por tres pilares: el económico, el ambiental y el social (Yusof et al., 2015; Brown et al., 2014). La mejora continua en la manufactura mediante la eliminación de desperdicios ha sido reconocida como una de las tareas más importantes de las organizaciones socialmente responsables, pues la capacidad de eliminar desperdicio puede llevar a tener mejoras ambientales; tal desperdicio puede variar desde actividades que no añaden valor hasta riesgos del área de trabajo que puedan llevar a la insatisfacción de los clientes, empleados y organizaciones, así como a la destrucción del ambiente (Mostafa y Dumrak, 2015).

- Ergonomía:

Los centros de trabajo se interesan cada vez más en el bienestar y la satisfacción de los recursos humanos; la naturaleza de los problemas en las organizaciones a menudo recae en el personal, que es el recurso más importante de la organización (Cirjaliu y Draghici, 2016). Las herramientas de racionalización, como es el caso de algunas pertenecientes a la manufactura esbelta, frecuentemente tienen efectos negativos en la en la salud y los factores de riesgo (Westgaard y Winkel, 2011) que resultan en la intensificación del trabajo (Edwards, 2014). Un área de oportunidad en este campo se encuentra en que los ergonomistas y agentes del entorno de trabajo tradicionalmente han implementado mejoras en las condiciones del centro de trabajo una vez que el proceso de racionalización ha sido completado en lugar de hacerlo durante la planeación del sistema operativo (Edwards, 2014). Si se realizan acciones encaminadas a mejorar las condiciones ergonómicas donde laboran los empleados, se pueden obtener mejoras derivadas que ayudan a la economía de la empresa y a causar un buen impacto social (Brown, et al., 2014).

- Simulación:

La simulación es ampliamente utilizada en la industria, así como en la investigación, siendo una metodología reconocida por su utilidad para analizar el comportamiento del sistema en el mundo real a través del tiempo, la cual utiliza un modelo simplificado del sistema real para desarrollar experimentos y obtener resultados que sean transferibles a la realidad (Schönemann et al., 2016). La simulación es de mucha utilidad cuando se trata de realizar un rediseño o cambios en la estructura física del diseño de la planta, ya que estos envuelven altos costos; al aplicar la simulación se pueden conocer los impactos antes de que la implementación y la transformación de la organización tomen lugar, a un costo comparablemente muy bajo (Suhadak et al., 2015). Existen dos tipos de simulación, la física y la asistida por computadora. En la primera se realiza un juego de simulación físico donde los participantes operan en una línea de producción ficticia y encuentran potenciales problemas y situaciones del estado futuro (Whitman et al., 2001); en el segundo tipo de simulación los modelos se construyen en un software de computadora y se aplican a casos de la vida real donde funcionan como modelos de los procesos de manufactura (Suhadak et al., 2015).

2.4. Características del mapeo de la cadena de valor

Al tiempo que las compañías continúan buscando formas de hacer sus operaciones más efectivas, se incrementa la necesidad de un entendimiento claro del concepto de la cadena de valor (Chaneski, 2014). La cadena de valor son todas las actividades, tanto las que añaden como las que no, que son necesarias para crear un producto y ponerlo a disponibilidad de los clientes (Rother y Shook, 1999). Esto generalmente abarca desde la recepción de la orden del cliente hasta el envío del producto o el brindar un servicio (Chaneski, 2014). Conviene considerar que cuando se busca optimizar las cadenas de valor en la manufactura siempre se tendrán soluciones alternativas debido a las interdependencias entre todos los parámetros de optimización

(por ejemplo, unidades a mantener en inventario, número de estantes, cantidad de operadores y de máquinas, entre otros) (Sihn y Pfeffer, 2013).

La herramienta del VSM puede ser extremadamente efectiva para mejorar los negocios (Patel et al., 2015) y ha emergido como la herramienta preferida para implementar la ME (Grewal, 2008; Kumar, 2014), es utilizada con el fin ver y entender el flujo de materiales e información de un producto mientras este pasa por la cadena de valor (Rother y Shook, 1999; Steur et al., 2016). Consiste en revisar procesos específicos, donde el desempeño inicial de un proceso particular es comparado internamente, en el aspecto de qué tan bueno puede llegar a ser, es decir, contrasta las actividades realizadas actualmente, con la mejor versión de lo que el proceso podría ser si un porcentaje realista del desperdicio fuera removido (Hines et al., 1999; Abuthakeer et al., 2010).

Mediante la utilización del VSM es posible identificar los lugares en donde el inventario se acumula, calcular los tiempos de entrega de órdenes y revelar qué porcentaje del tiempo se utiliza para añadir valor al producto. Una vez que se clarifican los flujos de materiales e información y se conoce el valor de las medidas de desempeño seleccionadas mediante la creación del VSM, se procede a emplear el mismo como una herramienta de comunicación en la solución de los problemas presentes, así también, como una guía en la implementación de mejoras. Este diagrama resulta además, ventajoso para describir y visualizar el estado futuro deseado (Rohac y Januska, 2014).

El grado de mejora entre los estados presente y futuro del VSM puede conocerse objetivamente mediante los indicadores claves de desempeño, pues al emplearlos se evalúa qué tan bien funcionan los procesos de acuerdo a los objetivos establecidos por la empresa (Chioua et al., 2016; Peral, 2017). Su utilización representa un componente fundamental del análisis estratégico para llevar a cabo la toma de decisiones en las empresas (Gunasekaran et al., 2015).

La aplicación de la técnica del VSM tiene muchos beneficios tratados por varios autores, se pueden mencionar, por ejemplo:

- Mejora la visibilidad de toda la cadena de valor (Steuer et al., 2016) y muestra más que el nivel del proceso por si solo (soldadura, pintura, ensamble, entre otros), es posible ver y entender el flujo (Rother y Shook, 1999).
- Está compuesta de íconos y figuras estandarizadas y bien conocidas, es sencillo de aprender y sus resultados se pueden interpretar fácilmente, incluso sin ser expertos en el tema (Schönemann et al. 2016).
- Es un medio efectivo para orientar a nuevos empleados, ayudándolos a entender la visión holística de la compañía y cómo sus puestos encajan dentro de ella (Martin y Osterling, 2013; Li, 2014).
- Forma la base de un plan de implementación pues ayuda a diseñar cómo debería funcionar el flujo completo – una pieza faltante en muchos esfuerzos para aplicar la ME (Rother y Shook, 1999).
- Ayuda a identificar de forma efectiva las actividades y procesos que son desperdicios, y sirve para implementar procesos de mejora continua mediante la reducción del tiempo de servicio de una orden (Azizi y Manoharanb, 2015).
- El proceso del mapeo profundiza en el entendimiento de los sistemas de trabajo que entregan valor al cliente y refleja el flujo del trabajo desde la perspectiva del cliente. Como resultado, el proceso del VSM propicia el establecimiento de directrices estratégicas que propongan mejores decisiones y diseño del trabajo (Li, 2014).

Sin embargo, la literatura también trata las deficiencias encontradas en el uso tradicional del VSM. A continuación, se explican las carencias identificadas por algunos autores en cuanto a la funcionalidad de la herramienta:

- No cuenta con un medio que permita manejar la incertidumbre y de una visión dinámica del estado futuro para cuantificar las ganancias derivadas del uso (Abdulmalek y Rajgopal, 2007; Schönemann et al. 2016).

- No es posible realizar un mapa que incluya múltiples productos si éstos no tienen flujos idénticos de materiales y tiende a influenciar al diseñador de la fábrica para que considere únicamente técnicas aplicables mayormente a sistemas de manufactura de alto volumen y baja variedad (Khaswala e Irani, 2001).

- De acuerdo con Chavez (2012) “una aportación nueva a lo que comúnmente se ha venido analizando es ver la influencia de la ergonomía en la creación de valor, como el hecho de que los entornos sean idóneos para la realización de las operaciones que los procesos demandan es crucial para contar con tiempos de procesamiento adecuados y no se generen incrementos debido a la ineficiencia o falta de idoneidad de las herramientas, equipos y/o los mobiliarios”. También se ha encontrado que las herramientas de racionalización del trabajo como el VSM generalmente tienen un efecto negativo en la salud y en los factores de riesgo (Westgaard y Winkel, 2011) y resultan en intensificación del trabajo (Edwards, 2014).

Observando lo anterior, es importante mencionar que Rother y Shook (1999), pioneros en la metodología para crear y utilizar un VSM, enfatizaron en la posibilidad y conveniencia de adaptar el VSM de acuerdo a las necesidades particulares de cada compañía, lo cual se ha realizado en el campo práctico y académico. Desde la creación de la versión tradicional del VSM, numerosos trabajos con modificaciones han sido realizados para dar una mejor visión o cuantificación de los problemas que más interesan a quienes lo utilizan (Khaswala e Irani, 2001; Edwards, 2014; Vieira et al., 2015; Jarebrant et al., 2015).

2.4.1 Evolución y aplicación del VSM en la literatura

Las herramientas y principios de la ME han sido ampliamente utilizados en muchos tipos de industrias (Cox y Ulmer, 2015). Especialmente el VSM, es una técnica de ME que desde su creación se ha expandido a varios sectores además del manufacturero, pues además de ser sencillo de aplicar se puede utilizar en entornos variados. A modo de ejemplo, la tabla 2.1 muestra una lista donde se señalan algunos de los campos,

además de la industria manufacturera, que han hecho uso del VSM para sus análisis y toma de decisiones.

Sector	Fuente
Construcción	(Matt et al., 2013)
Salud	(Kaale et al., 2005)
Servicios: centro telefónico	(Piercy y Rich, 2009)
Transportes	(Villarreal, 2012)
Arquitectura	(Lima et al., 2010)
Líneas de productos de software	(Musat y Rodríguez, 2010)
Desarrollo de productos	(Tyag, et al., 2014)
Gestión de la innovación	(Peek y Chen, 2011)
Servicios: gobierno	(Krings et al., 2006)
Minería	(Kumar 2014)
Sistemas de producto-servicio industrial	(Morlocka y Meier, 2015)
Reducción de pérdidas de comida	(Steur et al., 2016)
Servicio de mantenimiento	(Kasava et al., 2015)

Tabla 2.1. Aplicaciones del VSM a sectores diferentes de la manufactura

Se hizo una revisión exhaustiva de la literatura disponible publicada hasta la fecha, con el fin de profundizar en los aspectos principales que componen al VSM y conocer la forma en la que se han conducido las diferentes investigaciones sobre este tema. Consideramos importante revisar la evolución, aplicación y desempeño del VSM, es decir cómo se ha utilizado desde sus inicios hasta hoy, qué tan buenos han sido los resultados obtenidos derivados de su aplicación, las adaptaciones que se le han efectuado de acuerdo a los objetivos particulares de cada caso, los tipos de desperdicios que es capaz de reducir o eliminar, los tipos de industrias manufactureras en los que más se utiliza dicha herramienta, entre otros aspectos. Se encontraron estudios previos de revisión bibliográfica con diferentes enfoques, cada uno aportó beneficios importantes para la presente investigación (ver Tabla 2.2), sin embargo, ninguno brinda la información precisa que se buscaba acerca de la evolución, aplicación y desempeño del VSM, en forma concreta, para conocer a detalle si algún tipo de los VSM existentes o una combinación de ellos podría adaptarse mejor al problema tratado en la presente investigación, por lo que se procedió a conducir una revisión literaria comprensiva y sistemática.

Breve descripción	Fuente
Es parte de una tesis. Expone los aspectos considerados más relevantes del VSM de un en 13 fuentes bibliográficas, incluye libros y artículos, no se muestran tablas ni gráficas.	(Li, 2014)
Se trata de la aplicación del VSM en la reducción de pérdidas de comida. Los autores consideraron el año y ciudad de localización y los tipos de desperdicios encontrados.	(Steur et al., 2016)
Es una revisión de 10 casos de estudio, tomando en cuenta los indicadores clave de desempeño. Los autores presentan los porcentajes de mejora obtenidos mediante gráficas.	(Saraswat et al., 2014)
Revisa 47 trabajos académicos incluyendo libros y revistas. Los autores se enfocan en el tipo de trabajo realizado, y los atributos que de consideran en cada uno de ellos.	(Singh et al., 2011)
Es una revisión de 6 artículos donde el VSM fue aplicado. Se reporta el grado de mejora de los indicadores clave de desempeño y su aplicabilidad a los diferentes sectores analizados.	(Patel et al., 2015)
Esta es una revisión de las diferentes herramientas para realizar el mapeo, ofrece una visión general de cada técnica y sus características.	(Romero y Chávez, 2012)
La revisión incluye 57 artículos desde 1997 hasta 2013. Los autores identifican las limitaciones principales del VSM, así como las directrices consideradas para su uso.	(Forno et al., 2014)
Es una revisión de 18 artículos acerca del uso del VSM en el campo del desarrollo del producto y cómo esto afecta el aprendizaje organizacional en procesos de desarrollo.	(Schulze et. al, 2013)
Presenta algunas de las técnicas comúnmente aplicadas al análisis de la cadena de valor. Los autores incluyen una tabla con 5 artículos revisados.	(Gunaki et al., 2015)

Tabla 2.2. Revisiones previas de la literatura acerca del VSM

La revisión utilizó el método sistemático PRISMA y se revisaron un total de 128 artículos de revistas académicas revisadas por pares, de las bases de revistas de Elsevier, Ebsco y Google scholar. La información considerada importante se ordenó en una hoja de cálculo para hacer posteriores análisis acerca de las herramientas más utilizadas, industrias donde se aplican y los resultados obtenidos en cuanto al desempeño del sistema de manufactura; la clasificación de la información se puede observar en la figura 2.1.

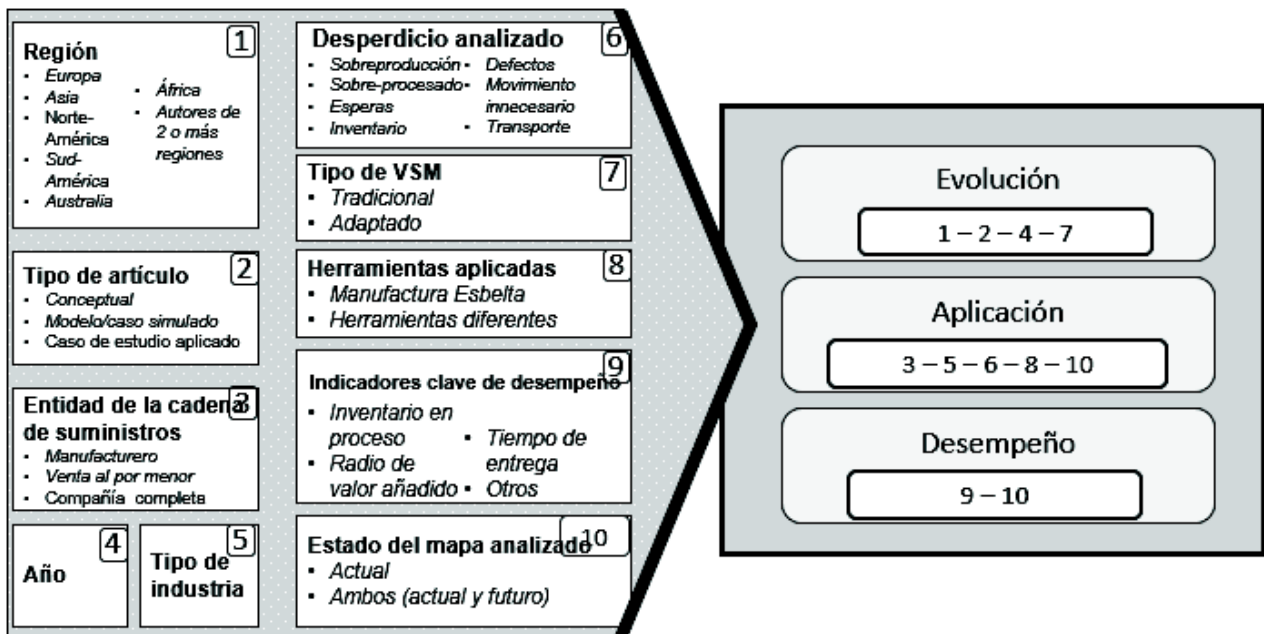


Figura 2.1. Clasificación de la revisión literaria sobre VSM

Como producto de la revisión sistemática, se encontraron varios hallazgos valiosos para la realización del presente trabajo (ver tabla 2.3), acerca de las variaciones del VSM utilizadas y la razón por la cual los autores decidieron aplicar la herramienta modificada en lugar de la tradicional. Entre otras observaciones, las siguientes se consideraron de mayor utilidad:

- El 37% de los artículos se dedicaron al trato de casos de estudio aplicados y todos observaron resultados positivos en al menos uno de los indicadores de desempeño considerados.
- En el 24% de los artículos utilizó una variación del VSM, aunque en todos los casos se utilizaba junto a otras herramientas, siendo o no de manufactura esbelta.
- Aun cuando la metodología para aplicar el VSM indica la necesidad de dibujar los dos mapas correspondientes a los estados actual y futuro del sistema de manufactura (Serrano et al., 2008), el 16% de los autores presentó solo el estado presente en sus publicaciones.

- Los indicadores de desempeño comunes que más se han utilizado hasta la fecha son: tiempo para entregar las órdenes (45%), inventario en proceso (8%) y radio de valor añadido (7%), mientras que un 40% de los autores utilizan otro tipo de indicadores.
- En promedio, mediante la utilización del VSM los autores reportaron mejoras del 40.76% en el tiempo de entrega de órdenes, 49.32% en reducción de inventarios en proceso y 214.74% en aumento del radio de valor añadido en sus procesos.
- Los tipos de desperdicios que mayormente se tomaron en cuenta en la literatura fueron los tiempos de espera, excesos de inventario y sobreproducción.
- Las herramientas de ME más utilizadas han sido el Kanban (sistemas de producción justo a tiempo) y eventos Kaizen, mientras que la simulación y el rediseño físico de la planta fue la herramienta más utilizada que no forma parte de la manufactura esbelta.

Variante	Aplicación	Fuente
Activity Based Costing Value Stream Mapping	Integra los variados aspectos de los costos para que aumente la claridad en la toma de decisiones. El mapa rediseñado prueba ser eficiente al señalar las áreas de mejora en términos de datos cuantitativos.	(Abuthakeer et al., 2010)
Energy Value Stream Mapping (EVSM)	Señala los procesos que consumen energía y no son productivos. Ofrece un análisis rápido, fácil y general de los flujos de energía y materiales a través del proceso de producción.	(Verma y Sharma, 2016)
Multi-product energy VSM (MEVSM)	Es la extensión del VSM hacia la consideración de las demandas de energía de los procesos y los servicios de soporte (EVSM), aunado a la simulación para analizar múltiples cadenas de valor para diferentes productos.	(Schönemann et al., 2016)
Quality Value Stream Mapping (QVSM)	Es una herramienta adaptada para la visualización, análisis y diseño de las medidas para asegurar la calidad, a través de las cadenas del proceso en la manufactura.	(Haefner et al., 2014)
Value Network Mapping (VNM)	Permite realizar el mapa de la red completa de los flujos a través de la cadena de valor, correspondiente a complejas listas de materiales.	(Khaswala e Irani, 2001)
Multi-layer Stream Mapping (MSM)	Se desarrolló para analizar múltiples aspectos, evalúa de forma original si los recursos, procesos y otros aspectos son utilizados a su máximo potencial en procesos complejos. Los costos relacionados a ineficiencias se cuantifican de forma integral y simplificada.	(Lourenço et al., 2016)
Sustainable VSM (Sus-VSM)	Permite identificar áreas potenciales de mejora para lograr una manufactura sustentable, por lo que se incrementa su utilidad. Incorpora métricas para evaluar la sustentabilidad.	(Brown et al., 2014)
Simulation-based VSM (SimVSM)	Muestra los impactos del estado futuro del VSM antes de implementar y transformar la organización en un sistema esbelto, y lo logra al mínimo costo. Demuestra claramente los efectos de adoptar la manufactura esbelta.	(Lian y Van Landeghem, 2007)
VSM with implementation of hybrid push/pull techniques (SyVSM)	Sirve para evaluar los beneficios de un sistema MRP sincronizado con respecto al Kanban y al inventario de productos en proceso controlados, que se utilizan comúnmente.	(Bertolini et al., 2013)
Improved VSM (IVSM)	Da una estructura para aplicar el VSM a productos con complejas listas de materiales. Se ejecuta un análisis preliminar para identificar el camino crítico de producción utilizando una lista de materiales temporizada.	(Braglia et al., 2006)
Ergonomic Value Stream Mapping	Es una metodología que añade un análisis ergonómico al VSM regular. Incluye una revisión de las dimensiones físicas y psicológicas.	(Edwards, 2014)

Tabla 2.3 Variantes del VSM y sus aplicaciones

2.3.1 Creación del mapa de la cadena de valor

La versión tradicional del VSM es la que más se ha aplicado en casos de estudio, según el análisis bibliográfico previamente mostrado. El resultado de su implementación son los mapas de los estados actual y futuro de los flujos de información y materiales de una familia de productos determinada. Los pasos para su desarrollo se describen brevemente a continuación (Rother y Shook, 1999; Li, 2014).

1. Identificar una familia de productos.

Se selecciona según la conveniencia de cada compañía; al iniciar, se realiza una tabla donde se listan los diferentes productos fabricados en la empresa y luego deben analizarse todos los procesos diferentes por los que pasa cada producto, así también, los equipos requeridos para su fabricación. Para este propósito, resulta útil la utilización de la matriz proceso-producto, la cual es muy sencilla de realizar; en las columnas se enumeran o describen los diferentes equipos utilizados (o los pasos para ensamblar un producto) y en los renglones se listan cada uno de los productos fabricados en el área o departamento analizado. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo.

		Pasos de ensamble y equipo utilizado							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Productos	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Figura 2.2. Ejemplo de una matriz proceso-producto, traducida de (Rother y Shook, 1999)

Luego, se eligen aquellos productos que comparten más similitudes dentro de sus procesos.

2. Dibujar el VSM del estado actual.

Este deberá representar las actividades justo de la forma en que se realizan. Es necesario asegurarse de tener la información correcta, por lo que conviene seguir el flujo del material e información desde el lugar de fabricación y entrevistando a las personas que llevan a cabo el trabajo; después se puede elaborar el VSM del estado actual utilizando íconos predefinidos que representen diferentes elementos en la cadena de valor (figura 2.3) y muestren la información relevante, como los procesos requeridos y las demoras encontradas para entregar el producto requerido al cliente.

3. Analizar el VSM del estado actual.

Después de que se completa el VSM del estado actual, el equipo a cargo busca las formas posibles de mejorar el flujo de información y material mediante la eliminación de desperdicios. En esta etapa, hay varios principios de la ME que pueden facilitar la mejora de la cadena de valor (por ejemplo, sistemas de producción nivelada, hoja de trabajo estándar, 5Ss, Kanban y manufactura celular).

4. Dibujar el VSM del estado futuro.

El propósito de este mapa es indicar las fuentes de desperdicio y eliminarlas dentro de un corto periodo de tiempo. El VSM del estado futuro debe estar basado en una revisión del estado presente, de la cual surgen propuestas de mejora que puedan ser alcanzadas en la realidad. Mediante la implementación del VSM del estado futuro, la meta se vuelve una realidad.

5. Trabajar para lograr las condiciones deseadas del estado futuro.

Un plan para alcanzar el estado futuro es parte vital de su creación, de lo contrario el VSM no tiene razón de ser. El plan puede basarse en un VSM del estado futuro a corto plazo, en un mapa del proceso analizado a detalle, en un plan de VSM anual o en una combinación de documentos útiles a este fin.

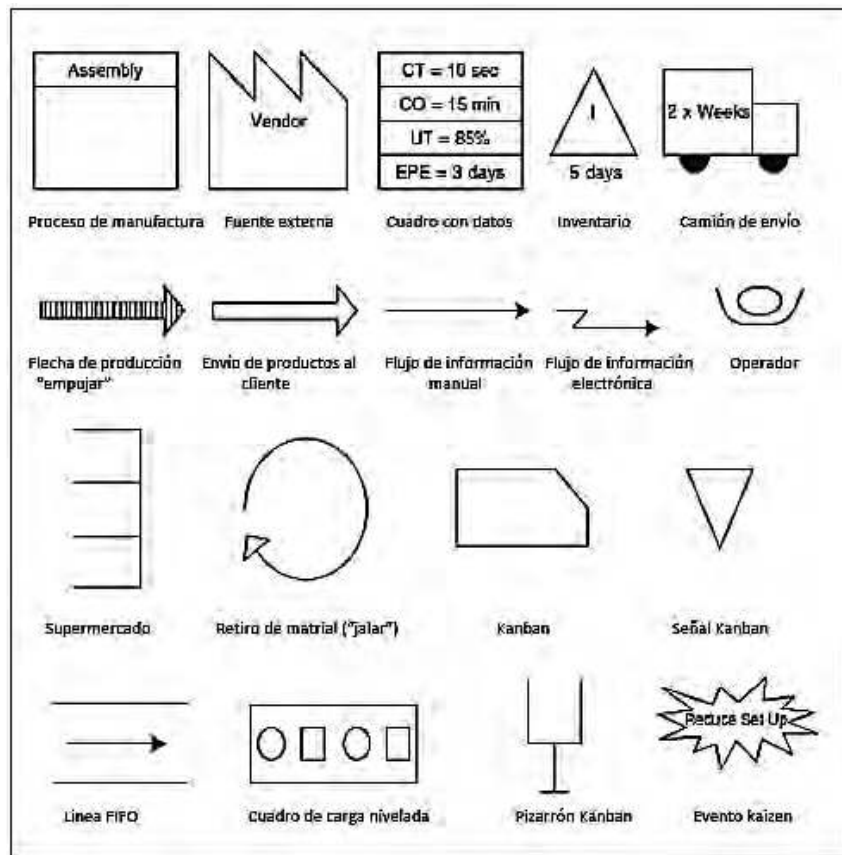


Figura 2.3. Íconos para la creación del VSM, basado de Braglia et al., (2006)

3. METODOLOGÍA

Una vez que se ha realizado una revisión detallada y sistemática del VSM y se ha llegado a conocer las alternativas de solución que diferentes autores señalan y han aportado mediante trabajos de tipo conceptuales, de modelación y diversos casos de estudio aplicados a entornos de manufactura con similitudes al presente proyecto, se procede a estructurar una metodología que parte de una investigación mixta, es decir, cualitativa y cuantitativa (Sampieri et al., 2010).

De lo anterior, se verifico el significativo aporte de las contribuciones que aportan las herramientas de ME, las cuales, cuando se aplican de manera correcta, van en línea a dar solución a los problemas de desperdicios, como los que se encuentran presentes en la compañía XYZ. A este propósito, la utilización del VSM ha revelado ser uno de los enfoques con mayor potencial para impulsar y dirigir las propuestas de mejora, pues a través de los análisis que el mismo conlleva se logran identificar las áreas más críticas a tomar en cuenta para el logro de los objetivos fijados, al tiempo que promueve el desarrollo de posibles alternativas de acción. También, se identificaron otras disciplinas fuera de la ME que contribuyen notablemente a la disminución de desperdicios, o bien, están encaminadas a mejorar la aplicación de las herramientas de ME (entre estas se destacan la ergonomía, la simulación y la sustentabilidad).

En la figura 3.1 se muestra la metodología propuesta para el presente trabajo con las etapas que la componen, basada principalmente en el modelo de solución tradicional (Rother y Shook, 1999), con algunas técnicas que se añadieron para dar apoyo al mejor manejo del problema presente. La metodología parte del análisis profundo de las características del problema, sus necesidades y entorno, así también, de las soluciones ofrecidas por varias herramientas de la ME y otras disciplinas nombradas en la sección anterior; con esto se busca ofrecer una alternativa de mejora de acuerdo a las circunstancias particulares aquí tratadas, siendo, a su vez, adaptable a otras situaciones en las que se busque mejorar el MHS mediante la reducción de

desperdicios, ya sea en esta u otras compañías pertenecientes al sector manufacturero.



Figura 3.1. Metodología para mejorar el MHS en una planta manufacturera, basado en (Rother y Shook, 1999)

La metodología comenzará con la selección de la familia para analizar sus flujos de materiales e información; el criterio de selección se basa generalmente en el volumen de demanda que tiene cierta familia de productos respecto a las demás, o en la cantidad de problemas existentes en dicha familia, ya sea por mala calidad o retrasos para surtir órdenes, entre otros. Al seleccionar sólo una familia, se ha de verificar que los productos de los cuales se compone compartan características similares en sus componentes y procesos con el fin de analizarlos mediante un mismo mapa; crear un mapa para varias familias resultaría significativamente complejo.

Después se creará el VSM correspondiente al estado actual de la familia de productos, seguido del mapa del estado futuro; como se observa en la imagen, la creación de los mapas es un proceso cíclico, ya que al momento de crear el VSM presente llega a surgir ideas para el estado futuro, y a su vez, cuando se desarrolla el VSM futuro es posible apreciar detalles importantes que deben incluirse en el estado actual. Al tiempo que se crea el mapa futuro se plantearán las mejoras y una vez que se hayan seleccionado las propuestas más convenientes serán implementadas en el MHS de la compañía.

Antes de describir cada una de las partes que componen la metodología de solución, conviene aclarar que, mientras que el VSM es aplicable a toda la cadena de valor (desde proveedores hasta el cliente final), para los fines que se persiguen en la presente investigación, se considerarán las actividades logísticas comprendidas dentro de las instalaciones de la compañía XYZ, por lo que el VSM corresponderá a la delimitación establecida (figura 3.2).

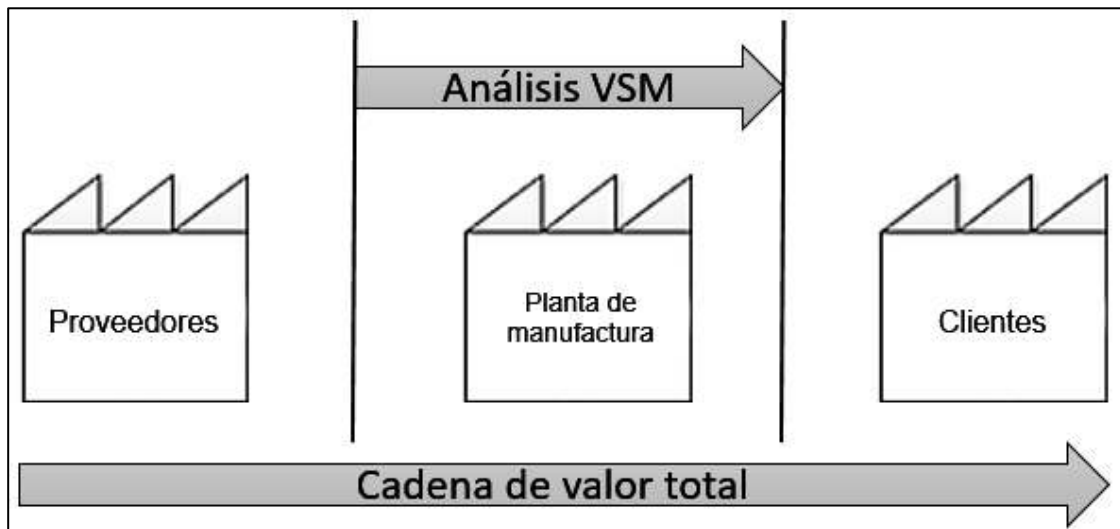


Figura 3.2. Nivel de análisis a emplear

3.1 Seleccionar la familia de productos

Los pasos para la creación del VSM, consisten en realizar el mapeo de la cadena de valor para una sola familia de productos, ya que, por lo general, los productos de cada familia se conforman por componentes similares y atraviesan por equipos y procesos de producción comunes a través de la cadena de valor. Realizar un diagrama VSM que incluyera los flujos de varias familias de productos resultaría considerablemente complicado. Los pasos a seguir para la selección adecuada de la familia de productos se muestran en la figura 3.3.

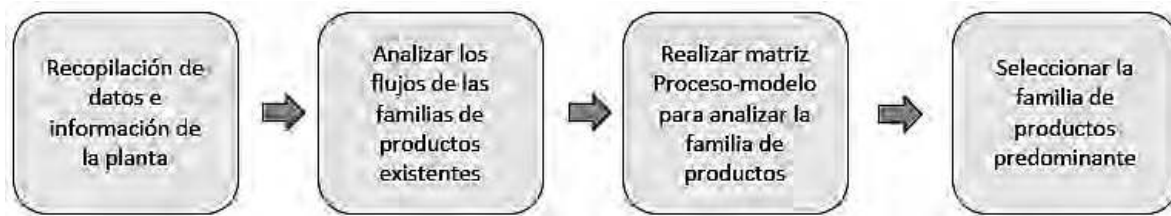


Figura 3.3. Pasos para seleccionar la familia de productos

La información que se recopila inicialmente será de ayuda para familiarizarse con el área en la cual se va a trabajar, particularmente con el MHS empleado, mismo que incluye la forma en que fluyen la información y los materiales; asimismo, permitirá conocer las características de los productos manufacturados. Para este fin, se pueden utilizar fotos, diagramas, registros existentes en la empresa, preguntar a los supervisores del departamento o bien, acudir personalmente al área de producción y recolectar los datos que se consideren importantes.

Teniendo la información relevante a la mano, se revisarán cuidadosamente los diferentes productos que se fabrican en el área, considerando la secuencia de los pasos que requeridos para su elaboración y el equipo utilizado con cada uno de ellos. De esta forma será posible identificar grupos de productos que siguen patrones de fabricación similares entre sí, lo cual indicará que son de la misma familia.

Una vez que se cuente con la información necesaria, esta será incluida en una matriz de relaciones proceso-producto. Observando de forma gráfica los diferentes productos y sus procesos de fabricación o ensamble, se apreciarán mejor las similitudes entre ellos y se establecerá una familia de productos conveniente para realizar el VSM. Con el fin de seleccionar a la familia se tomará en cuenta, además, la demanda de cada uno de los productos que la conforman.

3.2 Mapa actual de la cadena de valor

El VSM tendrá como función ser una herramienta de comunicación y de gestión del área a mejorar, por esta razón es altamente recomendable que se incluyan únicamente los datos que sirvan para el análisis de los desperdicios, de acuerdo al contexto del

problema a tratar. A este fin, se utilizarán diferentes tipos de íconos que describen las situaciones actuales y futuras de los flujos a lo largo de la cadena de valor, generalmente los iconos se pueden dividir en íconos de flujo de materiales, de información y los generales; en la figura 3.4 se observan algunos de los íconos comúnmente utilizados en la literatura. En la aplicación de esta herramienta se sigue un enfoque de mejora rápida, al igual que los eventos Kaizen (Martin y Osterling, 2013; Rother y Shook, 1999), pues permite buscar soluciones efectivas dentro de un tiempo razonable a los problemas que aquejan a la empresa.

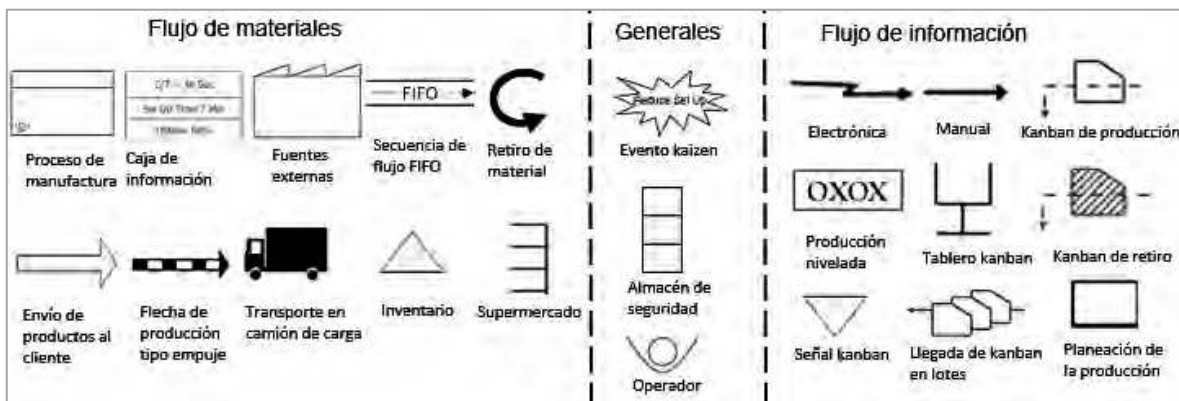


Figura 3.4. Clasificación de los iconos utilizados comúnmente en el VSM

Mediante la elaboración del VSM se llega a comprender toda la cadena de valor y su funcionamiento. Para una representación más realista de los flujos es necesario que sea creado por una sola persona, abarcando desde la recepción de las ordenes de producción por parte de los clientes hasta llegar al área de recibo de materia prima. A través de los mapas se logrará entender que cuando cada proceso tiene su propio plan de producción está operando como una isla y se encuentra separado de cualquier tipo de cliente aguas abajo, lo cual da a cada proceso la capacidad de fijar tamaños de lote propios y producir al ritmo que tenga sentido desde su punto de vista particular. En esta situación, el proceso de surtido tenderá a elaborar partes que sus clientes no necesitan ahora, es decir, se utiliza el sistema de producción por empuje y las partes producidas tendrán que almacenarse.

Las prácticas de crear lotes y empujar hacen que sea casi imposible establecer un flujo de trabajo suave de un proceso al siguiente. Al crear el mapa del estado actual se notará que la mezcla confusa de eventos que suceden dentro del área tratada, de pronto se vuelve comprensibles desde la perspectiva de la cadena de valor de un producto y la perspectiva del cliente.

3.3 Mapa futuro de la cadena de valor

El propósito del VSM será dar la suficiente visibilidad a las fuentes de desperdicio y eliminarlas mediante la implementación de un mapa de un estado futuro que se pueda implantar efectivamente en la realidad dentro de un periodo de tiempo relativamente corto. En el análisis del VSM se encontrará que los desperdicios se presentan por diversas causas, como el diseño del producto, la maquinaria utilizada y la localización de algunas actividades; al buscar soluciones al problema de desperdicios se tomarán en cuenta aquellos que no provienen de las fuentes mencionadas, pensando en lo que se puede hacer con lo que ya se tiene disponible. Después, se propondrán mejoras relacionadas con el diseño del producto, la maquinaria y la distribución de las instalaciones.

3.4 Planeación e implementación de mejoras a la cadena de valor

El VSM del estado futuro muestra hacia donde se quiere llegar, luego será necesario crear un plan en el que se especifique claramente lo que se desea lograr, paso por paso, y asegurándose de establecer formas de medir las mejoras. Ejemplos de las mejoras específicas que se incluirán en el plan son: la implementación de caminatas Gemba. Estas servirán para que los miembros del equipo que trabajará en este proyecto se familiaricen con los procesos y el entorno, pudiendo así, resolver el problema tratado con mayor eficacia y entregar mejores resultados. También se contempla el desarrollo de un flujo continuo que opere en base al takt time, establecer un sistema de control de producción de jalón, practicar eventos Kaizen para eliminar continuamente el desperdicio, entre otros. Tener un flujo continuo con desperdicios mínimos significa que la producción sea consistente y predecible, lo más cercana

posible al takt time, para lo cual se estandarizarán las operaciones o elementos de trabajo.

El plan de trabajo será desarrollado e implementado por un equipo multidisciplinario a través de eventos Kaizen, donde se implementará un rediseño del de trabajo mediante las herramientas de caminatas Gemba y 3P con el fin de eliminar desperdicios. El equipo estará conformado por puestos de varios niveles en el organigrama, implicando a operadores, técnicos, maquinistas, supervisores, inspectores, ingenieros y a la gerencia; se desarrollarán actividades en un marco de tiempo de tres a cinco días, enfocándose al diseño e implementación de mejoras aplicadas a un proceso o área de trabajo.

Se informará a los miembros del equipo sobre la necesidad de reducir los elementos y actividades que no añaden valor, y se les concientizará de la importancia comprometerse en la realización de cada evento Kaizen organizado para lograr las mejoras deseada. Cada miembro deberá ofrecer un considerable esfuerzo en estas actividades, pues las ideas que aporten serán parte crucial de los cambios implementados. Se procurará que los cambios introducidos tengan un efecto significativo y sea posible implementarlos en un lapso de pocos días, dando prioridad a las alternativas simples y sostenibles por encima de las sofisticadas y costosas.

3.5 Evaluación de los resultados

Los ingenieros y la gerencia deberán mantenerse atentos al flujo general de los materiales e información, así también, se encargarán de desarrollar una visión mejorada y más esbelta del flujo futuro, así también, de liderar su implementación. Aun cuando los operadores pueden dar ideas valiosas para la disminución de los desperdicios, solo la gerencia y el área de ingeniería tiene la perspectiva del flujo total del área, por esta razón a ellos les corresponderá evaluar el grado de mejora que resultó de implementar las mejoras propuestas, al comparar los objetivos del plan de acción con los resultados obtenidos.

4. IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se presentan los métodos y medidas que fueron necesarios para realizar el mapeo de la cadena de valor con el fin de proponer e implementar un MHS mejorado, de acuerdo a lo establecido en la sección anterior. Se mostrará cómo la estructura previamente propuesta fue adaptada a las circunstancias que fueron surgiendo mientras la misma se fue aplicando gradualmente en la realidad, el marco de tiempo de la implementación abarca desde mediados del año 2016 hasta principios del 2017.

4.1 Seleccionar la familia de productos

La gama de productos específica con la que se trabajó en el presente proyecto fue asignada por el ingeniero a cargo debido a razones estratégicas, entre ellas, que se trataba de una de las pocas familias que no contaba con un proyecto de mejora encaminado, lo cual dio posibilidad de que las soluciones propuestas tengan un mayor alcance. La información para seleccionar a la familia de productos fue recopilada de varias fuentes, primero se observó la demanda del cliente y el coeficiente de variación de la demanda mensual por un periodo de 6 meses, adquirida de registros de la empresa.

Durante un período de aproximadamente 5 meses se realizaron actividades para conocer a fondo el entorno de trabajo, sus diferentes estaciones, los procesos, productos fabricados y sus respectivos componentes, tiempos de ciclo, de transportes, esperas, cambios de herramental necesarios, y en general, los aspectos de la cadena de valor de la gama de productos con la que se trabajó, la cual lleva por nombre L-190.

Se analizaron a fondo los procesos por los que pasa cada uno de los productos, lo cual permitió conocer cuáles de ellos comparten operaciones similares y así, formar una familia de productos que resulte conveniente. La matriz de proceso-producto resultante del análisis se muestra en la tabla 4.1, donde los renglones más oscuros son los productos que, según la metodología, deben seleccionarse como parte de la

familia; así también, para poder analizar el proceso con una mayor profundidad, se incluye enseguida la información de la demanda promedio mensual, el porcentaje que dicha demanda representa respecto al total y el coeficiente de variación (calculado como desviación estándar de la demanda entre el promedio de la demanda mensual).

No. Parte	Procesos									Demanda Promedio 6 meses	% Dem. Prom.	COV (coef. de variac.)
	Ensamble	Prensa 1	Prensa 2	Prensa 3	Prensa 4	Prensa 5	Prensa 6	Etiqueta 1	Etiqueta 2			
1926303-1		x						x	x	8701.3	65.50%	0.82
6766496-1	x		x	x				x		1701.3	12.81%	1.11
2085462-1	x		x	x				x		866.7	6.52%	1.61
6651993-1	x		x	x	x			x		756.0	5.69%	1.27
6651994-1	x		x	x				x		168.0	5.34%	2.14
6766640-1	x		x	x		x	x	x		709.3	1.26%	0.62
6651777-1	x		x	x				x		88.0	0.66%	2.45
6646348-1	x		x	x				x		42.7	0.32%	2.45
6646495-1	x		x	x	x			x		29.3	0.22%	1.17
1926075-1	x		x	x				x		21.3	0.16%	2.45
6646272-1	x		x	x	x			x		21.3	0.16%	2.45
6646611-1	x		x	x	x			x		21.3	0.16%	2.45
6646884-1	x		x	x		x	x	x		21.3	0.16%	2.45
6766041-1	x		x	x	x			x		21.3	0.16%	2.45
6646415-1	x		x	x		x	x	x		20.0	0.15%	2.45
6646979-1	x		x	x	x		x	x		18.7	0.14%	2.45
6646403-1	x		x	x		x	x	x		16.8	0.13%	2.31
6646491-1	x		x	x			x	x		15.0	0.11%	2.45
6646574-1	x		x	x		x	x	x		13.3	0.10%	2.45
1926428-1	x		x	x	x			x		10.7	0.08%	2.45
6766638-1	x		x	x		x	x	x		9.3	0.07%	2.45
6646508-1	x		x	x		x	x	x		5.3	0.04%	2.45
6766051-1	x		x	x		x	x	x		5.3	0.04%	2.45

Tabla 4.1. Matriz proceso-producto para seleccionar la familia de productos de la gama L-190 (izquierda) y análisis de demanda cada uno de estos productos L-190 (derecha)

En este punto, si se observa de acuerdo al listado, los artículos a producir que se muestran sombreados representan el 98% de la demanda promedio, y salvo la prensa 1, tienen una secuencia de elaboración similar, lo que permite agruparlos dentro de una misma familia. Los pasos para la fabricación, es decir los elementos de trabajo se listan en la tabla 4.2, donde la medición de los tiempos se tomó con base a la propuesta de Rother y Harris (2001), ya que este es el método de toma de tiempos aprobado en la empresa donde se realiza el proyecto. En la misma tabla se especifica la cantidad de operadoras que típicamente se asigna a cada operación para la producción de una orden en el estado actual.

Usualmente, no todas las operadoras se encuentran trabajando al mismo tiempo en la línea, sino que, se colocan una o dos personas en cada estación y acumulan el inventario en proceso en charolas para que luego continúe su proceso aguas abajo en un sistema de producción de empuje. El número de operadoras asignadas por operación también depende de la cantidad de mano de obra disponible de acuerdo a la cantidad de productos demandada en un momento dado y del criterio de la jefa de línea, es decir que no se cuenta con un estándar de producción en el área E1; sin embargo, por registros históricos de la empresa, se conoce que la producción promedio actual es de 43 piezas/operadora cada hora.

1	Elemento de trabajo	Tiempo (s)										Operador	MAQ	Núm. Operadora
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	Tomar cubierta e insertar 2 coronas	5.23	5.82	5.70	4.12	5.79	6.27	6.46	5.31	5.94	6.38	4.12		1
2	Insertar 2 coronas en cubierta	4.96	6.05	5.10	5.33	3.48	6.37	5.22	4.65	5.49	6.26	3.48		1
3	Poner cubierta en riel de prensa y prensar	4.64	5.04	4.27	4.63	3.96	5.40	5.28	4.21	4.84	5.35	4.21		1
4	tomar cubierta y etiqueta blanca y colocarla	3.07	3.17	4.62	3.54	3.71	4.28	3.85	5.02	4.57	5.93	3.07		2
5	tomar etiqueta amarilla y colocarla, acomodar en charola	8.44	11.89	11.53	9.38	10.79	10.42	8.32	8.03	9.84	10.19	8.03		2
6	Empaque en partición	2.59	2.16	2.00	3.03	2.42	2.00	2.82	2.45	2.87	2.70	2.00		1

Contenido de trabajo total = **24.91 s** 8

Tabla 4.2. Pasos para fabricar los conectores del departamento E1 y operadoras por estación

En la figura 4.1 se observa el diagrama de recorrido, el cual muestra de manera gráfica el camino que sigue cada producto de la familia bajo análisis durante su proceso de fabricación en el área de manufactura del departamento E1, hasta antes de ser transportados al área de embarque para su posterior envío al cliente. Este diagrama se conforma por tres flechas, la primera indica el proceso de ensamble y el envío del producto en proceso al área de inspección, la siguiente flecha representa el transporte desde inspección al área de empaque, y la última corresponde al envío del material terminado a las tarimas correspondientes, donde un encargado del almacén lo recoge.

El diagrama de recorrido comienza por el posicionamiento y ensamble de coronas dentro de la cubierta, cuya operación es realizada por la operadora, luego se ensamblan dos piezas a la vez con ayuda de una prensa neumática que es activada mediante sensores infrarrojos y se encuentra en la misma área de producción,

después se le coloca la etiqueta de color blanco para identificar el producto, luego la de color amarillo que, de acuerdo a requerimientos del cliente, contiene especificaciones de seguridad sobre el manejo de los productos.

Las piezas ensambladas se van acomodando en charolas con el fin de acumularlas antes de enviarlas al área de inspección, después de que pasan satisfactoriamente el control de calidad, las charolas se regresan a la línea de producción y son empacadas. Finalmente, el producto se envía nuevamente a unos estantes localizados enseguida del área de inspección, donde es recogido por encargados de almacén y llevado al área de embarque. Los recorridos totales suman una distancia de 52.5 metros y el material transportado tiene un peso de 4.6 kg si se lleva en charolas y 4.9 kg cuando va en su empaque final. Para recorrer las distancias entre los puntos anteriormente mencionados se emplea un tiempo aproximado de 43 segundos.

El diagrama ilustrado en la figura 4.2 incluye la cantidad de operadoras/máquinas y el tiempo empleado en cada parte del proceso, el tiempo de cambio de herramienta, el inventario acumulado entre estaciones, los clientes y proveedores más comunes y los medios por los que se entregan y reciben tanto productos como materia prima. También se incluyen los flujos de información intercambiada entre las partes interesadas, y otros datos útiles como el takt time y la demanda promedio.

Para la creación del mapa se han utilizado diferentes tipos de flechas, designando la flecha delgada e irregular para los flujos de información, la gruesa y hueca para el transporte físico de material dentro y fuera de la empresa XYZ, y finalmente la flecha a rayas, que indica el movimiento físico de material dentro de las instalaciones de la empresa, mediante el sistema de producción de empuje.

En la parte inferior del VSM se aprecia cómo fluyen los materiales a través de las instalaciones de la empresa XYZ conforme pasa el tiempo, representado por una línea irregular que sube y baja, para diferenciar las actividades que, desde la perspectiva del cliente, añaden valor (nivel inferior de la línea) y los que no (nivel superior). Las actividades que no añaden valor, se dividen en necesarias (como el cambio de herramienta o algunos transportes) y las no necesarias, es decir, las que son desperdicio; el objetivo que se persigue a este respecto es reducir las actividades necesarias que no añaden valor, y eliminar por completo el desperdicio.

Al analizar el mapa de la cadena de valor en su estado actual se encontraron algunas áreas de oportunidad que podían ser aprovechadas para cumplir con los objetivos de la investigación, las acciones recomendadas fueron: crear un sistema de Kanban para reponer de los materiales más relevantes de la familia de productos y así nivelar la producción y controlar los inventarios de materia prima y de artículos terminados. También se recomendó introducir un nuevo sistema de cambio rápido de herramienta en la estación donde se utilizaba una prensa semiautomática, pues, como se observa en la figura 4.1, los recorridos para cambiar de equipo son considerablemente largos.

En la propuesta de mejora final se contempló la estandarización de las operaciones, lo cual favorecerá un correcto balanceo de las actividades, según tiempos previamente definidos para la familia de productos seleccionada. Para llevar a cabo esta mejora será importante contar con la colaboración de las operadoras, ya que esto contribuirá a una mejor estimación del desempeño del sistema productivo en el estado futuro.

4.3 Mapeo de la cadena de valor futuro

La parte central de la creación de este mapa radica en el análisis de la situación actual, es decir, comprender la información contenida en el VSM correspondiente al estado original del sistema para que, en base a ello, se puedan proponer las mejoras que agilicen efectivamente el flujo de materiales e información de la cadena de valor perteneciente a la familia de productos L-190. El análisis se realizó de forma conjunta entre los ingenieros, pero fue conducido por una sola persona, es decir que un solo individuo estuvo a cargo de la elaboración de los mapas y de gestionar las reuniones para compartir ideas respecto a las posibles mejoras; esto, con base en la metodología tradicional para implementar la herramienta, según Rother y Shook (1999).

El VSM futuro resultante se aprecia en la figura 4.3, en él se observa cómo una de las mejoras más notorias que se podrían lograr es la disminución en el tiempo para surtir una orden de 416 piezas, la cual es capaz de reducirse de 93.90 hr a 40.87 hr logrando una reducción del 56.47%. Las propuestas de mejora se observan en el VSM futuro a través de las llamadas “explosiones Kaizen”, algunas de las mejoras elegidas son el

establecimiento de un sistema de producción por celda, así como el sistema Kanban, que incluye una producción controlada basada en supermercados para fabricar en base a los requerimientos del cliente.

Una de las implicaciones que surgen cuando se desea establecer un ritmo de producción eficaz, es que los recursos necesarios se deben encontrar disponibles para producir siempre que se requieran, es decir contar con equipos y procesos confiables. Para lograr esto, se aplicará la herramienta de cambio rápido de herramental. Se espera que mediante su aplicación se disminuyan desperdicios de esperas y transporte existentes antes de fabricar un producto que precise el uso de herramental distinto.

Finalmente, el establecimiento de tiempos estándares de producción, será una herramienta valiosa al estimar los tiempos necesarios para surtir un pedido en el tiempo justo y ajustar la configuración del sistema de producción de acuerdo a esto. Resultará muy beneficioso que esta, como las demás acciones de mejora sean simuladas previamente a su implantación, pues así se podrá contar con resultados preliminares que servirán como un medio para garantizar, en la medida de lo posible, una mejora satisfactoria en el flujo de materiales y en la productividad.

4.4 Planeación de mejoras a la cadena de valor

Con el fin de alcanzar el estado futuro del VSM, se aplicaron herramientas de manufactura esbelta que han comprobado ser efectivas en numerosos casos tratados en la literatura. Cada una de las actividades realizadas contribuyó para determinar el plan de acción final, que consiste en la propuesta de un rediseño del sistema de producción, contemplando el flujo de materiales en la cadena de valor de la familia de productos L-190.

Las propuestas del proyecto surgieron de un mismo equipo (figura 4.4), el cual se conformó por miembros que ocupan distintos cargos dentro de la empresa, con diferencias tanto en la jerarquía como en las funciones desempeñadas. Se seleccionaron operadoras, una jefa de línea, ingenieros de procesos, producción manufactura y calidad, además de un investigador externo y se contó con el apoyo de mecánicos, becarios, un electrónico y dos ingenieros del área de mejora continua.

La integración de un equipo interdisciplinario formó parte de la metodología de eventos Kaizen, con el fin de brindar varias perspectivas sobre una misma situación y unir las capacidades de los diferentes miembros para obtener una solución más práctica y efectiva. Se observó que las personas participaban en mayor o menor medida de acuerdo a sus conocimientos acerca de los aspectos examinados durante cada una de las actividades. Las herramientas aplicadas listan a continuación:

- 1 Evento Kaizen: Caminatas Gemba y 3P
- 2 Evento Kaizen: Cambio rápido de herramental
- 3 Establecimiento de un sistema Kanban



Figura 4.4. Equipo del proyecto de investigación

4.4.1 Evento Kaizen: Caminatas Gemba y 3P

Esta actividad comenzó con la reunión de los miembros del equipo, durante la cual se planteó como objetivo principal el aumento del flujo de materiales e información en el departamento E1, específicamente de la familia de productos L-190. Se conocía de antemano que, un incremento en el flujo, conllevaría a un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles como espacio y tiempo, mejorando así la productividad del área.

Se llevó a cabo una plática introductoria con el fin de dar un panorama general de la situación actual de la familia de productos. Algunas de las referencias que se proporcionaron a los miembros del equipo fueron los diagramas VSM, los cuales fueron valiosos para explicar todo el recorrido de una pieza a través de la cadena de valor, y para dar una visión real de algunos de los desperdicios existentes y los lugares donde estos se acumulan en mayor medida. Otra de las referencias que se ofreció sobre la situación actual en que se encuentra el área, fue una tabla que contenía los indicadores claves de desempeño más significativos, los cuales se aprecian en la tabla 4.3, así como un diagrama (figura 4.5) donde se observa el tiempo requerido para realizar cada elemento de trabajo y el takt time, calculado como tiempo diario

disponible para producir entre la demanda diaria: $((3600s*9)/532 \text{ piezas} = 60.9s/\text{pieza}$ producida).

	Actual
Espacio (pies cuadrados)	240
Número de operadoras	7
Productividad (piezas/hombre/hr)	43
Trabajo en proceso (piezas)	952
Tiempo para surtir una orden (hr)	93.90

Tabla 4.3. Indicadores claves de desempeño del área en su estado inicial

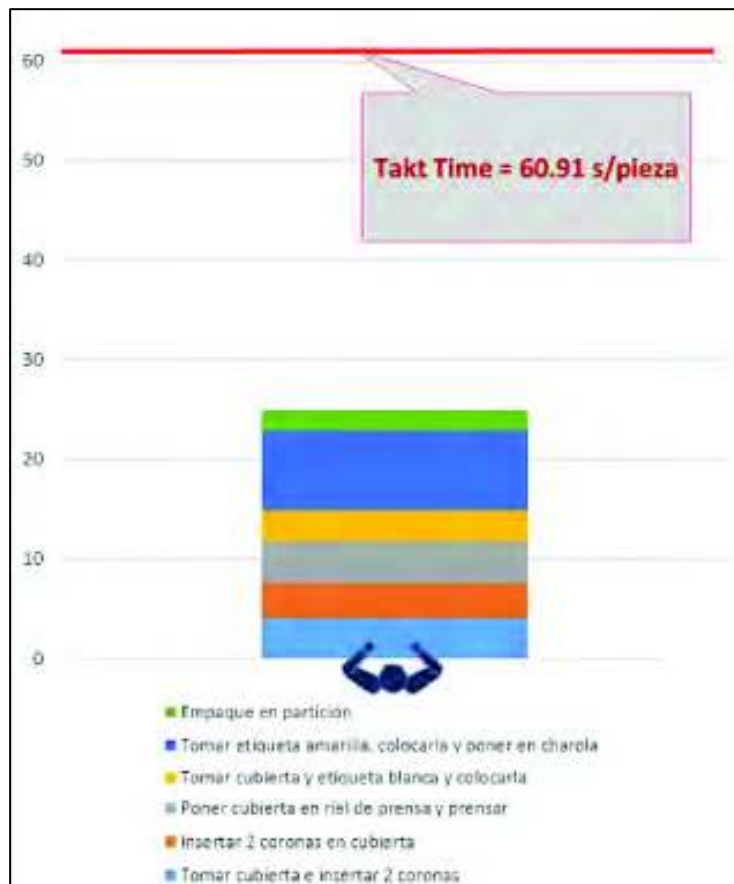


Figura 4.5. Elementos de trabajo y takt time

Para la recolección de información se recurrió a distintas fuentes, entre ellas se encuentra un sistema de software global para la planificación de los recursos empresariales, mismo que es utilizado por todos los departamentos de la empresa. Asimismo, se obtuvo otra información directamente en el área de producción, ya sea preguntando a los empleados o mediante observación, y también verificando documentación existente en la compañía.

Seguido de la plática inicial, se llevaron a cabo las caminatas Gemba, es decir rondas realizadas por grupos de dos o tres personas que van al área bajo análisis y sus alrededores, con el fin de observar las condiciones bajo las cuales se opera y extraer información sobre las áreas de oportunidad existentes que lleve para mejorar la forma en que fluyen la información y los materiales. Los datos se recolectaron mediante toma de notas y fotografías.

En la figura 4.6 se observan algunas de las posibles áreas de mejora identificadas por los miembros del equipo durante las caminatas. La mayoría de las situaciones encontradas se refería a la acumulación de inventario entre las estaciones (recuadros 1, 2, 4, 5 y 6), pero también se mencionaron otras necesidades como la de implementar medidas para responder más rápido a cambios en la producción (cambios de herramental), y la de rediseñar la prensa neumática; el sensor de ésta no era confiable, pues pequeñas variaciones en el acomodo de las piezas podían ocasionar que el sensor no detecte el sub-ensamble y la prensa no sea accionada. Además, debido al diseño de la herramienta, el sub-ensamble debía ser introducido en lotes de dos piezas, o en caso de hacerlo en flujo de una pieza, se necesitaba otro dispositivo que ayude a su introducción en la máquina, ya que las guardas de seguridad dificultan la introducción de las piezas (recuadro 3).

Luego de que el objetivo se estableció claramente y todos los integrantes tenían una idea más detallada y amplia de la situación en que se encontraba operando el área, se condujo una segunda reunión con el fin de aplicar la herramienta 3P. Lo primero que se debía hacer era generar sugerencias al problema de desperdicios. Se inició por compartir las impresiones sobre el sistema productivo actual y áreas de mejora

detectadas. Entre las oportunidades de mejora mencionadas estaban la disminución de distancias recorridas y de inventarios, tanto de materia prima como de trabajo en proceso; también el aumento del orden en el área de trabajo, establecimiento de tiempo estándar para las operaciones, mejorar el equipo de producción utilizado y un rediseño del área que favoreciera el flujo de los materiales a lo largo de la cadena de valor.



Figura 4.6. Áreas de mejora identificadas durante las caminatas Gemba

Se le pidió a cada miembro que plasmará sus ideas para mejorar el flujo de materiales utilizando lápiz y papel, dando preferencia a aquellos aportes que no significaran grandes cambios en la tecnología, sino que, por el contrario, permitieran trabajar con los recursos disponibles en la empresa (figura 4.7); luego, cada uno expuso su idea y una justificación de las modificaciones propuestas. Simultáneamente, surgían comentarios por parte de los otros integrantes, ya sea para reconocer o complementar las ideas (figura 4.8). Los diseños generados se muestran en la figura 4.9. Una vez

concluida esta etapa, se seleccionaron las ideas que habían tenido mayor aceptación en consenso y se designó a una persona para que, con la guía de los demás miembros del equipo dibujara el diseño final del área de producción para la familia L-190.



Figura 4.7. Diseños individuales de mejoras al sistema de producción actual



Figura 4.8. Compartición de ideas sobre las propuestas de rediseño

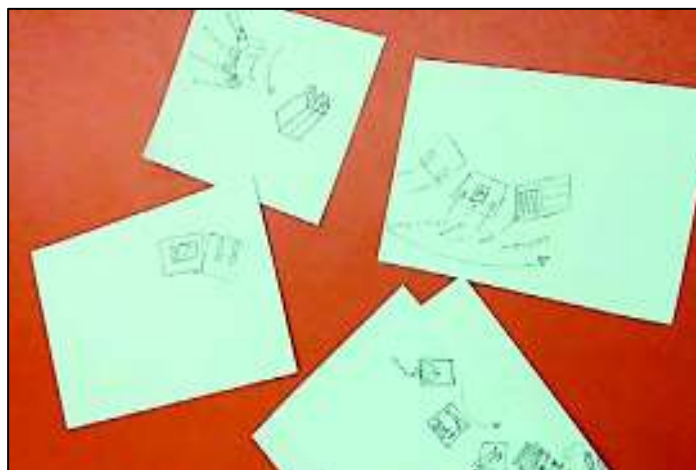


Figura 4.9. Propuestas de rediseño realizadas por los integrantes del proyecto

El siguiente paso fue elaborar físicamente el sistema de producción que se había diseñado previamente en papel. En esta actividad varios integrantes colaboraron en la construcción del modelo 3P, para lo cual se utilizaron recursos tomados de contenedores de la empresa que estaban a nuestra disposición y ya no se requerirían posteriormente; se emplearon cajas y tubos de cartón y cinta adhesiva, entre otros materiales.

El diseño de la transformación incluyó la reconfiguración física de las estaciones. En el estado original se producía en una línea tradicional con un sistema de empuje y acumulación de inventarios entre estaciones que trabajaban de forma independiente. Bajo esta configuración se empleaban por lo regular siete operadoras, mientras que la propuesta consistió en una celda de manufactura que funciona bajo el sistema de producción de jalón, capaz de mantener un flujo continuo entre las estaciones y requiere una sola operadora dentro de la celda, mientras que sería necesario asignar a otra persona que provea el material necesario para producir (figura 4.10).



Figura 4.10. Prototipo final según la metodología 3P

Una vez finalizado el modelo, fue revisado por los integrantes del equipo para comprobar que sea posible operar con los niveles de servicio preestablecidos, tomando en cuenta los tiempos estimados, el flujo continuo, así como las condiciones ergonómicas que favorezcan un buen desempeño y la seguridad de los operadores. Se verificó que las operadoras se sintieran cómodas en cuanto a las distancias, alturas y demandas físicas y cognitivas de las actividades (figura 4.11) y en base a esto se realizaron los ajustes necesarios (figura 4.12).



Figura 4.11. Revisión colectiva del modelo 3P creado



Figura 4.12. Simulación de operación del sistema productivo para la familia L-190

La figura 4.13 muestra a detalle las estaciones que conformarán la nueva celda de manufactura. Esta constará de estaciones para introducir componentes, prensarlos, etiquetarlos y empacarlos, siendo posible utilizar hasta 3 prensas diferentes durante la producción de una orden dada. La línea punteada representa la dirección del flujo del material, que va de derecha a izquierda. Cabe mencionar que el número de parte que tiene mayor demanda, solo requiere una prensa, por lo cual la celda parte de este diseño y su tamaño se podrá ampliar de acuerdo al número de prensas que se requieran para manufacturar otros productos. La prensa que va en la estación 2 se mantendrá en su sitio de forma fija, y se deslizará hacia el lado trasero de la celda cuando se requiera utilizar una prensa diferente para dar el espacio necesario.

Una de las observaciones que surgió al construir la celda bajo el enfoque de 3P y teniendo en consideración la información sobre la demanda, fue que el takt time es muy holgado (aproximadamente el doble del tiempo de ciclo obtenido), por lo que la celda de manufactura se encontraría desocupada una proporción considerable del tiempo disponible del turno de trabajo. Esto permite, por un lado, que la celda tenga capacidad disponible para producir en caso de que la demanda aumente, y, por otro lado, la mano de obra estará disponible para trabajar en otras áreas la mitad de la jornada laboral si la demanda se mantiene como hasta ahora.

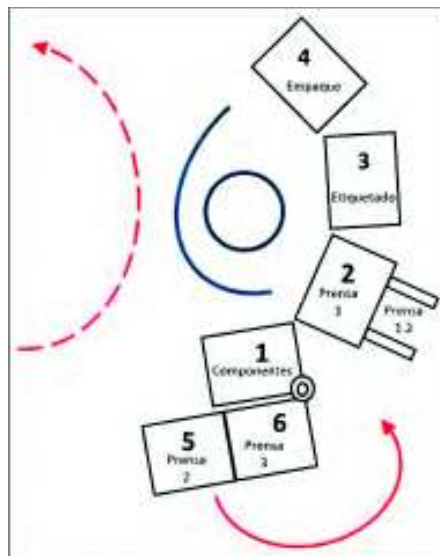


Figura 4.13. Diseño final de la celda de manufactura

4.4.2 Evento Kaizen: Cambio rápido de herramental

Durante el análisis inicial de la familia de productos bajo estudio, y al realizar las caminatas Gemba, se detectó que el tiempo que toma la preparación de la prensa para adaptarla al nuevo producto a fabricar era excesivamente largo. Con el objetivo de disminuir o eliminar los tiempos innecesarios de este proceso, se decidió aplicar la herramienta de cambio rápido de herramental. Primeramente, se analizaron las actividades realizadas en el cambio de herramental, para esto se creó un diagrama de recorrido (figura 4.14) con el camino que se sigue para llevar a cabo el proceso de preparación y cambio de la prensa al producir un nuevo número de parte en el área E1 de la familia L-190.

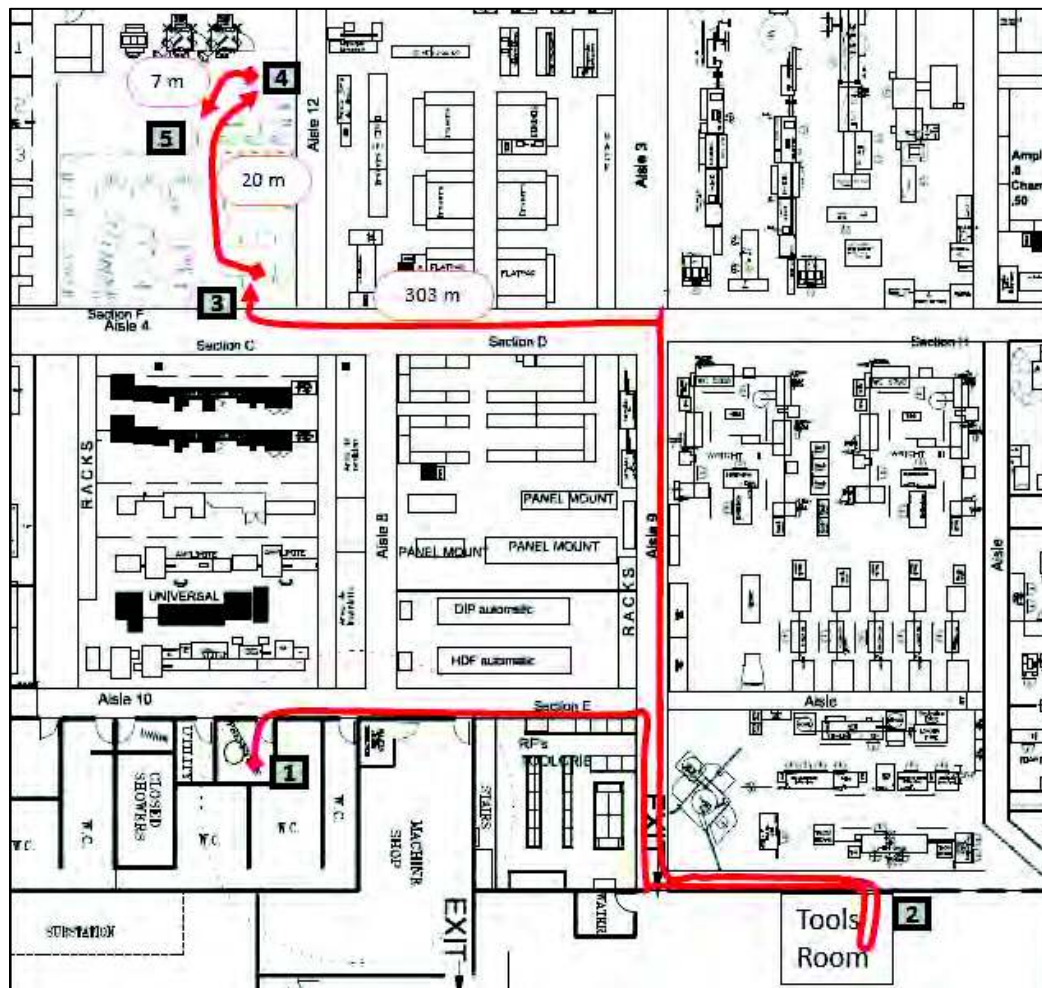


Figura 4.14. Diagrama de recorrido: pasos necesarios para la preparación y cambio de herramental

El recorrido (figura 4.14) se muestra dividido en las actividades realizadas, el primero (del punto 1 al 2) corresponde al transporte de la prensa a utilizar. Primero, se notifica al mecánico, mediante radio, que se va a correr una orden de cierto producto y él va por un carro especial para transportar las herramientas pesadas (punto 1) y luego se traslada al cuarto donde se encuentran las prensas (punto 2), después lleva la prensa a la estación de trabajo (punto 3). Los puntos 4 y 5 corresponden a la medición de piezas y registro de las mediciones, respectivamente.

No.	Descripción	Tiempo	Clasificación
1	Decidir qué orden se va a trabajar	0:03:30	Preparación
2	Acarrear los componentes	0:05:08	Transporte
3	Acarrear herramientas necesarias	0:05:10	Transporte
4	Cambiar prensa	0:00:50	Set up
5	Hacer una pieza	0:02:55	Set up
6	Hacer 5 primeras piezas	0:05:57	Set up
7	Medir las piezas	0:02:12	Set up
8	Conseguir formatos/papelería	0:02:58	Preparación
9	Registrar mediciones de las 5 piezas (pines, medidor de altura, vernier)	0:03:10	Set up
Total		0:31:50	

Tabla 4.4. *Tiempos de preparación y cambio de herramental*

En la tabla 4.4 se lista cada una de las actividades realizadas durante la preparación y cambio de herramental cada vez que un producto nuevo se va a fabricar; el tiempo comprendido abarca desde que la última pieza aceptable de la orden anterior se fabrica hasta que la primera pieza aceptable de la nueva orden es producida. Este cambio de herramental consiste en 9 actividades, donde la forma actual en que se lleva a cabo requiere un tiempo aproximado de 32 minutos y las actividades se pueden dividir en internas y externas. Dentro de las externas se encuentran la preparación y

el transporte, mientras que las internas se definieron como “set up” en la tabla; cabe mencionar que la preparación incluye las actividades necesarias para el manejo administrativo de la orden, mientras que el set up se refiere a las actividades relacionadas directamente con los ajustes físicos a la nueva herramienta a utilizar.

Una vez teniendo la información detallada, los miembros del equipo comenzaron con portaron ideas y sugerencias sobre posibles alternativas para cambiar el herramental de una manera más ágil, y así, reducir desperdicios por esperas innecesarias, además de aprovechar el talento humano tanto como sea posible. Esta metodología ayudó a encontrar una nueva forma de realizar las actividades de preparación y de transporte, donde se buscó convertirlas de externas a internas cuando fuera posible, y así evitar que se perjudique la producción de la celda.

		Actual	Propuesto: Cambio rápido de herramental		
No.	Descripción	Tiempo	Clasificación	Tiempo	Acciones
1	Decidir en qué orden se va a trabajar	00:03:30	Preparación	00:00:00	Mostrar visualmente la secuencia de las órdenes de producción. Convertirlo a operación externa.
2	Acarrear los componentes	00:05:08	Transporte	00:00:00	Una operadora externa asignada surtirá componentes como una operación externa.
3	Acarrear herramientas necesarias	00:05:10	Transporte	00:00:00	Uso de un carro con la herramienta necesaria
4	Cambiar prensa	00:00:50	Set up	00:00:30	Rediseño de la línea
5	Hacer una pieza	00:02:55	Set up	00:00:28	
6	Hacer 5 primeras piezas	00:05:57	Set up	00:02:23	
7	Medir las piezas	00:02:12	Set up	00:00:00	Re-asignar la operación a inspectora de línea. Convertirlo a operación externa.
8	Conseguir formatos/papelería	00:02:58	Preparación	00:00:00	Re-asignar la operación a inspectora de línea. Convertirlo a operación externa.
9	Registrar mediciones de 5 piezas	00:03:10	Set up	00:00:00	Re-asignar la operación a inspectora de línea. Convertirlo a operación externa.
		00:31:50		00:03:21	

Tabla 4.5. Comparación de los tiempos de cambio de herramental en el estado actual y el propuesto

Las actividades se iban revisando y discutiendo las posibles mejoras; una vez concluido el análisis correspondiente se seleccionaron las ideas que se consideraron más convenientes. La comparación de los tiempos de cambio requeridos en los estados original y futuro se observa en la tabla 4.5. En la figura 4.15 se aprecia de forma gráfica la disminución lograda al convertir las actividades de transporte y preparación de internas a externas, logrando una reducción de 90% en el tiempo empleado.

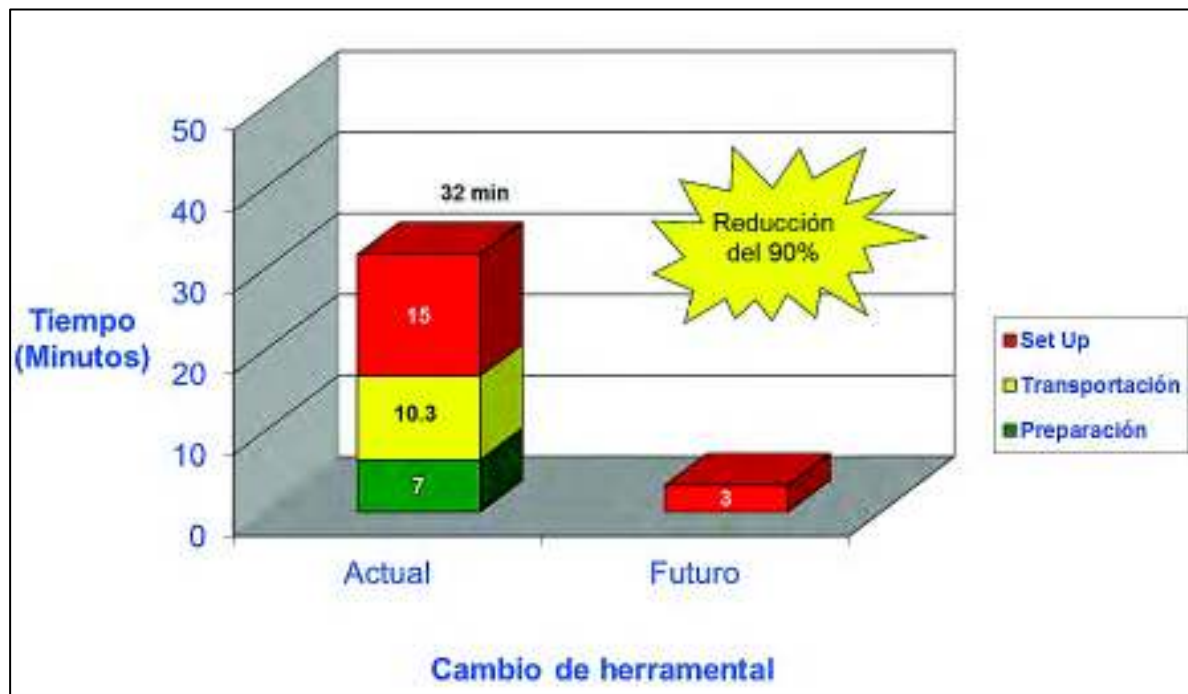


Figura 4.15. Comparación gráfica de los tiempos de cambio de herramental

Adicionalmente a las acciones mostradas en la tabla 4.5, se aprobaron otras mejoras orientadas a disminuir tiempos por esperas innecesarias y transportes. Entre estas acciones se encuentra la re-ubicación de las prensas utilizadas; se pasarían de su localización actual a un lugar asignado dentro de la celda de manufactura para que ya no sea necesario realizar el recorrido del punto 1 al 3 observado en la figura 4.14, lo cual ahorraría el transporte manual de 303 metros que regularmente se realiza bajo la forma de operar actual. Otra de las acciones que se contempló fue el rediseño físico de la prensa, ya que actualmente, si se desea producir con flujo de una pieza se

requieren hacer movimientos adicionales y uso de más equipo de trabajo, debido a que las guardas de seguridad obstruyen el paso de la pieza a la prensa.

Una vez tomando en cuenta las mejoras de la tabla 4.5 propuestas por parte de equipo conformado en el evento Kaizen, los tiempos internos de preparación de la prensa serían estandarizados como se muestra en la tabla 4.6

No.	Descripción	Tiempo	Clasificación
1	Cambiar prensa	0:00:30	Set up
2	Hacer una pieza	0:00:28	Set up
3	Hacer 5 primeras piezas	0:02:23	Set up
Total		0:03:21	

Tabla 4.6. Nuevos tiempos internos de preparación y cambio de herramental

4.4.3 Establecimiento de un sistema Kanban

Con el fin de evitar la acumulación de material entre una estación y otra, se consideró conveniente el establecimiento de un sistema Kanban asignado a la celda de manufactura. Esto también permitirá estimar las cantidades de materia prima que se utilizarán a lo largo de la jornada laboral para producir una determinada orden con flujo de una pieza, favoreciendo la disminución de desperdicios.

Para la creación de este sistema se utilizó el método de Harris et al. (2011), el cual incluye un punto de uso, es decir un pequeño almacén de componentes en un área muy cercana a la celda de manufactura para tener mayor accesibilidad a los requerimientos de producción. Se comenzó por listar los números de parte requeridos por los productos que conforman la familia L-190, incluyendo las cantidades y la demanda por hora.

Se consideró para cada contenedor una cantidad igual a tres veces la demanda por hora, como una medida de prevención a la escasez de componentes (ver tabla 4.7), lo cual permitiría que la celda pueda continuar produciendo hasta por dos horas sin

interrupciones en caso de que la entrega de material se demore. A estas cantidades se le añadió un factor de seguridad del 15%, como medida de prevención adicional, en caso de que la celda se adelante un poco más al ritmo de producción establecido.

La información relacionada al sistema de Kanban se observa en la tabla 4.8, y se muestra gráficamente en la figura 4.16. Este sistema contempla que una operadora externa se encargue de surtir los componentes cada media hora en la ruta interna de reposición de materiales, mientras que el punto de uso correspondiente a la ruta externa de entrega se surta cada hora con apoyo de un almacenista designado para esta actividad. La señal de Kanban para el punto de uso serán los contenedores vacíos de cada componente, los cuales estarán etiquetados con la información que permita identificarlos.

Material en ruta, correspondiente al punto de uso	1 hr de inventario
Material siendo procesado por la operadora	1 hr de inventario
Material asignado en señales de sistema de jalón para ser repuesto	1 hr de inventario

Tabla 4.7. Cantidad de inventario en punto de uso (Harris et al., 2011)

Implementación

Compo_nente	Tiem_po de ciclo (Seg/pz)	Cantidad /product o final	Deman_da (pz/hr)	piezas por contenedor = 3* (Demanda)	Factor de seguridad	Inventari o total de comp. = (pz/cont. + fact. seg.)	Inventari o total de comp. (redon_deo)	Cant. en el contenedor de la ruta de entrega interna (c/30 min)	Factor de segu_ridad	Cant. de ruta interna (c/30 min) * inventario de seguridad	Cant. de ruta interna (redond.)
D87475	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
F71606	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
1926350	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
1766122	24.91	4	578	1734	15%	1994	2,000	289	10%	318	320
1926357	24.91	4	578	1734	15%	1994	2,000	289	10%	318	320
1766105	24.91	6	867	2601	15%	2992	3,000	434	10%	477	480
1766131	24.91	6	867	2601	15%	2992	3,000	434	10%	477	480
1926426	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
1651055	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
1648799	24.91	3	434	1301	15%	1496	1,500	217	10%	238	240
1648758	24.91	3	434	1301	15%	1496	1,500	217	10%	238	240
1651056	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
1766107	24.91	2	289	867	15%	997	1,000	145	10%	159	160
1766100	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80
1650299	24.91	2	289	867	15%	997	1,000	145	10%	159	160
1650291	24.91	1	145	434	15%	499	500	72	10%	79	80

Tabla 4.8. Información para implementar el sistema Kanban de la familia de productos L-190

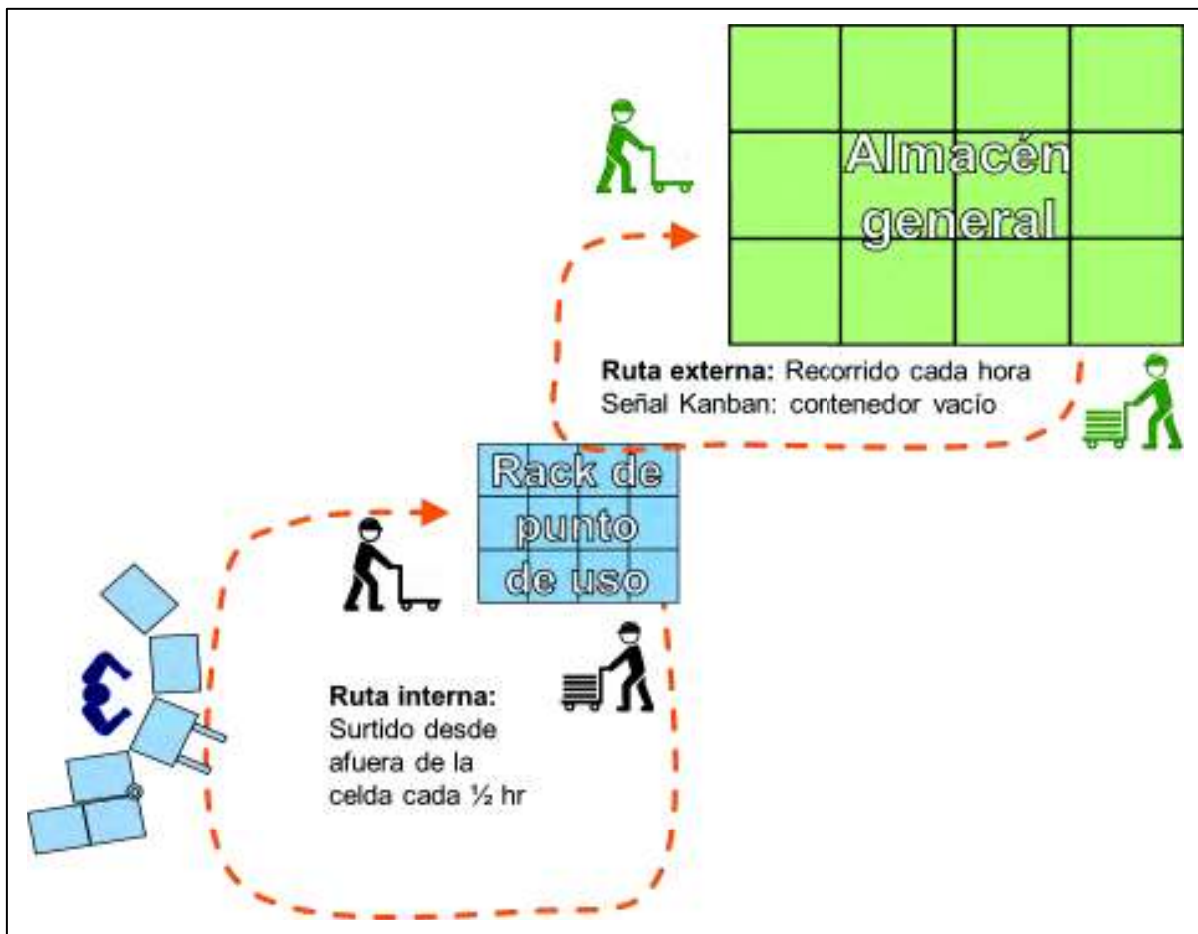


Figura 4.16. Operación del sistema Kanban para la familia de productos L-190

4.4.4 Implementación de las mejoras a la cadena de valor

Una vez que el plan para mejorar las condiciones en las que opera el sistema productivo de la familia de productos L-190 del departamento E1 se concluyó por parte del equipo de trabajo, fue presentado a la gerencia. Para la validación del plan trazado a nivel directivo, se llevó a cabo una presentación donde se detalló cada acción propuesta con sus respectivos responsables, es decir, las personas encargadas de liderar dichas acciones, así también se listaron los recursos requeridos y beneficios esperados al concluir el proyecto.

Posteriormente, durante de esta etapa se construyó la celda en su versión final, adaptada para extenderse y así fabricar diferentes productos de la familia L-190

(figuras 4.17 y 4.18) y se le dio una localización especial donde se realizaron las pruebas preliminares con el fin de evaluar su eficiencia operacional. En dichas pruebas se utilizaron las materias primas, herramientas y otros recursos necesarios que se utilizarían en la producción regular, mismas que fueron trasladados a esta área, acondicionándola para operar bajo condiciones semejantes a las que se espera encontrar en el área de manufactura.



Figura 4.17. Celda para la familia de productos L-190 (versión 1)



Figura 4.18. Celda para la familia de productos L-190 (versión 2)

Al producir un pedido de muestra, el cual incluyó dos cajas, con 416 piezas cada una, se encontró que el funcionamiento de la celda se ajustó a los tiempos previstos, reduciendo ampliamente el espacio necesario para llevar a cabo la fabricación de los productos. El sistema Kanban fue capaz de responder efectivamente a la demanda, proporcionando la cantidad de materiales necesarios en el tiempo oportuno, por lo que no experimentaron faltantes de componentes. Por otra parte, el nuevo método de cambio de herramienta resultó en considerables ahorros de tiempo y esfuerzo para el mecánico encargado de esta tarea. Lo anterior, en conjunto, resultó en una mejora de los flujos de producción, incluyendo materiales y recursos disponibles, dando lugar a un área de producción más eficiente.

4.4.5 Evaluación de los resultados

Las actividades de planeación de mejoras basadas en eventos Kaizen dieron como resultado la estimación del estado futuro del sistema de manufactura propuesto, lo cual permitió apreciar los múltiples beneficios para lograr un flujo más ágil de los materiales dentro de las instalaciones. El efecto derivado de la implementación de las mejoras se pudo calcular en gran medida gracias a la simulación física de la operación de la celda

de manufactura, a través de la herramienta 3P y finalmente, con la producción de prueba realizada. En la tabla 4.9 se muestran los resultados obtenidos y se comparan los valores para los principales indicadores claves de desempeño correspondientes al estado actual (primera columna) con la producción de prueba del estado propuesto (segunda columna) y finalmente, el grado de mejora obtenido (tercera columna).

	Actual	Propuesto	Mejora
Espacio (pies cuadrados)	240	80	66.67%
Número de operadoras	7	2	71.42%
Productividad (piezas/hombre/hr)	43	144	234.83%
Trabajo en proceso (piezas)	952	80	91.59%
Tiempo para surtir una orden de 1 caja con 416 piezas (hr)	93.90	40.87	56.47%

Tabla 4.9. Resultados obtenidos mediante las actividades de mejora propuestas

Inicialmente, el equipo de trabajo que llevó a cabo el presente proyecto esperaba obtener resultados positivos respecto al desempeño del sistema productivo, sin embargo, no se contaba con el logro de mejoras tan significativas como las que se propusieron y alcanzaron mediante las herramientas aquí desarrolladas. Se pensaba que el espacio podría ser reducido alrededor del 50%, al igual que el número de operadoras. En general, las mejoras obtenidas superaron significativamente las expectativas que se tenían al iniciar el proyecto.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se presentan las conclusiones que surgieron mediante el análisis de la investigación, también las recomendaciones potenciales al caso conducido, así como trabajos futuros que surgieron como producto del presente proyecto.

5.1 Conclusiones

La hipótesis de investigación planteada al inicio de la investigación resultó verdadera pues se logró satisfacer que el flujo de materiales se incremente dentro de la red logística interna de la empresa mediante la aplicación de técnicas de mapeo de la cadena de valor en conjunto con otras herramientas de manufactura esbelta; con esto se superó la suposición inicial que implicaba una mejora del flujo de materiales, reflejada en el tiempo requerido para surtir una orden, en un 10%. Se observa que la capacidad de producción de la familia de productos analizada aumentó en un 234.83%, mientras que el inventario de trabajo en proceso disminuyó en un 91.59%, esto contribuyó para reducir el tiempo para surtir una orden de producción en un 56.47%.

El efecto positivo que resulta de implementar el mapeo de la cadena de valor en conjunto con las demás herramientas de manufactura esbelta radica en el enfoque de mejora del estado de operación original de forma sistemática y conjunta, lo que implica involucrar a todas las partes interesadas en el entorno del problema. Esto permitió proponer soluciones realistas y obtener resultados de forma relativamente rápida, en comparación con los planes de mejora aislados en los que se evalúa solo una parte de la cadena de valor o se deja de lado al nivel operativo de la empresa, es decir a las personas que trabajan directamente en la línea de producción.

Se concluyó también que un aspecto indispensable para lograr mantener un flujo continuo de materiales es la implementación de un sistema de inventarios Kanban de acuerdo a los tiempos de procesamiento establecidos. Esto asegurará que se mantenga una producción ininterrumpida a lo largo de la jornada y así se podrá reducir el tiempo que le toma a una pieza para poder completar su recorrido dentro del sistema

de manufactura. Además, al evitar la acumulación innecesaria de material en el área se contribuye en gran medida a disminuir todos los tipos de desperdicios.

Uno de los puntos que requieren mayor atención al determinar el ritmo de producción es el análisis detallado de aquellos procesos que representan una restricción al sistema de manufactura, por ejemplo, cuando tienen una duración mayor que el tiempo de ciclo. Al tener un esquema como el VSM se pueden identificar más fácilmente, de lo contrario, se abulta la producción en proceso en las líneas de producción. Estos procesos, llamados cuellos de botella, deben ser especialmente considerados cuando se desea mejorar el tiempo de ciclo del producto, debiendo observar cada elemento de trabajo con el fin de eliminar desperdicios e incluir mejoras que permitan fijar un tiempo de producción mejorado.

Finalmente, se encontró que para la implementación de técnicas de manufactura esbelta mediante el enfoque de eventos Kaizen es de vital importancia la selección de candidatos idóneos para conformar al equipo de trabajo, donde se debe procurar que ocupen diferentes niveles jerárquicos y cuenten con capacidades que puedan ser integradas para la transformación efectiva del sistema de manufactura; de igual manera, se debe buscar la participación activa de todos los miembros del equipo. Es importante asegurar una comunicación abierta y asignar claramente los roles para cada uno de los integrantes. También es deseable que se involucre la gerencia durante todo el proceso, ya que esto, además de agilizar la toma de decisiones y la implementación de las propuestas, da credibilidad y sentido de compromiso al resto del equipo.

5.2 Recomendaciones

Para asegurar que los análisis realizados y las modificaciones propuestas resulten efectivas en la mejora del flujo de materiales, es indispensable tomar en cuenta la variación de la demanda a través del tiempo; a este fin, pueden analizarse los requerimientos de los clientes en registros históricos de la empresa. En este caso, debido al volumen de ventas estimado, se puede utilizar la capacidad de la celda

operando de acuerdo al tiempo de ciclo durante medio turno cada día y se lograría producir de acuerdo a las ventas pronosticadas; si la demanda se incrementara tanto como el doble de su valor actual, se podría seguir produciendo con el sistema de manufactura propuesto, donde el único cambio necesario sería que la celda de manufactura debería producir durante el turno completo. Sin embargo, es conveniente que se realicen pronósticos adicionales que permitan estimar con mayor precisión la demanda esperada en el largo plazo, donde es probable que se necesite la participación de la alta gerencia.

5.3 Trabajos futuros

De lo mencionado anteriormente, surgen trabajos futuros que pueden incrementar los beneficios aportados por las ideas desarrolladas en este proyecto. Se considera oportuno realizar una planeación basada en las demandas pronosticadas a largo plazo, considerando un periodo aproximado de un año; tanto para el establecimiento del ritmo de trabajo como en la determinación de las cantidades de componentes necesarios para mantener en inventario. Así se estaría más preparado para absorber las variaciones en la demanda respecto a las estimaciones que se tienen actualmente. De esta manera, XYZ podría dirigir sus esfuerzos a mejorar los procesos de producción y mantener sus flujos de materiales e información ágiles.

Una aportación adicional es la posibilidad de llevar a cabo una simulación del estado futuro propuesto mediante software, para contar con una mayor certeza de los resultados a obtener una vez que sean implementadas las mejoras; así se podrían corregir o afinar detalles del rediseño aprobado, incluso, se podría evaluar una reubicación del departamento E1, con el fin de reducir distancias del almacén al área de producción, aumentando así el beneficio obtenido, al reducir las horas hombre y el esfuerzo empleados.

Por último, será necesario que se determinen los niveles máximos y mínimos de los sistemas de punto de uso o inventarios dentro del área productiva, de acuerdo a los pronósticos de la demanda y al comportamiento del proceso, para intentar reducir los

Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

riesgos inherentes de interrupciones por falta de material al estar elaborando alguna orden en particular.

6. REFERENCIAS

- Abdulmalek, F. & Rajgopal, J., 2007. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, Volumen 107, p. 223–226..
- Abhale, S. & Masurkar, S., 2015. Lean Manufacturing Achieved by Implanting Kanban at Supplier End. *Industrial Engineering & Management*, 4(4), p. 4–8.
- Abuthakeer, S., Mohanram, P. V. & Kumar, G., 2010. Activity based costing value stream mapping. *International Journal of Lean Thinking*, 1(2), pp. 51-64.
- Accorsi, R., Manzini, R. & Maranesi, F., 2014. A decision-support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, 65(1), pp. 175-186.
- Amit, N., Nurulzulaiha, S., Norzarina, J. & Isahak, K., 2012. Using Simulation to Solve Facility Layout for Food Industry at XYZ Company. *2012 IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research*, p. 647–652.
- Ar, R. & Al-Ashraf, M., 41. Production Flow Analysis through Value Stream Mapping : A Lean Manufacturing Process Case Study. *Procedia Engineering*, p. 1727–1734.
- Azizi, A. & Manoharanb, T., 2015. Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time using SMED-A Case Study. Volume 2, pp. 153-158.
- Baril, C., Gascon, V., Miller, J. & Cote, N., 2016. Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event: A case study in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 249(1), pp. 327-339.
- Bartholdi, J. & Hankman, S., 2016. *Warehouse & distribution science*. [Online] Available at: <http://www.warehouse-science.com/> [Accessed 14 October 2016].
- Bechtel, C. & Jayaram, J., 1997. Supply chain management: a strategic perspective. *The international journal of logistics management*, 8(1), pp. 15-34.
- Bortolotti, T., P., R. & P.J., M.-J., 2016. Towards a theory for lean implementation in supply networks. *International Journal of Production Economics*, Volume 175, p. 182–196.
- Braglia, M., Carmignani, G. & Zammori, F., 2006. A new value stream mapping approach for complex production systems. *International Journal of Production Research*, 44(18/19), pp. 3929-3952.

- Brown, A., Amundson, J. & Badurdeen, F., 2014. Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations, application case studies. *Journal of Cleaner Production*, Volume 85, pp. 164-179.
- Caggiano, A., 2014. Manufacturing System. In: L. Laperrière & G. Reinhart, eds. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 830-836.
- Cárdenas-barrón, L. & Porter, J., 2013. Supply chain models for an assembly system with preprocessing of raw materials: A simple and better algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, Volume 37, p. 7883–7887.
- Chaneski, W. S., 2014. Revisiting the Value Stream. *Modern Machine Shop*, 87(5), pp. 36-38.
- Chang, Y. & Lee, C., 2004. Machine scheduling with job delivery coordination. *European Journal of Operational Research*, Volume 158, p. 470–487.
- Chavez, Z., 2012. *Rediseño de un sistema productivo de la industria médica mediante técnicas de mapeo*. Hermosillo: Universidad de Sonora.
- Chioua, M. et al., 2016. Plant-wide root cause identification using plant key performance indicators (KPIs) with application to a paper machine. *Control Engineering Practice*, Volume 49, pp. 149-158.
- Cirjaliu, B. & Draghici, A., 2016. Ergonomic Issues in Lean Manufacturing. *Social and Behavioral Sciences*, Volume 221, p. 105 – 110.
- Coletta, A. R., 2012. *The lean 3P advantage: A practitioner's guide to the production preparation process*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cox, C. & Ulmer, J., 2015. Lean Manufacturing: An Analysis of Process Improvement Techniques. *Franklin Business & Law Journal*, Volume 2.
- Delgoshaei, A. & Gomes, C., 2016. A multi-layer perceptron for scheduling cellular manufacturing systems in the presence of unreliable machines and uncertain cost. *Applied Soft Computing*, Volume 49, pp. 27-55.
- Dotoli, M. et al., 2015. An integrated approach for warehouse analysis and optimization: a case study. *Computers in Industry*, Volume 70, p. 56–69.
- Edwards, K., 2014. Ergonomic Value Stream Mapping – Can lean and ergonomics go hand in hand?. *Human Factors in Organizational Design and Management - XI. ed.*, pp. 123-126.

- Faulkner, W. & Badurdeen, F., 2014. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM), methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, Volume 85, pp. 8-18.
- Forno, A., Pereira, F., Forcellini, F. & Kipper, L., 2014. Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(5-8), pp. 779-790.
- García, J. L., Rivera D., G. & Alvarado, A., 2013. Critical success factors for Kaizen implementation in manufacturing industries in Mexico. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(1-4), pp. 537-545.
- Grewal, C., 2008. An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 15(3), p. 404-417.
- Gross, J. M. & McInnis, K. R., 2003. *Kanban Made Simple : Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process*. New York: AMACOM.
- Gunasekaran, A. et al., 2015. Performance measures and metrics in outsourcing decisions: A review for research and applications. *International Journal of Production Economics*, Volume 161, pp. 153-166.
- Harris, R., Harris, C. & Wilson, E., 2011. *Making materials flow*. 1 ed. Cambridge: Lean Enterprise Institute.
- Hartono, Y., Astanti, R. D. & Ai, T. J., 2015. Enabler to successful implementation of lean supply chain in a book publisher. *Procedia Manufacturing*, Volume 4, pp. 192-199.
- Heragu, S., 2016. *Facilities Design*. 4 ed. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Hicks, C., McGovern, T., Prior, G. & Smith, I., 2015. Applying lean principles to the design of healthcare facilities. *International Journal of Production Economics*, Volume 170, pp. 677-686.
- Hines, P. & Rich, N., 1997. The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), pp. 46-64.
- Hines, P., Rich, N. & Esain, A., 1999. Value stream mapping. *Benchmarking: An International Journal*, 6(1), p. 60-77.
- Imai, M., 1996. A consultant and Gemba. *Consulting to Management*, 9(1), pp. 3-9.
- Jarebrant, C. et al., 2015. ErgoVSM: A Tool for Integrating Value Stream Mapping and Ergonomics in Manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, pp. 1-14.

- Jim Wu, Y. C., 2002. Effective lean logistics strategy for the auto industry. *The International Journal of Logistics Management*, 13(2), pp. 19-38.
- Jones, D. T., Hines, P. & Rich, N., 1997. Lean logistics. *International Journal of physical distribution & logistics management*, 27(3/4), pp. 153-173.
- Kemper, B., de Mast, J. & Mandjes, M., 2010. Modeling process flow using diagrams. *Quality and Reliability Engineering International*, 26(4), pp. 341-349.
- Khaswala, Z. N. & Irani, S. H., 2001. Value network mapping (VNM): visualization and analysis of multiple flows in value stream maps. *Proceedings of the Lean Management Solutions Conference*.
- Kucukaltana, B., Iranib, Z. & Aktas, E., 2016. A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry. *Computers in Human Behavior*, Volume 65, p. 346–358.
- Kumar, N. 2., 2014. Analysing the Benefits of Value Stream Mapping in Mining Industry. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(10), p. 16668–16673.
- Lage, M. & M, G., 2010. Variations of the kanban system : Literature review and classification. *Intern. Journal of Production Economics*, 125(1), p. 13–21.
- Liker, J., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, New York: McGraw-Hill.
- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S. & Rao, S. S., 2006. The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. *Omega*, 34(2), pp. 107-124.
- Li, X., 2014. *A literature review on value stream mapping with a case study of applying value stream mapping on research process*, Texas: Texas A&M University.
- Manos, A., 2007. The benefits of Kaizen and Kaizen events. *Quality Progress*, Volume 40.2, p. 47.
- Manzini, R., Bozer, Y. & Heragu, S., 2015. Decision models for the design, optimization and management of warehousing and material handling systems. *Int . J . Production Economics*, Volume 170, p. 711–716.
- Martin, C., 2011. *Logistics & Supply Chain Management*. 4 ed. Harlow, United Kingdom: Pearson Education.
- Martin, K. & Osterling, M., 2013. *Value Stream Mapping: How to Visualize Work and Align Leadership for Organizational Transformation*. 1 ed. New York: McGraw-Hill.

- Meyers, F. E. & Stephens, M. P., 2006. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Naucalpan de Juarez: Pearson Educacion.
- Mezgebe, T. T., Asgedom, H. B. & Desta, A., 2013. Economic analysis of lean wastes: Case studies of textile and garment industries in Ethiopia. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 3(8), pp. 101-128.
- MHI, 2016. *Material Handling Institute*. [Online] Available at: <http://www.mhi.org/> [Accessed 14 October 2016].
- Mital, P., Goetschalckx, M. & Huang, E., 2015. Robust material handling system design with standard deviation, variance and downside risk as risk measures. *International Journal of Production Economics*, pp. 1-10.
- Mostafa, S. & Dumrak, J., 2015. Waste elimination for manufacturing sustainability. *Procedia Manufacturing*, Volume 2, pp. 22-26.
- Naik, M. R., Kumar, E. V. & Goud, B. U., 2013. Electronic Kanban System. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(3).
- Papaioannou, G. & Wilson, J. M., 2010. The evolution of cell formation problem methodologies based on recent studies (1997–2008): Review and directions for future research. *European journal of operational research*, 206(3), pp. 509-521.
- Patel, N., Chauhan, N. & Trivedi, M. P., 2015. Benefits of Value Stream Mapping as A Lean Tool Implementation Manufacturing Industries: A Review. *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*, 1(8), pp. 53-57.
- Peral, J. M. A. & M. M., 2017. Application of data mining techniques to identify relevant key performance indicators. *Computer Standards & Interfaces*, Volume 50, pp. 55-64.
- Qureshi, M., Iftikhar, M., Bhatti, M. N. S. T. & K., Z., 2013. Critical elements in implementations of just-in-time management: empirical study of cement industry in Pakistan. *SpringerPlus*, 2(645), pp. 1-14.
- Rohac, T. & Januska, M., 2014. Value stream mapping demonstration on real case study. *Procedia Engineering*, Volume 100, pp. 520-529.
- Rother, M. & Harris, R., 2001. *Creating continuous flow*. Brookline: Lean Enterprise Institute.
- Rother, M. & Shook, J., 1999. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. 2 ed. Brooklin, Maine: Lean Enterprise Institute.
- Sampieri, R., Collado, C. F. & Lucio, P. B., 2010. *Metodología de la Investigación*. 5 ed. México: El Comercio SA.

- Schönemann, M., Kurle, D., Herrmann, C. & Thiede, S., 2016. Multi-product EVSM simulation. *Procedia CIRP*, Volume 41, pp. 334-339.
- Serrano, I., Ochoa, C. & Castro, R. D., 2008. Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign. *International Journal of Production Research*, 46(16), pp. 4409-4430.
- Sihn, W. & Pfeffer, M., 2013. A method for a comprehensive value stream evaluation. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 62, pp. 427-430.
- Simchi-levi, D., Chen, X. & Bramel, J., 2014. *The Logic of Logistics*. 3 ed. New York: Springer-Verlag.
- Steur, H. D. et al., 2016. Applying Value Stream Mapping to reduce food losses and wastes in supply chains: A systematic review. *Waste Management*.
- Suhadak, N., Amit, N. & Ali, M., 2015. Facility Layout for SME Food Industry via Value Stream Mapping and Simulation. *Procedia Economics and Finance*, 31(15), p. 797–802.
- T., S., 2015. Exploring Kaizen Events. *Professional Safety*, 6(10), p. 20.
- Taylor, G., 2007. *Logistics Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Titu, M. A., Oprean, C. & Grecu, D., 2010. Applying the Kaizen Method and the 5S Technique in the Activity of Post-Sale Services in the Knowledge-Based Organization. *Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists*, Volume 3.
- Tompkins, J., White, J., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A., 2010. *Facilities Planning*. 4 ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Vieira, S., Badke-Schaub, P. & Fernandes, A., 2015. Framework of Awareness: for the analysis of Ergonomics in Design. *Procedia Manufacturing*, Volume 3, pp. 5955-5962.
- Westgaard, R. & Winkel, J., 2011. Occupational Musculoskeletal and Mental Health: Significance of Rationalization and Opportunities to Create Sustainable Production Systems-A Systematic Review. *Applied Ergonomics*, 42(2), p. 261–296.
- Whitman, L., Underdown, R. & Deese, M., 2001. A physical demonstration of lean concepts. *IIE Annual Conference*.
- Yusof, N. M., Saman, M., M. Z. & Kasava, N. K., 2015. A conceptual sustainable domain value stream mapping framework for manufacturing. *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Innovative Solutions*, 2(1), pp. 54-59.