

UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN ESBELTA
PARA LA MEJORA DEL FLUJO DE MATERIALES DE UN PROCESO DE
ENSAMBLE EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA

T E S I S

PRESENTADA POR

RICARDO ORTEGA DEL CASTILLO

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

DIRECTORA DE TESIS
DRA. MARÍA ELENA ANAYA PÉREZ

CODIRECTOR DE TESIS
DR. JAIME LEÓN DUARTE

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

NOVIEMBRE 2019

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

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolla en una empresa manufacturera dedicada al estampado y ensamble, mediante soldadura, de piezas de acero. Se enfoca en un proceso de ensamble, el cual inicialmente, no estaba operando de manera eficiente, ya que el flujo con el cual los materiales viajaban a través de este, no era fluido. Esto generaba altos tiempos de espera y transportes innecesarios del material, así como altos volúmenes de inventario en proceso, lo que generaba como consecuencia un elevado tiempo total de procesamiento.

Mediante un enfoque de Manufactura Esbelta, disciplina que busca eliminar las actividades que no agregan valor en las organizaciones, y apoyado en una metodología propuesta por Chávez y Romero (2017), se hizo una redistribución de las celdas de manufactura presentes en el sistema de producción, con el fin de tener la oportunidad de implementar la herramienta de Flujo de Una Sola Pieza, seleccionada por los beneficios que ofrece y la posibilidad que presentaba para adaptarse al proceso.

Una vez implementada la herramienta y concluido el proyecto, se logró una gran disminución de los desperdicios mencionados anteriormente, inventario en proceso, transportes y tiempo de espera. Además, se consiguió disminuir el área (m^2) utilizada en el proceso. Efectivamente el tiempo total de procesamiento se vio reducido, por lo que se obtuvo un aumento sustancial en la eficiencia del proceso, generando un impacto económico positivo para la organización.

ABSTRACT

The present project is developed in a manufacturing company dedicated to the stamping and assembly, by welding, of steel parts. It focuses on an assembly process, which initially, was not operating efficiently, since the flow of materials throughout the process was not fluid. The consequences were high waiting times, unnecessary transports, large work in process and long lead time.

Through a Lean Manufacturing approach, discipline that seeks to eliminate activities that do not add value in organizations, and supported by a methodology proposed by Chávez and Romero (2017), a redistribution of the manufacturing cells present in the production system was made, to implement the One Piece Flow tool, selected for the benefits it offers and the compatibility with the process.

Once the tool was implemented and the project concluded, a great reduction of the aforementioned wastes, work in process, transportation and waiting time was achieved. In addition, the layout area (m^2) used in the process was reduced. Effectively, the lead time was reduced, which resulted in a substantial increase in the efficiency of the process, generating a positive economic impact for the organization.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi mamá, Ana Del Castillo, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional en cada una de las etapas de formación a lo largo de mi vida y para quien unas palabras no bastarían para agradecer todo lo que ha hecho por mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermano, a mis dos hermanas y mi papá por estar a mi lado a lo largo de este periodo de formación.

Al coordinador del posgrado, Alonso Pérez, por su dedicación y profesionalismo en su papel de coordinador y su siempre disposición para ayudar en cualquier situación.

A mi directora de tesis, María Elena Anaya, por su disposición para siempre guiarme y orientarme a lo largo de este proceso para que pudiera culminarlo con éxito.

A todos y cada uno de los profesores del posgrado por ayudarme y aportarme su conocimiento académico y experiencia profesional.

A mis compañeros de maestría, por todas las veces que nos apoyamos y trabajamos en equipo para salir adelante.

A mi tío, Francisco, por abrirme las puertas de la empresa y darme la oportunidad de formar parte de este proyecto.

A los ingenieros Hugo y Aracely, por permitirme colaborar con ellos y brindarme su apoyo durante la realización del proyecto.

Al investigador Antonio Travieso, quien me recibió en mi estancia de investigación en Barcelona, y quien me apoyo con su experiencia y conocimiento.

A todas aquellas personas que directa e indirectamente me impulsaron a comenzar mis estudios de posgrado.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente me apoyaron de cualquier forma durante estos años de formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por su apoyo económico brindado en mi estudio de posgrado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación	2
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Objetivo general	4
1.4. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis	5
1.6. Alcances y delimitaciones	5
1.7. Justificación.....	5
2. MARCO DE REFERENCIA	7
2.1. Distribución de planta.....	7
2.2. Manufactura Esbelta	8
2.3. Desperdicios	10
2.4. Herramientas de la Manufactura Esbelta	11
2.4.1. 5's	12
2.4.2. Kaizen	13
2.4.3. Poka-Yoke	13
2.4.4. Justo a tiempo.....	14
2.4.5. Mapeo de la Cadena de Valor	15
2.4.6. Flujos de Una Sola Pieza.....	16

2.5. Medibles de desempeño de producción.....	18
2.5.1. Tiempo de ciclo.....	18
2.5.2. Tasa de producción	19
2.5.3. Disponibilidad	21
2.5.4. Capacidad de planta	22
2.5.5. Utilización	22
2.5.6. Tiempo de fabricación.....	22
2.5.7. Inventario en proceso	24
2.6. Estudios previos.....	24
2.7. Enfoques metodológicos.....	25
2.7.1 Ciclo de Deming.....	26
2.7.2. Principios fundamentales de Manufactura Esbelta	28
2.7.3. Metodología para reducir inventario en proceso	29
3. METODOLOGÍA.....	33
3.1. Estructura Metodológica	34
3.1.1. Fase 1 Diagnóstico	34
3.1.2. Fase 2 Análisis y recolección de datos	35
3.1.3. Fase 3 Propuesta de herramienta de Manufactura Esbelta.....	36
3.1.4. Fase 4 Implementación de herramienta seleccionada.....	37
3.1.5. Fase 5 Evaluación de resultados	37
4. IMPLEMENTACIÓN	39
4.1. Fase 1 Diagnóstico	39
4.2. Fase 2 Análisis y recolección de datos	43
4.3. Fase 3 Propuesta de herramienta de Manufactura Esbelta	47
4.4. Fase 4 Implementación de herramienta seleccionada	53
4.5. Fase 5 Evaluación de resultados	58
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	61
5.1 Conclusiones.....	61
5.2. Recomendaciones	62
5.3. Trabajos futuros	63

6. REFERENCIAS.....	64
7. ANEXOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Pilar B Derecho.	3
Figura 1. 2. Pilar B Izquierdo.	3
Figura 2. 1. Ciclo de Deming. Walton (1988). Elaboración propia.	26
Figura 2. 2. Estructura metodológica (Chávez y Romero, 2017).	30
Figura 3.1. Fases metodológicas del proyecto. Elaboración propia (Adaptado de Chávez y Romero, 2017).	34
Figura 4. 1. Área de trabajo (Estaciones 12 RH/LH y RW RH/LH).	39
Figura 4. 2. Distribución de estaciones de proceso. Elaboración propia.	40
Figura 4. 3 Diagrama de operación de Pilar B. Elaboración Propia.	43
Figura 4. 4. Flujo de transportes de Pilares B. Elaboración propia.	45
Figura 4. 5. VSM del estado inicial. Elaboración propia.	47
Figura 4. 6. VSM del estado futuro de Propuesta 1. Elaboración propia.	50
Figura 4. 7. VSM del estado futuro de Propuesta 2. Elaboración propia.	50
Figura 4. 8. VSM del estado futuro de Propuesta 3. Elaboración propia.	51
Figura 4. 9. Diseño de perchero. Elaboración propia.	56
Figura 4. 10. Distribución inicial. Elaboración propia.	57
Figura 4. 11. Distribución después de cambio. Elaboración propia.	57
Figura 4. 12. Área de trabajo post-implementación.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Actividades de las 5's (Fein, 2015). Elaboración propia.....	13
Tabla 2. 2. Pasos para realizar un VSM (Manos, 2006). Elaboración Propia.	16
Tabla 2. 3. Descripción de principios fundamentales de Manufactura Esbelta (Nave, 2002). Elaboración propia.	29
Tabla 4. 1. Actividades del procesamiento del Pilar B. Elaboración propia.	42
Tabla 4. 2. Datos relevantes del proceso de ensamble de Pilar B. Elaboración propia.	45
Tabla 4. 3. Actividades para realizar por alternativa propuesta. Elaboración propia.	49
Tabla 4. 4. Estimaciones de tiempo para llevar a cabo cada alternativa. Elaboración propia.	52
Tabla 4. 5. Necesidades que incurrirían en costos durante la implementación para llevar a cabo cada alternativa. Elaboración propia.	52
Tabla 4. 6. Tiempos de ciclo Laser 2 antes y después de cambio. Elaboración propia.	55
Tabla 4. 7. Resumen reducciones de tiempo en Laser 2. Elaboración propia.	55
Tabla 4. 8. Tiempo de ciclo después de ajustes en Laser 2. Elaboración propia.....	55
Tabla 4. 9. Beneficios Flujo de Una Sola Pieza. Elaboración propia.	60

1. INTRODUCCIÓN

A causa de los cambios económicos, políticos y sociales a lo largo de los años en el mercado global, las organizaciones se han visto forzadas a ser ampliamente más competitivas debido al aumento de exigencia de los clientes. Visto así, las empresas tienen la necesidad de mejorar sus procesos de producción, con el fin de proporcionar productos de la más alta calidad a precios competitivos y en tiempo. Es por lo anterior que, los intereses de las gerencias por reducir los desperdicios han ido aumentando (Andrade, Pereira y Conte, 2016).

Muchos fabricantes apuntan a incrementar la productividad, producir los bienes o servicios correctos en el lugar y momento correcto, así como cumplir con la entrega a tiempo. Con el fin de subsistir en el ambiente competitivo, los fabricantes necesitan encontrar nuevas formas de reducir los plazos de fabricación (Lead Time) para mejorar la productividad. Tienen como objetivo mejorar el rendimiento de la productividad al reducir el tiempo de producción (Lead Time) y el desperdicio de producción, que son los principales objetivos para casi todas las empresas manufactureras (Azizi, 2015).

La industria automotriz esta siempre bajo presión de sus accionistas para mejorar los procesos de producción y de suministro (Mahendran y Kumar, 2018). Cada vez existe más competitividad por lo que se actualizan periódicamente buscando siempre aumentar la productividad y reducir el desperdicio y los costos (Das, Venkatadri y Pandey, 2014). El resultado de la competencia en el mercado es una constante innovación. Por lo que predice que cuanto mayor sea el grado de competencia de mercado que enfrentan las empresas, mayor será el nivel de adopción de Manufactura Esbelta (Sheikh, 2017).

El presente capítulo aborda la descripción de la empresa y en particular de la problemática para la cual se utilizó una metodología con la finalidad de dar solución a

su situación, además, se plantean los objetivos y la hipótesis relacionada a esta investigación.

1.1. Presentación

El proyecto que a continuación se presenta se desarrollará en la empresa Sonora Forming Technologies (SFT) perteneciente al grupo Magna Cosma International y está ubicada en la localidad de Hermosillo, Sonora, México.

SFT es una empresa que se dedica a estampado y soldadura de piezas de acero, sus clientes son ensambladoras de automóviles de la localidad y extranjero, por lo tanto, sus estándares de calidad y seguridad son siempre los más altos, esto lleva a que la constante búsqueda por mejorar sus procesos se haya vuelto parte de la cultura de la organización.

Cuenta con una planta de producción dividida en tres áreas principales, administrativa, de operaciones, y de embarques. Así mismo, el área de operaciones se divide en dos secciones principales, el área de estampado o troquelado, y el área de ensamble, donde se sueldan partes previamente estampadas entre sí. El proyecto se centrará específicamente en una parte del proceso de una línea de producción del área de ensamble, donde se analizará el flujo de ciertas partes denominadas Pilares B, que son sub-ensambles que conforman un producto de muy alto volumen de venta.

Estos Pilares son manejados en lotes grandes y un vehículo se encarga de transportarlos entre estaciones. Su ensamble se produce de forma simultánea en estaciones idénticas para cada lado, es decir, mientras se están produciendo Pilares B Derechos, también se están produciendo Pilares B Izquierdos. Para este proceso se cuenta con 3 estaciones de trabajo por cada lado, siendo estas Laser 1 y Laser 2, Estación 12 Derecha y Estación 12 Izquierda y por último, Estación RW Derecha y Estación RW Izquierda. La Figura 1.1 y Figura 1.2 ilustran al Pilar B Derecho y al Pilar B izquierdo respectivamente.



Figura 1. 1. Pilar B Derecho.

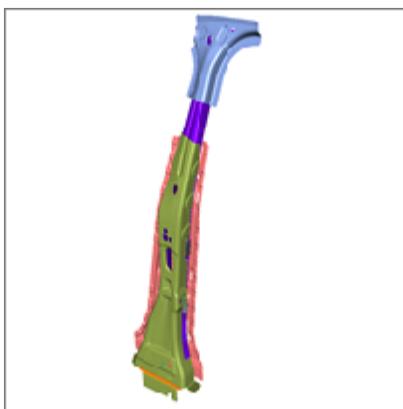


Figura 1. 2. Pilar B Izquierdo.

El proceso de los Pilares B comienza en la Estación Laser (Laser 1/Laser 2), que es donde se ensamblan, al completarse un lote, es llevado a un almacén temporal de inventario en proceso, para después ser llevado a la siguiente estación (Estación 12 Derecha/Izquierda), donde se suelda una pieza de acero adicional. Una vez trabajado todo el lote, es transportado a otro almacén temporal, a la espera de ser llevado a la siguiente estación (RW Derecha/Izquierda), en la cual se reforzarán los puntos de soldadura indicados. Finalmente, al re-trabajar todo un lote, este es puesto en un almacén.

Lo descrito en el párrafo anterior, refleja como el proceso de los Pilares B no cuenta con un flujo continuo, lo que genera tiempos de espera, un elevado inventario en proceso, transportes innecesarios y un tiempo de procesamiento mayor al deseado,

lo que indica que el proceso está operando de manera ineficiente, como consecuencia los recursos empleados, tales como equipo, personal, tiempo y espacio, son más de los necesarios. Provocando que los costos de producción se eleven, lo que trae consigo una disminución de los beneficios económicos para la compañía.

1.2. Planteamiento del problema

Debido a que el proceso de ensamble de los Pilares B no se está operando de manera eficiente, trae consigo esperas, inventarios en proceso, y traslados entre estaciones y almacenes innecesarios. Como consecuencia, los costos de producción para la empresa, debido al empleo ineficiente de recursos, se incrementan, generando una disminución de los beneficios económicos.

1.3. Objetivo general

Implementar una herramienta de Manufactura Esbelta para la disminución de los inventarios en proceso, transportes y esperas, mediante un cambio en el flujo de ensamble del producto.

1.4. Objetivos específicos

- Analizar el proceso actual para determinar los tiempos y cantidades de producción, los niveles de inventario en proceso y los transportes involucrados.
- Definir y detallar las condiciones de producción para determinar la estrategia que permita reducir el inventario en proceso, así como las distancias y tiempos de transporte.
- Implementar la estrategia específica para la reducción de inventario en proceso y los costos relativos a transporte.
- Evaluar el resultado de las modificaciones introducidas para verificar que efectivamente se obtengan las mejoras planteadas.

1.5. Hipótesis

Implementar una herramienta de Manufactura Esbelta mejorará el flujo de los Pilares B durante su procesamiento, trayendo consigo una disminución en el tiempo de procesamiento, inventarios en proceso, transportes involucrados y recursos empleados.

1.6. Alcances y delimitaciones

El proyecto se localiza en el área de ensamble, centrándose en el flujo de los Pilares B izquierdos y derechos, desde el momento en que salen de las Estaciones Laser 1 y Laser 2 hasta el momento en que salen de la estación de re-trabajo.

1.7. Justificación

La dirección de SFT marca como objetivo, disminuir el porcentaje global de inventarios en proceso de la planta. Al modificar el flujo de los Pilares B, se busca llevar al mínimo el inventario en proceso de estos, lo que traería consigo, la eliminación de los transportes de material que no agregan valor, 4 por lote procesado de Pilar B derecho y 4 más por lote procesado de Pilar B izquierdo, dando un total de 200 traslados eliminados. Además, se eliminarían dos almacenes temporales, donde en cada uno se almacenan hasta 8 contenedores de pilares, 4 de cada lado. La superficie de cada contenedor es de 2.3095 m^2 por lo que se ahorraría una superficie aproximada de 36.95 m^2 . Por otro lado, a los colaboradores encargados de transportar los contenedores de Pilares B, de ser posible, se les podrán repartir nuevas tareas, o bien tendrán más holgura para realizar las que actualmente llevan a cabo. Esto traerá consigo una importante disminución de tráfico en el pasillo donde se encuentran las estaciones donde se producen los Pilares B.

En los siguientes capítulos encontrará información relevante en la literatura de temas pertinentes al proyecto, tales como distribución de planta, Manufactura Esbelta y herramientas de esta disciplina, así como casos prácticos parecidos a este. A su vez podrá encontrar información detallada acerca de metodologías que posiblemente se

podieran emplear para la realización de este trabajo y cuál se utilizó. Por último, podrá apreciar la implementación de lo propuesto y los resultados y conclusiones obtenidas.

2. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se muestran las bases teóricas de los elementos, leyes y técnicas que son aplicadas para el desarrollo del presente proyecto, así como precedentes prácticos.

2.1. Distribución de planta

Debido al constante cambio en los mercados globales, las organizaciones deben adaptarse constantemente para satisfacer las necesidades de los clientes. Para esto, aumentan o disminuyen su capacidad de producción, realizan cambios totales o parciales de tecnología, inventan nuevos productos y servicios y buscan la mejora constante de sus procesos. Esta situación demanda que las empresas cuenten con distribuciones espaciales altamente flexibles (Emami y Nookabadi, 2013), ya que conforme transcurre el tiempo, poco a poco van perdiendo la eficiencia del diseño inicial debido a los cambios en volúmenes de producción, modificaciones al diseño del producto, incorporación de nuevas tecnologías, entre otros aspectos de la distribución de planta inicial y comienzan a presentarse situaciones que pudieran traer consigo la necesidad de realizar una redistribución (Pérez, 2016).

Se entiende por distribución de planta (o de layout), al proceso por el cual se realiza el acomodo de los elementos que integran a un sistema de fabricación en determinado espacio físico. Donde se busca facilitar el alcance de los objetivos de producción de la forma más eficiente posible. Dicha distribución, se considera una de las decisiones más importantes de la estrategia de operaciones de una organización (Krajewski, Malhotra y Ritzman, 2015).

La distribución de los procesos de producción está directamente relacionada con el cumplimiento de las entregas, así como con la utilización eficiente de los recursos de la organización. Para mejorar los procesos, es necesario planear la distribución, con esto, se pueden disminuir los tiempos de producción, se puede aumentar la

productividad y la eficiencia, y al mismo tiempo, reducir los costos relacionados al manejo de materiales (Drira, Pierreval y Hajri-Gabouj, 2007).

La manera en la que se encuentra distribuida una planta genera un impacto significativo y directo en la eficiencia de la producción y el nivel de productividad de los sistemas de manufactura (Kanaganayagam, Muthuswamy y Demodaran, 2015). Es por esto que es importante identificar las áreas de mejora en las actuales distribuciones espaciales de los centros de trabajo que conforman a los sistemas productivos, con el fin de contribuir a la mejora de la productividad de las organizaciones (Pérez, 2016).

Chase y Jacobs (2014) mencionan que algunas de las situaciones que invitan a las organizaciones a realizar redistribuciones en sus procesos productivos son los cuellos de botella, la congestión y deficiente utilización del espacio, la acumulación de material en proceso, cargas de trabajo desniveladas, accidentes laborales y dificultad en el control de las operaciones y del personal.

El alto costo de mantener la materia prima es otra situación que se presenta habitualmente, y que pudiera indicar que es necesario realizar una redistribución total o parcial del espacio de trabajo. Por otro lado, cuando existe una distancia considerable entre los centros de actividad de la organización, se genera una deficiencia en la jornada laboral debido a los transportes de material que no agregan valor, siendo esta una de las principales causas que aumentan los tiempos de fabricación unitarios y disminuyen los niveles de productividad del trabajo (Krajeski et al, 2015).

2.2. Manufactura Esbelta

Ismail, Isa y Mia (2018) señalan que una manera en la que las organizaciones dedicadas a la fabricación de bienes sobreviven a la competencia es proporcionando productos de alta calidad al menor costo posible, esto lo consiguen mediante la adopción de estrategias de fabricación adecuadas. Una de estas estrategias es la

Manufactura Esbelta, la cual puede ayudar a las organizaciones a eliminar los desperdicios y las actividades que no agregan valor sin comprometer la calidad de los productos.

Las organizaciones deben centrarse en la minimización de los desperdicios que se producen durante sus procesos productivos para seguir compitiendo en el mercado actual. La filosofía de Manufactura Esbelta es tomada como la principal herramienta para deshacerse de todas aquellas actividades que no agregan valor a sus productos y están presentes en los procesos la producción (Moeuf et al, 2016).

Hill (2018) apunta que muchas de las empresas manufactureras a lo largo de todo el mundo están utilizando el enfoque de Manufactura Esbelta para tratar de eliminar o minimizar el desperdicio y maximizar el valor en sus procesos de fabricación. El impacto positivo que genera la Manufactura Esbelta se puede ver reflejado en la productividad, el espacio, el tiempo entrega, etc. Se enfoca en eliminar el uso ineficiente de tiempo y dinero, comúnmente conocidos como desperdicios.

La Manufactura Esbelta se enfoca en eliminar estos drenajes de tiempo y dinero, comúnmente conocidos como "Los siete desechos mortales". El término de Manufactura Esbelta se desarrolló a partir de las iniciativas de Taiichi Ohno inspirado en el Sistema de producción Toyota (TPS). Es un sistema integrado cuyo objetivo principal es mejorar la eficiencia de los procesos, eliminando desperdicios (Shah y Ward, 2007). Es una forma de producir bienes a menor costo, en menos tiempo, con menos mano de obra, de mayor calidad, mayor variedad y con menos impactos adversos sobre la salud del trabajador y el medio ambiente (Hill, 1991).

Manufactura Esbelta es un conjunto de técnicas y actividades para dirigir una industria de producción o servicios. Según sea el caso, las técnicas y actividades diferirían respectivamente. Sin embargo, tienen el mismo principio central: la eliminación de los desperdicios del negocio (Juran y Godfrey, 1999). Conforme se logren eliminar los desperdicios o actividades que no añadan valor, los costos

disminuyen, y como consecuencia, el desempeño general de la empresa mejora (Ismail et al, 2018).

2.3. Desperdicios

La palabra desperdicio, también conocida en el ámbito de la Manufactura Esbelta como muda o despilfarro, está definida por diversos autores de la siguiente manera:

“Es cualquier actividad que agrega valor no real al producto o servicio que se está creando o entregando.” señala Pereira (2009). *“Cualquier actividad o proceso que no agregue valor a nuestro producto. En otras palabras, si un cliente no pagaría por ello, es un desperdicio.”* apunta Minardi (2017).

Una definición más amplia es la que proporcionan Womack y Jones (2003): *“Significa despilfarro, específicamente toda aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor: fallos que precisan rectificación, producción de artículos que nadie desea y el consiguiente amontonamiento de existencias y productos sobrantes, pasos en el proceso que realmente no son necesarios, movimientos de empleados y transporte de productos de un lugar a otro sin ningún propósito, grupos de personas en una actividad aguas abajo, en espera porque una actividad aguas arriba no se ha entregado a tiempo, y bienes y servicios que no satisfacen las necesidades del cliente.”*

Taiichi Ohno identificó que las 7 principales categorías de desperdicios son: sobreproducción, transporte, espera, sobre-procesamiento, inventario, defectos y movimientos (Womack, Roos y Jones, 1990). Liker y Meier (2008) los han descrito como se presentan a continuación:

- **Sobreproducción:** Procesar los artículos antes de tiempo o en una cantidad mayor que la requerida por el cliente. Es considerado el principal desperdicio y causante de la mayoría de los otros desperdicios.

- Transporte: Trasladar la producción en proceso desde un punto a otro, sin importar que sean recorridos cortos; también incluye el movimiento de materiales, partes o producto terminado hacia y desde los almacenes.
- Tiempo de espera: Operadores o equipo esperando por información o materiales para poder producir, tiempos muertos por averías de máquinas o clientes esperando en el teléfono.
- Sobre-procesamiento: Realizar operaciones innecesarias al producir los artículos finales, utilizar las herramientas o equipos inapropiados o proveer niveles de calidad más altos que los requeridos por el cliente.
- Exceso de inventario: Contar con excesivo almacenamiento de materia prima, producción en proceso y/o producto terminado. Además, el exceso de inventario suele ocultar deficiencias en el proceso.
- Defectos: Producir o re-trabajar artículos que no cumplen con las especificaciones determinadas por el cliente.
- Movimientos innecesarios: Cualquier movimiento que el operador realice aparte del que genera valor en el producto. Incluye a personas en la empresa subiéndolo y bajándolo por documentos, buscando, escogiendo, agachándose, etc. Incluso caminar innecesariamente es un desperdicio.

2.4. Herramientas de la Manufactura Esbelta

Como es se mencionó anteriormente, el principal objetivo de la Manufactura Esbelta es eliminar los desperdicios o las actividades que no agregan valor, para ello se cuenta con una serie de herramientas o técnicas que serán descritas a continuación, incluyendo conceptos básicos que se señalan a lo largo de este documento.

2.4.1. 5's

Una estrategia comúnmente utilizada por las organizaciones para reducir peligros, defectos, costos y mejorar la eficiencia y las comunicaciones, es implementar la metodología japonesa 5's, otro de los principales objetivos de esta metodología es la de eliminar los siete desperdicios. (Fein, 2015). La Tabla 2.1 resume las actividades de esta herramienta.

Clasificación (Seiri)	Los criterios se establecen para eliminar, mediante etiquetas rojas, todas las herramientas, materiales, equipos, etc., que no son necesarios para realizar un trabajo. La frecuencia con la que se utiliza una herramienta o cualquier otro elemento para un trabajo determina dónde se colocará o ubicará.
Organización (Seiton)	Los empleados deben saber dónde encontrar rápidamente cada artículo. Etiquete los armarios y cajones de almacenamiento para que los empleados sepan el contenido que contiene. Haga un mapa del flujo de trabajo y el plano de planta del área que muestre dónde está todo "ordenado". Marque los pasillos y los límites de las estaciones de trabajo. Mostrar la posición del equipo.
Limpieza (Seiso)	Este es el punto en el proceso 5's donde la limpieza diaria se convierte en un hábito. El espacio de trabajo se limpia antes de comenzar el trabajo y antes de cerrar el trabajo. Deben reservarse diez o 15 minutos diarios para la actividad de barrido y brillo. Use esta rutina de limpieza diaria para inspeccionar el espacio de trabajo y el equipo en busca de defectos.
Estandarizar (Seiketsu)	Las rutinas y los procedimientos operativos estándar deben establecerse y comunicarse para que los tres primeros pasos de 5's se repitan regularmente.
Disciplina	La disciplina es necesaria por parte de todos en la organización

(Shitsuke)	para mantener las 5's y lograr sus beneficios. Las comunicaciones visuales, tales como, tableros de mensajes, marcadores, carteles, y pancartas, entre otros, son fundamentales para mantener la autodisciplina. La implementación de 5's es un proceso cíclico. Una vez realizado a través de los cinco pasos, se debe regresar y verificar repetidamente cada actividad
------------	---

Tabla 2. 1. Actividades de las 5's (Fein, 2015). Elaboración propia.

2.4.2. Kaizen

El origen de la filosofía Kaizen tiene sus orígenes en Japón; proveniente de las palabras kai (cambio) y zen (para mejor), se desarrolló después de la Segunda Guerra Mundial (Palmer, 2001). Se traduce al español como “mejora continua” pero en la civilización occidental también engloba el concepto de un método de gestión de la calidad muy conocido en el mundo de la industria. Es por ello que el Kaizen es un proceso de mejora continua basado en acciones concretas y simples, donde se implica a todos los trabajadores de una empresa, desde los directivos hasta los trabajadores de base (Masaaki, 2014).

Un evento de Kaizen es un proyecto que se centra en realizar una mejora de forma estructurada mediante un equipo interdisciplinario que estará dedicado a mejorar áreas de trabajo específicas, teniendo objetivos definidos, y en un marco de tiempo acelerado. Se caracteriza por varios rasgos, incluida una inversión de capital baja, una orientación a la acción y autonomía, y una aplicación de herramientas para el establecimiento de análisis de calidad y procesos (Glover et al, 2011).

2.4.3. Poka-Yoke

A pesar de que la Manufactura Esbelta busca producir de forma más eficiente utilizando menos recursos, jamás comprometerá la calidad de los productos, por lo que utilizan herramientas como POKA-YOKE.

Poka-Yoke fue introducido por Shigeo Shingo en 1961, cuando este era uno de los ingenieros de Toyota Motor Corporation. Esta herramienta se utiliza para prevenir

defectos y errores que se originan por la equivocación (Dudek-Burlikowska y Szewieczek, 2009).

Para implementar la herramienta se comienza analizando el proceso con el fin de detectar problemas potenciales, identificando las partes por las características de dimensión, forma y peso, detectando la desviación natural de los procedimientos del proceso. Para posteriormente tomar las acciones necesarias para evitar esos problemas o fallos mediante arreglos en el método (Patel, Dale y Shaw, 2001).

2.4.4. Justo a tiempo

Un concepto fundamental dentro de la filosofía de la Manufactura Esbelta, es el Justo a Tiempo (JIT por sus siglas en inglés). Es una forma de gestión constituida por un conjunto de técnicas y prácticas de organización de la producción que pretende producir los distintos productos, servicios y componentes en el momento en el que se necesiten, en la cantidad solicitada y con la máxima calidad (Hirano, 2001).

El objetivo principal de JIT es eliminar los costos generados por funciones innecesarias o calidad deficiente. Es decir, cero defectos, cero averías, cero tiempos de ocio. Para conseguir alcanzar los objetivos es necesario avanzar paso a paso basándose en la mejora continua o Kaizen (Womack y Jones, 2003).

Uno de los aspectos fundamentales del JIT es el cambio de sistema Empujar a sistema Jalar. El primero se caracteriza por los lotes de fabricación previamente planificados que empujan la producción. Por el contrario, en el segundo sistema, cada proceso o cliente retira el producto o las piezas del proceso anterior a medida que las necesita. De esta forma, un centro de trabajo o servicio únicamente trabaja cuando el proceso siguiente le comunica la necesidad de hacerlo (Ruiz y Muñoz, 2001).

La forma con la que trabaja este sistema es mediante el Kanban. Consiste en una tarjeta, contenedor o cualquier otro elemento y representa la autorización para producir o mover inventario proporcionando control e información al proceso. Sirve

para regular el nivel de inventarios y la velocidad de producción reduciendo o aumentando el número de Kanbans o su tamaño. Si no hay Kanban, el sistema detiene su funcionamiento (Anderson, 2010).

2.4.5. Mapeo de la Cadena de Valor

La cadena de valor para cualquier organización es el conjunto de aquellas actividades que crean valor, desde una fuente de materia prima, hasta proveedores de componentes, hasta entregar el producto terminado a los consumidores (Shank y Govindarajan, 1993).

Es necesario identificar y eliminar los desperdicios de cada paso de la cadena de valor. (Rahani y Al-Ashraf, 2012) Mediante la utilización del mapeo de la cadena de valor (VSM por sus siglas en inglés), los desperdicios pueden minimizarse o eliminarse (Siregar et al, 2017).

VSM es una poderosa herramienta que permite la visualización y comprensión del flujo de material e información a través de la cadena de valor. Se utiliza para proporcionar una visión global de las actividades involucradas en el proceso de producción, por lo que permite la identificación de los desperdicios (Rother y Shook, 2003).

Tiene como objetivo reducir los desperdicios identificados para así aumentar la eficiencia en los procesos de producción (Lacerda, Xambre y Alvelos, 2016). Menores costos de producción, un tiempo de respuesta más rápido para el cliente y mayor calidad de los productos son, por lo tanto, productos que se pueden esperar al aplicar VSM a un proceso de producción (Rother y Shook, 2003).

Al utilizar la herramienta VSM se sigue un método de tres pasos (Gahagan, 2007). Manos (2006) los describe como se presentan en la Tabla 2.2.

Paso	Actividad
1	Primero se produce un diagrama que muestra el flujo de material e información que representa el proceso real, conocido como el mapa del estado actual, se crea con información obtenida al caminar por la línea de producción.
2	En el segundo paso se identifican las causas de los desperdicios y las mejoras que pudieran realizarse en los procesos, las cuales tendrían un impacto financiero positivo. Se elabora un diagrama en el cual se plantea el estado al cual se quiere llevar la línea de producción, llamado mapa del estado futuro.
3	En el tercer paso, estas mejoras se llevan a cabo mediante eventos Kaizen.

Tabla 2. 2. Pasos para realizar un VSM (Manos, 2006). Elaboración Propia.

2.4.6. Flujos de Una Sola Pieza

La Manufactura Esbelta se centra en agilizar el flujo de materiales durante la producción de bienes, y hace hincapié en que para eliminar desperdicios de los procesos se debe cambiar de un flujo de lotes grandes hacia uno donde las piezas se muevan de una en una entre las diferentes estaciones del proceso. Para realizar esto es recomendable alinear las estaciones en forma de U. El Flujo de Una Sola Pieza es una regla de diseño que implica la producción en celdas de fabricación en base a "hacer uno, comprobar uno y avanza uno" (Black, 2007).

Wang y Li (2013) mencionan que el principio de Flujo de Una Sola Pieza estipula que las piezas en un lote viajan entre máquinas o procesos en una sola pieza, y no esperan a que se complete el resto del lote. En otras palabras, las operaciones de piezas en diferentes máquinas se superponen y se llevan a cabo en paralelo, lo que reduce los tiempos de espera de las piezas y, por lo tanto, los plazos de fabricación.

La producción de Flujo de Una Sola Pieza es un modelo destinado a disminuir el tiempo de ciclo de la producción. Tiende a mejorar el índice de tiempo de valor agregado en el ciclo, por lo que la productividad aumenta. Mediante su implementación se proporciona un método para la producción esbelta y una gestión eficiente de la cadena de suministro para las empresas manufactureras (Wang y Li, 2013).

La producción siguiendo un modelo de flujo en una sola pieza suele en ocasiones también llamarse producción JIT (White 1990). El fundamento básico de este modelo es evitar el desperdicio, así como eliminar productos no calificados. Específicamente, significa que el inventario en proceso entre diferentes estaciones de trabajo sea cero y que la producción se sincroniza en un ciclo establecido (Johnson y Lawrence, 1988).

Se trata de suministrar los materiales requeridos por el proceso en tiempo y en la cantidad requerida. El resultado de implementar este modelo es la disminución de la cantidad de inventario en proceso, y como consecuencia se eliminan depósitos intermedios, por lo que se debe optimizar el suministro de materiales en cada etapa del sistema (Womack y Jones, 2003). Las intenciones del modo de producción de flujo de una pieza son las siguientes:

Actualizará el problema de la calidad latente. Por lo general cuando se produce en masa, se mantiene el equilibrio debido a una gran cantidad de producto de entrada, lo que provocará la desconexión entre la transmisión de información, la retroalimentación y la manipulación. El modelo de Flujo de Una Sola Pieza actualizará los problemas porque la deficiencia de cualquier etapa, segmento y proceso conducirá a la suspensión de toda la línea (Jiang et al, 2010).

Sincronizará las operaciones en la línea de producción (He, Che y Cui, 2006). En el modo de producción en masa, la sincronización en toda la línea es difícil de realizar debido a las grandes cantidades de producto interno. Y el modo de Flujo de Una Sola

Pieza realizará la sincronización sobre la base de la operación y la norma estándar del producto intermedio y terminado (Chu, Yang y Chen, 2005).

Garantizará la rigidez de la organización. La aplicación de este modelo requiere un sistema de organización estricto y de gestión de producción, lo que exigirá que los diferentes departamentos de producción se centren en el campo de trabajo para realizar la división de trabajo clara en el extremo y la coordinación de relación en sentido transversal (Tugrul y Sedef, 2001).

2.5. Medibles de desempeño de producción

Groover (2015) apunta que las organizaciones exitosas suelen medir, cuantificar y administrar sus procesos y operaciones. Estas mediciones cuantitativas les permiten a las compañías estimar los costos de sus partes y productos, analizar el desempeño por periodos de tiempo (por ejemplo, meses y años), identificar problemas con el desempeño y comparar métodos alternativos. Los principales medibles que se utilizan son el tiempo de ciclo (T_c), la tasa de producción (R_p), la capacidad de planta (PC), la utilización (U), la disponibilidad (A), tiempo de fabricación (MLT) y el inventario en proceso (WIP), estas son definidas de la siguiente manera:

2.5.1. Tiempo de ciclo

Para una operación, el tiempo de ciclo (T_c) es el tiempo que se toma para procesar o ensamblar una unidad de trabajo. Es el tiempo entre cuando una unidad de trabajo comienza a procesarse (o ensamblarse) y cuando comienza la siguiente unidad. Es el tiempo que una parte individual pasa en la máquina, pero todo esto no solo consiste de tiempo de procesamiento, en una operación de procesamiento típica, el tiempo de ciclo consta de tres elementos: Tiempo de procesamiento real (T_o), tiempo de manejo de la pieza de trabajo (T_h) y tiempo de manejo de la herramienta por pieza de trabajo (T_t). Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$T_c = T_o + T_h + T_t \quad (2.1)$$

donde T_c = tiempo de ciclo, min/pieza; T_o = tiempo de la operación real de procesamiento o montaje, min/pieza; T_h = tiempo de manejo, min/pieza; y T_t = tiempo promedio de manejo de la herramienta, min/pieza, si tal actividad es aplicable.

2.5.2. Tasa de producción

La tasa de producción (R_p) para una operación de producción unitaria generalmente se expresa como una tasa por hora, es decir, unidades de trabajo completadas por hora (piezas/hora). La tasa de producción se determina según el tiempo del ciclo de operación para los tres tipos de producción: producción en el taller, producción por lotes y producción en masa.

En la producción del taller, las cantidades son bajas. En el extremo inferior del rango, cuando la cantidad es igual a uno ($Q = 1$), el tiempo de producción por unidad de trabajo (T_p) es la suma del tiempo de configuración (T_{su}) y tiempo de ciclo. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$T_p = T_{su} + T_c \quad (2.2)$$

donde T_p = tiempo promedio de producción, min/pieza; T_{su} = tiempo de preparación para preparar la máquina para producir la pieza, min/pieza; y T_c = tiempo de ciclo, min/pieza. La tasa de producción para la operación de la unidad es simplemente el recíproco del tiempo de producción, generalmente expresado como una tasa por hora. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$R_p = 60/T_p \quad (2.3)$$

donde R_p = tasa de producción por hora, piezas/hr; T_p = tiempo de producción, min/pieza; y la constante 60 convierte los minutos a horas. Cuando la cantidad de producción es mayor que uno, el análisis es el mismo que en la producción por lotes.

En el procesamiento por lotes secuencial, el tiempo para procesar un lote (T_b) que consta de unidades de trabajo Q es la suma del tiempo de configuración y el tiempo de procesamiento, donde el tiempo de procesamiento es la cantidad del lote (Q)

multiplicada por el tiempo del ciclo. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$Tb = T_{su} + QTc \quad (2.4)$$

donde Tb = tiempo de procesamiento del lote, min/lote; T_{su} = tiempo de preparación para preparar la máquina para el lote, min/lote; Q = cantidad de piezas por lote, piezas/lote; y Tc = tiempo de ciclo por unidad de trabajo, min/pieza.

Para obtener el tiempo de producción promedio por unidad de trabajo, se divide el tiempo para procesar un lote entre la cantidad de piezas por lote. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$Tp = Tb/Q \quad (2.5)$$

donde Tp = tiempo de producción promedio, min/pieza; Tb = tiempo de procesamiento del lote, min/lote; y Q = cantidad de piezas por lote, piezas/lote.

Para la producción en masa, la tasa de producción (Rp) es igual a la tasa de ciclo de la máquina (Rc), siendo este el recíproco del tiempo de ciclo de operación después de que la producción está en curso y los efectos del tiempo de configuración se vuelven insignificantes (Q se vuelve muy grande). Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$Rp \rightarrow Rc = 60/Tc \quad (2.6)$$

donde Rc = tasa de ciclo de la máquina, piezas/hr; Tc = tiempo de ciclo por unidad de trabajo, min/pieza; y la constante 60 convierte los minutos a horas.

Para la producción en masa de la línea de flujo, la tasa de producción se aproxima a la tasa de ciclo de la línea de producción, descuidando nuevamente el tiempo de configuración. Una complicación es que generalmente es imposible dividir el trabajo total en partes iguales entre todas las estaciones de trabajo en la línea; por lo tanto, una estación termina con el tiempo de operación más largo, y esta estación establece el ritmo para toda la línea. Teniendo en cuenta este factor, el tiempo de ciclo de una línea de producción es el tiempo de procesamiento (o ensamblaje) más

largo más el tiempo para transferir unidades de trabajo entre estaciones. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$T_c = \text{Max } T_o + T_r \quad (2.7)$$

donde T_c = tiempo de ciclo de la línea de producción, min/ciclo; $\text{Máx } T_o$ = tiempo de operación en la estación de cuellos de botella (el máximo de los tiempos de operación para todas las estaciones en la línea, min/ciclo); y T_r = tiempo para transferir unidades de trabajo entre estaciones cada ciclo, min/ciclo.

Teóricamente, la tasa de producción ideal se puede determinar tomando el recíproco de T_c . Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$R_c = 60/T_c \quad (2.8)$$

donde R_c = tasa de producción ideal o teórica, pero se denomina tasa de ciclo para ser más precisos, ciclos/hr; y T_c = tiempo de ciclo por unidad de trabajo, min/ciclo.

2.5.3. Disponibilidad

El tiempo perdido a causa de problemas de confiabilidad del equipo reduce las tasas de producción determinadas por las ecuaciones anteriores. La medida más útil de confiabilidad es la disponibilidad (A), definida como la proporción de tiempo de actividad del equipo; es decir, la proporción de tiempo que el equipo es capaz de operar en relación con las horas programadas de producción. La medida es especialmente apropiada para equipos automatizados.

La disponibilidad también se puede definir utilizando otros dos términos de confiabilidad, el tiempo medio entre fallas ($MTBF$) y el tiempo medio de reparación ($MTTR$). El tiempo medio entre fallas es el tiempo promedio durante el cual el equipo funciona antes de una avería, y el tiempo medio de reparación es el tiempo promedio requerido para dar servicio al equipo y volver a ponerlo en funcionamiento cuando ocurre una falla. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$A = (MTBF - MTTR)/MTBF \quad (2.9)$$

donde A = disponibilidad (proporción); $MTBF$ = tiempo medio entre fallos en horas; y $MTTR$ = tiempo medio de reparación en horas. La disponibilidad se expresa típicamente como un porcentaje.

2.5.4. Capacidad de planta

Las medidas cuantitativas de la capacidad de la planta (PC) se pueden determinar en base al modelo de tasa de producción (Rp) mencionado anteriormente. La medida de la capacidad de producción de una planta es el número de unidades producidas por período de tiempo (por ejemplo, semana, mes, año) y máquinas disponibles para producir la misma pieza. Como ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$PC = nH_{pc}Rp \quad (2.10)$$

donde PC = capacidad de producción, piezas/período; n = número de máquinas; H_{pc} = cantidad de horas en el período que se usa para medir la capacidad de producción (o la capacidad de la planta); y Rp = tasa de producción por hora, piezas/hr.

2.5.5. Utilización

Es la proporción de tiempo que se utiliza un recurso productivo (por ejemplo, una máquina de producción) en relación con el tiempo disponible según la definición de capacidad de la planta. Como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$U_i = \sum_j f_{ij} \quad (2.11)$$

donde U_i = utilización de la máquina i , y f = la fracción de tiempo durante las horas disponibles que una máquina i procesa el estilo de pieza j .

2.5.6. Tiempo de fabricación

En el entorno competitivo del comercio global, la capacidad de una empresa de fabricación para entregar un producto al cliente en el menor tiempo posible a menudo gana el pedido. El tiempo de fabricación (MLT) se define como el tiempo total

requerido para procesar una parte o producto dado a través de la planta, incluido cualquier tiempo debido a demoras, partes movidas entre operaciones, tiempo pasado en colas, etc. Por lo tanto, las actividades de producción se pueden dividir en dos categorías, operaciones unitarias y tiempos de no operación.

Se debe tomar en consideración el tiempo del ciclo de operación en una máquina dada (T_{cij}), así como el tiempo de no operación asociado con cada operación (T_{noij}). Además el número de operaciones separadas (máquinas) a través de las cuales la unidad de trabajo debe ser procesada (noj). Además, en la producción por lotes hay Q unidades de trabajo en el lote y que generalmente se requiere una configuración para preparar cada máquina para el producto en particular, lo que requiere un tiempo (T_{su}). Dados estos términos, el tiempo de espera de fabricación para un lote dado, como ecuación, se expresa de la siguiente forma:

$$MLT_j = \sum_{i=1}^{noj} (T_{suij} + Q_j T_{cij} + T_{noij}) \quad (2.12)$$

donde MLT_j = tiempo de entrega de fabricación para un lote de parte o producto j , min; T_{suij} = tiempo de configuración para la operación i en la parte o producto j , min; Q_j = cantidad de parte o producto j en el lote que se procesa, piezas; T_{cij} = tiempo de ciclo para la operación i en la parte o producto j , min/pieza; T_{noij} = tiempo de no operación asociado con la operación i , min; e i indica la secuencia de operación en el procesamiento, $i = 1, 2, \dots, noj$.

Para simplificar los asuntos y mejorar la conceptualización del aspecto de las operaciones de fábrica, se pueden usar valores promedio ponderados de la cantidad de lote, la cantidad de operaciones por lote, el tiempo de configuración, el tiempo del ciclo de operación y el tiempo de no operación para los lotes que se consideran. Con estas simplificaciones, la ecuación se reduce a lo siguiente:

$$MLT = no(T_{su} + QT_c + T_{no}) \quad (2.13)$$

donde MLT = tiempo promedio de fabricación para todas las partes o productos en la planta, mín; y los términos Q , no , Tsu , Tc , y Tno son valores promedio para estos parámetros.

2.5.7. Inventario en proceso

En estrecha relación con el tiempo de fabricación (MLT) está la cantidad de inventario ubicado en la planta como producto parcialmente terminado, llamado inventario en proceso (WIP). Cuando hay demasiado, el tiempo de fabricación suele ser largo.

El inventario en proceso es la cantidad de piezas o productos que se encuentran actualmente en la fábrica y que se están procesando o se encuentran entre las operaciones de procesamiento. Es un inventario que se encuentra en el estado de transformación de la materia prima a la pieza o producto terminado. Se puede obtener una medida aproximada del inventario en proceso a partir de la siguiente fórmula:

$$WIP = Rpph(MLT) \quad (2.14)$$

donde WIP = inventario en proceso en la planta, piezas; $Rpph$ = tasa de producción por hora, piezas/hr; y MLT = tiempo promedio de fabricación, hr.

2.6. Estudios previos

Durante un estudio se describe el uso del mapeo de la cadena de valor en un proceso de producción de piezas de automóvil para una importante empresa automotriz. Se recopilaron y analizaron datos relevantes del proceso para posteriormente, crear un mapa del estado inicial, de modo que pudieron identificar los desperdicios presentes en dicho proceso para luego mapear los procesos futuros y estimar cuales serían los beneficios financieros que se obtendrían llegando a ese estado. Las propuestas se presentaron, se discutió el plan de acción y se tomó la decisión sobre qué opción elegir. Como resultado, se redujo el tiempo de ciclo del proceso y el tiempo de entrega. También se redujo la fuerza laboral necesaria para

operar el proceso, y se consiguieron los ahorros económicos estimados (Lacerda et al, 2016).

Satoglu, Durmusoglu, y Ertay (2010) proponen una metodología compuesta por un modelo matemático para el diseño de un sistema híbrido de fabricación celular (HMS) con el objetivo de reducir al máximo las operaciones adicionales y definir el flujo ideal para el proceso, todo esto con el objetivo de facilitar la práctica de Flujo de Una Sola Pieza a la vez. Después de implementar la metodología en algunas compañías de pequeño y mediano tamaño, se obtuvieron como resultados más comunes la reducción de los inventarios en proceso, transportes y esperas, además, el tiempo de procesamiento de los sistemas se acortó significativamente en cada caso y el costo que se generaba al tener inventario en proceso se eliminó.

Rahani y Al-Ashraf (2012) señalan que el uso de VSM mejoró el enfoque en iniciativas de ME, ya que revela desperdicios obvios y ocultos que afectaron la productividad de la producción de la compañía D45T. Existía una gran cantidad de tiempo donde los productos solo esperaban a ser procesados y no se les agregaba valor. La evidencia cuantitativa mostró que muchas de las herramientas de ME tienen un impacto positivo relacionado con la reducción de este tiempo de espera. El VSM aplicado para evaluar el impacto esperado de un cambio en el proceso de producción dio como resultado ahorros y, en cierta medida, una visión positiva debió al hecho de que existían diferencias significativas entre el trabajo estandarizado y el trabajo real. Esta diferencia significaba que los trabajadores no seguían estrictamente los estándares de producción por lo que se tomaron acciones para evitar esos problemas.

2.7. Enfoques metodológicos

Las organizaciones utilizan diferentes metodologías, enfoques y herramientas para implementar una gestión de calidad y programas para la mejora continua de sus procesos. Es probable que el programa tenga un nombre o etiqueta diferente, como TQM (Total Quality Management), Six Sigma, BPR (Business Process

Reengineering), Excelencia operativa o Business Excellence. Independientemente del nombre, cada organización tendrá que utilizar una selección y combinación adecuadas de estas en sus procesos de implementación. La mayoría de estas metodologías, enfoques y herramientas se usan en todo el mundo y son fáciles de entender, pueden ser utilizadas por un gran parte del personal de la empresa, un ejemplo es el Ciclo PDCA o círculo de Deming (Sokovic, Pavletic y Pipan, 2010).

2.7.1 Ciclo de Deming

El ciclo de Deming, también conocido como círculo PDCA (por sus siglas en inglés) o espiral de mejora continua, es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos. Los resultados de su implementación permiten a las organizaciones una mejora integral de la competitividad, de los productos y servicios, mejorando continuamente la calidad, reduciendo los costos, aumentando la productividad, reduciendo los precios y aumentando la rentabilidad de la organización (Langley et al, 2009). Walton (1988) describen la metodología de la siguiente manera, la figura 2.1 simboliza el ciclo.

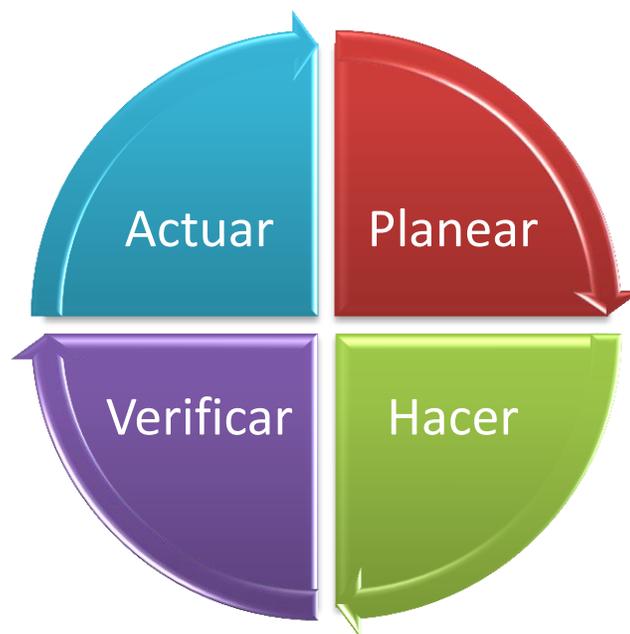


Figura 2. 1. Ciclo de Deming. Walton (1988). Elaboración propia.

Planear:

Se deben establecer las actividades que conforman al proceso y cuáles son los elementos por mejorar. Cuando sea posible se realizaran pruebas de preproducción o para probar los posibles efectos resultantes.

Las actividades por realizar durante esta etapa son:

- Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso.
- Detallar las especificaciones de los resultados esperados.
- Definir las actividades necesarias para lograr el producto o servicio, verificando los requisitos especificados.
- Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados necesarios de acuerdo con los requerimientos del cliente y las políticas organizacionales.

Hacer:

Se tienen que implementar los cambios propuestos durante la etapa anterior para llevar a cabo la mejora. Generalmente conviene hacer una prueba piloto o simulación para probar el funcionamiento antes de realizar los cambios a gran escala.

Verificar:

Después de pasado un periodo de maduración del proceso, los datos de control son recopilados y analizados, comparándolos con los requisitos especificados inicialmente, para saber si se han cumplido y, en su caso, evaluar si se ha producido la mejora esperada. Es necesario monitorear la implementación y evaluar el plan de ejecución documentando las conclusiones.

Actuar:

A partir de los resultados conseguidos en la fase anterior se procede a recopilar lo aprendido y a ponerlo en marcha. También suelen aparecer recomendaciones y

observaciones que suelen servir para volver al paso inicial de Planificar y así el círculo nunca dejará de fluir.

2.7.2. Principios fundamentales de Manufactura Esbelta

Womack y Jones (2003) indican que existen 5 principios fundamentales en la filosofía de la Manufactura Esbelta, a su vez, Nave (2002) menciona 5 puntos esenciales durante la aplicación de esta filosofía en cualquier industria y los cataloga como pasos a seguir, la Tabla 2.3 muestra como son enumerados y descritos.

Paso	Descripción
1. Identificar las características que crean valor para la organización.	Para determinar qué actividades son las que agregan valor al producto se debe observar desde el punto de vista del cliente interno y externo. Este valor se expresa en términos de como el producto satisface las necesidades del cliente. Se debe evaluar el producto o servicio en función a las características que agregan valor. La determinación de este valor puede ser desde la perspectiva del cliente final, o bien, del proceso posterior.
2. Identificar la cadena de valor.	Una vez identificado el valor, se determinan cuáles son las actividades que contribuyen a aportar valor al producto. Toda esta secuencia de actividades se denomina cadena de valor. Después se debe determinar si las actividades que no agregan valor al producto son necesarias o no. De serlo, se definen como un requisito previo para aquellas actividades que agregan valor directamente, o como una parte esencial del negocio. Finalmente, todas aquellas actividades que no agregan valor se reducen al mínimo posible o bien, se excluyen del proceso.

3. Trabajar en la mejora del flujo	Con las actividades que agregan valor y las que son necesarias definidas, los esfuerzos de la mejora deben ir dirigidos hacia el flujo de las actividades. El flujo es el movimiento ininterrumpido del producto a través del sistema, desde el inicio hasta el cliente. Las principales causas que suelen detener el flujo son el inventario en proceso, el procesamiento por lotes y el transporte. Estos factores ralentizan el tiempo total de procesamiento, es decir, el tiempo que lleva desde el inicio del proceso hasta el momento de entrega, además, representan dinero que se encuentra detenido, pudiendo este ser usado en cualquier otro lugar de la organización.
4. Permitir que el cliente tire	Una vez que se minimizan los desperdicios, y se establece un flujo, los esfuerzos se encaminan a permitir que el cliente sea quien determine la producción, es decir, adoptar un sistema "Pull". La compañía debe hacer que el proceso responda a la demanda del cliente solo cuando este lo necesite, no antes, ni después.
5. Trabajar hacia la perfección.	Una vez realizado lo anterior, se debe repetir el proceso constantemente con el fin de seguir mejorando. Continuar reduciendo las actividades que no agregan valor, mejorar el flujo y satisfacer la demanda del cliente en el menor tiempo y de la mejor manera posible.

Tabla 2. 3. Descripción de principios fundamentales de Manufactura Esbelta (Nave, 2002).
Elaboración propia.

2.7.3. Metodología para reducir inventario en proceso

Una última propuesta metodológica es analizada, la cual tiene como fin eliminar el inventario en proceso de los sistemas de producción de cierta organización, además, es flexible ya que permite utilizar la herramienta de Manufactura Esbelta que mejor

se adapte a la naturaleza del proceso. Es propuesta por Chávez y Romero (2017) y consta de 5 fases descritas a continuación. La Figura 2.2 muestra una breve síntesis de cada una de las fases de la propuesta metodológica acompañada de sus respectivos objetivos.

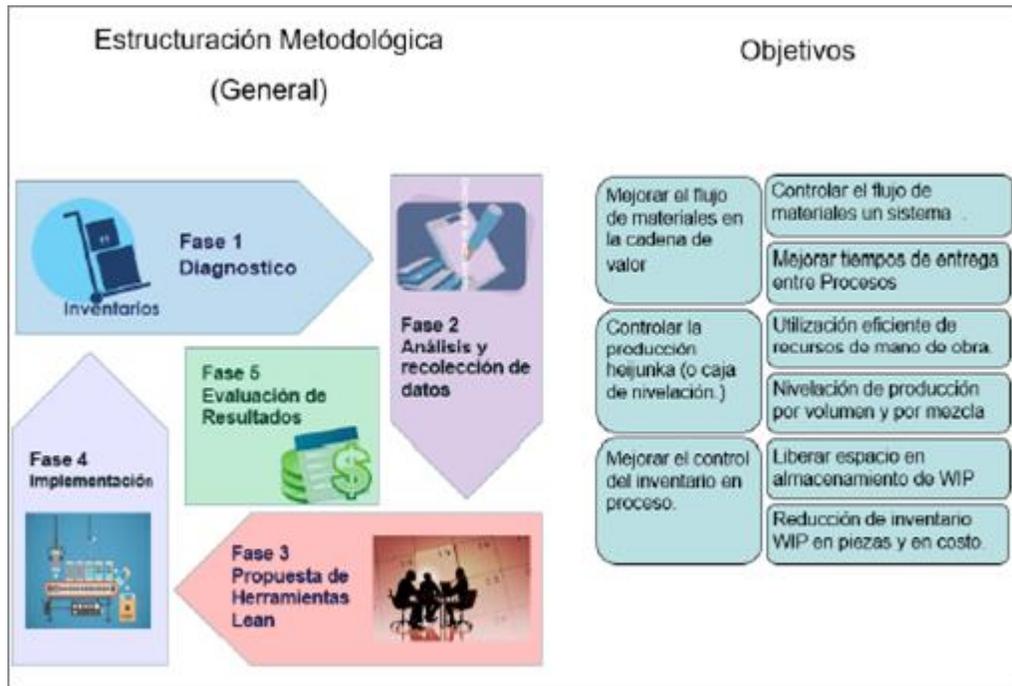


Figura 2. 2. Estructura metodológica (Chávez y Romero, 2017).

Fase 1. Diagnóstico

Esta primera fase consiste básicamente en recolectar información inicial, un diagnóstico dentro de la empresa detectando en el entorno todos los factores que intervienen dentro del flujo de materiales e información. A continuación, se muestran las actividades de esta fase que son:

- Descripción de actividades.
- Flujo de materiales entre procesos y desplazamientos.
- Obtención de información.

Fase 2. Análisis y Recolección de Datos

En esta fase de la investigación se busca complementar la recolección de información obtenida en la fase anterior con datos más contundentes que ayudarán a fortalecer el análisis del flujo de materiales entre los diferentes procesos. Se puede dividir en 2 etapas: Recolección de datos por negocio de trabajo y Análisis de información.

Etapa 1: Recolección de datos. En esta etapa se busca recolectar más información que ayude a entender de una manera más detallada el flujo de materiales en toda la cadena de valor con el fin de reducir el inventario en proceso. Esto es considerando desde la demanda del cliente hasta el envío del producto final.

- Identificación de la demanda de materiales.
- Identificar los parámetros que marcan el ritmo producción.
- Identificación de Control de inventarios (Niveles de inventario).

Etapa 2: Análisis de datos. Después de recolectar la información más relevante del caso de estudio, es necesario realizar un análisis de todos los elementos que interactúan con el fin de detectar áreas de oportunidad en algún eslabón de la cadena de suministro.

Una vez analizada la información, se debe realizar un plan de acción para trabajar sobre las áreas de oportunidad detectadas, que tiene como objetivo reducir el inventario en proceso. Este plan debe estar definido los responsables, las metas específicas y objetivos medibles y sobre todo un tiempo determinado. A continuación, se detallan cada una de las actividades que se llevarán a cabo en la etapa de análisis.

- Análisis de datos de sistema de información.
- Consolidación de la información recolectada.
- Identificación de áreas de mejoras.

Fase 3. Propuesta de herramienta esbelta

Una vez analizada la información e identificado las áreas de oportunidad, se proponen diversas alternativas de solución por medio de herramientas de Manufactura Esbelta, siempre buscando cumplir el objetivo principal; “la reducción del inventario en proceso”.

Estas propuestas también estarán enfocadas en reducir los desperdicios y mejorar el flujo de los materiales, estas tendrán que ser evaluadas por los responsables del proyecto para determinar la viabilidad de la aplicación de las herramientas, como también el posible impacto en los medibles inmediatos. Para todo esto será necesario seguir las actividades que a continuación se describen:

- Generación de alternativas de solución.
- Evaluación de alternativas de solución.
- Selección de herramientas lean.

Fase 4. Implementación de propuestas seleccionadas

En esta fase básicamente se llevan a cabo las fases anteriores aplicando las herramientas de Manufactura Esbelta, evaluando los resultados y dándoles seguimiento.

- Implementar la propuesta de solución.
- Evaluar los resultados obtenidos.
- Seguimiento.

Fase 5. Evaluación de resultados

En esta última fase se cuantifican los resultados obtenidos de todo el proyecto, presentando el impacto de las mejoras realizadas, así como también un comparativo del estado inicial del proyecto contra el estado final.

3. METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente, la Manufactura Esbelta es un conjunto de técnicas y herramientas que buscan eliminar desperdicios, siendo el Flujo de Una Sola Pieza una herramienta que forma parte de este conjunto de técnicas. Se eligió debido a que los principales resultados que ofrece van encaminados a cumplir los objetivos de este trabajo.

Con el fin de tener opciones a la hora de abordar el proyecto mediante un enfoque metodológico, se analizaron las tres propuestas presentadas en el capítulo anterior, apartado 2.7. Los factores generales que se tomaron en cuenta para decidir cuál sería más eficaz a la hora de emplearse fueron los siguientes: objetivo de la metodología, nivel de detalle y especificación de pasos a seguir, flexibilidad de aplicación.

Por lo tanto, para llevar a cabo los objetivos de esta tesis se decidió seguir como base la metodología propuesta por Chávez y Romero (2017) cuyo objetivo principal es el de reducir el inventario en proceso, mediante la aplicación de herramientas de Manufactura Esbelta, de un sistema de producción especificado. Se eligió además, ya que es flexible a la hora de decidir que herramientas de Manufactura Esbelta utilizar.

Por otro lado, se le hicieron algunas modificaciones a la propuesta mencionada, pensando en la adaptación de esta al panorama general de la empresa. En la etapa de Análisis se añadió el uso del Mapa de la Cadena de Valor. En el aparato de Selección de Herramienta Lean, se optó por priorizar la elección de la herramienta a utilizar. Se agregó la tarea de designación de actividades en el apartado de Implementación y la actividad de análisis de resultados se delegó justamente a la etapa de Resultados. La estructura es descrita en los párrafos siguientes.

3.1. Estructura Metodológica

A continuación, se presenta la metodología anteriormente mencionada, la cual consta de 5 fases principales. La Figura 3.1 enlista en orden cronológico dichas fases de manera breve.

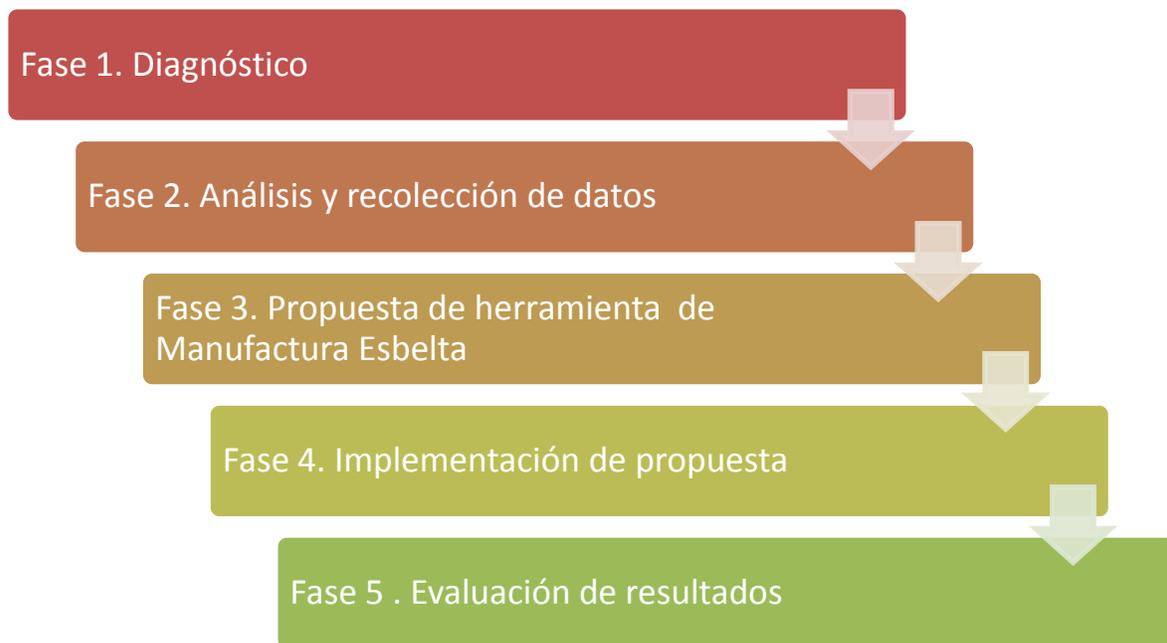


Figura 3.1. Fases metodológicas del proyecto. Elaboración propia (Adaptado de Chávez y Romero, 2017).

3.1.1. Fase 1 Diagnóstico

El objetivo de esta fase consiste en recolectar la información relacionada al entorno del proceso dentro de la empresa, con el fin de detectar y conocer aquellos factores que se relacionen con el flujo de los materiales. Las actividades por realizar en esta fase son las siguientes:

- Obtención de información general del proceso: Se debe observar el proceso de producción mediante un enfoque general con el fin de conocer el objetivo de este y la forma en que interactúan los diferentes elementos de este, los más comunes suelen ser el entorno, el material, las personas, las máquinas y el equipo de transporte.

- Descripción de actividades del proceso: Después de observar el proceso mediante un enfoque general, se procede a analizar cada una de sus etapas, por separado, para detectar las actividades que se realizan y comprender el modo en el que se opera, con el fin de hacer una descripción general de cada una de las actividades que intervienen a lo largo del sistema.
- Conocer el flujo de materiales entre procesos y los desplazamientos: Se debe de detectar el medio por el cual el material recorre las diferentes estaciones del proceso, la cantidad de material que viaja y en cuanto tiempo, así como la distancia de los desplazamientos.

3.1.2. Fase 2 Análisis y recolección de datos

El objetivo de esta fase es abundar en la recolección de información con el fin de obtener datos contundentes que permitan fortalecer el análisis del flujo de los materiales durante su procesamiento. Se divide en dos etapas: Recolección de datos y Análisis de información.

Recolección de datos. El propósito de esta etapa es recolectar más información que ayude a comprender de mejor forma el flujo de materiales en toda la cadena de valor con el fin de reducir el inventario en proceso.

- Identificación de la demanda de materiales: Se debe de identificar la cantidad de materiales que necesita el proceso para funcionar con normalidad durante determinada cantidad de tiempo.
- Identificar los parámetros que marcan el ritmo de producción: Se debe de identificar el factor o los factores principales que determinan el ritmo con el cual el proceso está trabajando y dando salida a las piezas terminadas.
- Identificación de Control de inventarios: Se deben de identificar los niveles de inventario que se manejan en el proceso, ya sean iniciales, finales o entre estaciones.

Análisis de datos. Una vez recolectada la información más importante del caso de estudio, se deberá realizar un análisis de los elementos que interactúan en el proceso con el fin de detectar áreas de oportunidad en algún eslabón de la cadena de suministro. A continuación, se detallan cada una de las actividades que se llevarán a cabo en la etapa de análisis.

- Identificación de áreas de mejoras: Se deben detectar las partes del proceso donde exista la posibilidad de reducir desperdicios significativamente, dando prioridad al inventario.
- Elaboración de VSM: Se debe elaborar un mapa de la cadena de valor del estado actual para tener una visión general con información del proceso que sirva como herramienta complementaria para el punto anterior.

3.1.3. Fase 3 Propuesta de herramienta de Manufactura Esbelta

Siendo el objetivo principal la reducción del inventario en proceso, se deben de presentar alternativas de mejora para las áreas de oportunidad detectadas, basándose en la herramienta seleccionada.

Dichas alternativas estarán enfocadas en reducir los desperdicios y mejorar el flujo de los materiales, deberán ser evaluadas por los líderes del proyecto para determinar la viabilidad de la aplicación, así como el posible impacto en los medibles inmediatos. Para todo esto se realizarán las siguientes actividades:

- Selección de la herramienta de Manufactura Esbelta: Se debe de elegir una que sea aplicable para el caso en cuestión. Se deben tomar en cuenta los posibles beneficios que esta traerá consigo.
- Generación de alternativas de mejora: Se deben de presentar al menos dos propuestas de cómo llevar a cabo la implementación de la herramienta seleccionada, incluyendo aquellas actividades necesarias para efectuar su implementación, estas deben ser factibles y potencialmente realizables, además, deben traer consigo una significativa disminución de desperdicios.

- Evaluación y selección de propuestas de mejora: Con el objetivo de determinar y llevar a cabo la propuesta que presente mayores beneficios para la organización, las alternativas serán evaluadas con la herramienta VSM, haciendo el mapeo del estado futuro para cada una de ellas con el fin de predecir resultados potenciales, además, para la decisión final, se tomarán en cuenta otros criterios que para la organización, sean de alto interés.

3.1.4. Fase 4 Implementación de herramienta seleccionada

Una vez elegida la herramienta a utilizar, y habiendo determinado cómo se llevará a cabo la implementación de esta, el objetivo de esta fase es la ejecución de las tareas que se deben llevar a cabo, las cuales son las siguientes:

- Designación de actividades: Se debe determinar a los responsables de las tareas que serán necesarias consumir durante la realización del proyecto.
- Implementar la propuesta de mejora: Los responsables deben llevar a cabo las actividades, de acuerdo con lo planeado, para que el proceso entre en funcionamiento de la forma prevista en la fase anterior.

3.1.5. Fase 5 Evaluación de resultados

El objetivo de esta última fase es cuantificar los resultados obtenidos de todo el proyecto, presentando el impacto de las mejoras realizadas, así como también un comparativo del estado inicial del proceso contra el estado final.

- Evaluación de resultados: Después de haber efectuado y concluido la implementación, se deben medir las nuevas condiciones y atributos en los cuales opera el proceso.
- Determinar el impacto obtenido: Se deben de comparar los medibles del estado inicial contra los medibles que se obtendrán después de haber implementado la propuesta de mejora. Esto permitirá ver el impacto obtenido.

Se puede realizar nuevamente un mapa de la cadena de valor para compararse con el anterior.

4. IMPLEMENTACIÓN

La implementación de este proyecto se llevó a cabo en el área de ensamble, concretamente en el proceso de los Pilares B, siguiendo la metodología planteada en el capítulo anterior, desarrollándose como a continuación se presenta.

4.1. Fase 1 Diagnóstico

Durante la fase 1 de la metodología, se obtuvo información general del proceso de ensamble del Pilar B mediante el dialogo con el personal de la organización, posteriormente se conocieron las instalaciones para así obtener un panorama general del flujo de materiales. La Figura 4.1 es una fotografía que muestra parte del área donde se lleva a cabo el proceso.

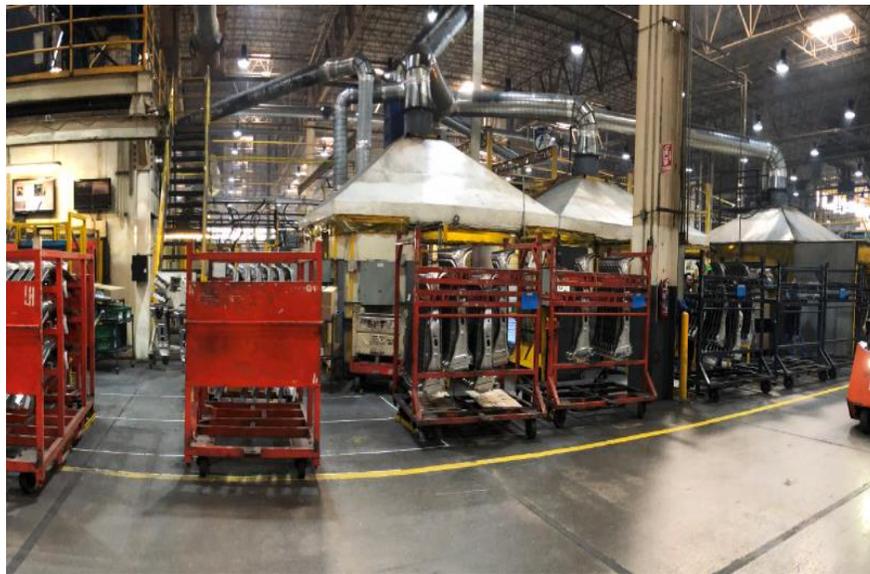


Figura 4. 1. Área de trabajo (Estaciones 12 RH/LH y RW RH/LH).

- Obtención de información general del proceso: El objetivo de este proceso es ensamblar, mediante soldadura, los componentes llamados Pilar B Derecho y Pilar B Izquierdo (RH/LH), estos componentes son sub-ensambles compuestos por diferentes piezas de acero. Para la realización de dichos sub-ensambles, se cuenta con 3 estaciones de trabajo por lado (Estación Laser

1/2, Estación 12 Derecha/Izquierda y Estación RW Derecha/Izquierda.), trabajando estas de manera simultánea, donde interactúan los colaboradores de mano de obra, los robots de soldadura, los colaboradores de transporte y el equipo de transporte, todo esto dentro del área de operaciones de la organización. La Figura 4.2 muestra la distribución de las estaciones anteriormente mencionadas.

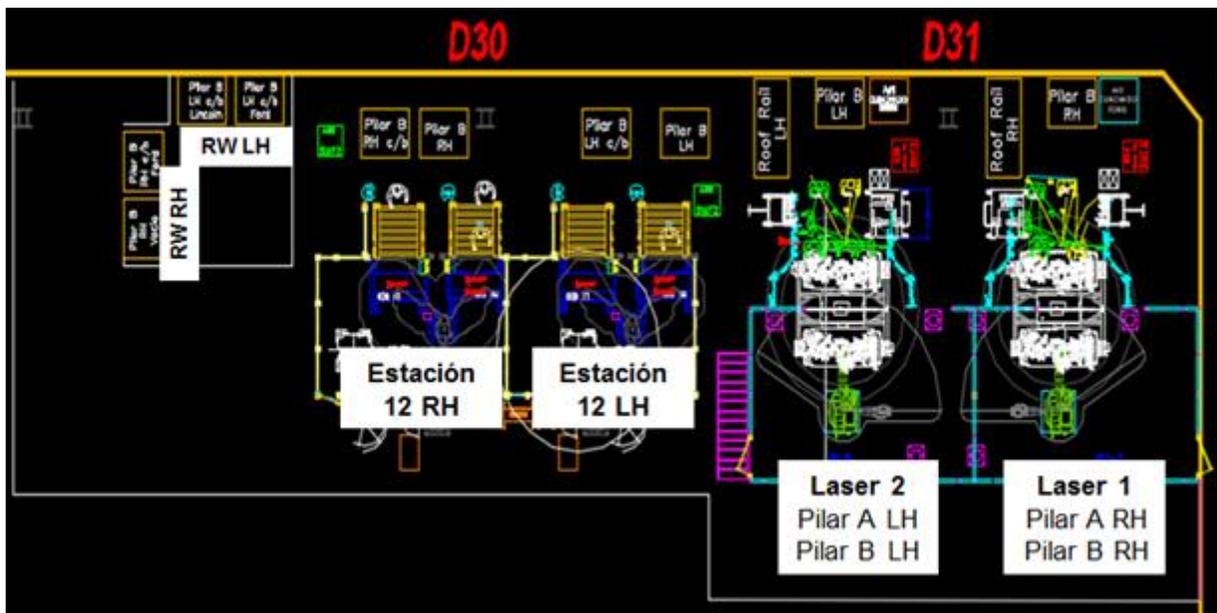


Figura 4. 2. Distribución de estaciones de proceso. Elaboración propia.

- Descripción de actividades: Las actividades que se realizan para el Pilar B Derecho son las mismas que se realizan para el Pilar B Izquierdo. La tabla 4.1 enlista y describe dichas actividades mientras que la Figura 4.3 muestra el diagrama de operaciones del proceso.

No.	Actividad	Descripción
1	Carga de material	Los colaboradores de mano de obra cargan de manera manual las piezas de acero que se encuentran en contenedores alrededor de su área de trabajo en el carrusel de la estación Laser correspondiente. Mientras tanto, el Robot laser está ocupado soldando piezas de acero para el proceso de

		ensamble del Pilar A, ajeno a este caso de estudio.
2	Soldadura Laser	Una vez cargadas las piezas y el Robot desocupado, este comienza a soldarlas de manera automática para formar el Pilar B. Mientras tanto, los colaboradores se ocupan cargando las piezas para el Pilar A, ya mencionado como ajeno a este caso de estudio.
3	Descarga Pilar B	Una vez soldado el Pilar B, este es tomado por un colaborador y puesto en un contenedor con llantas.
4	Transporte 1	Una vez lleno el contenedor, es jalado por un vehículo eléctrico manejado por un colaborador del área de logística, después es colocado en un almacén temporal.
5	Transporte 2	Luego de esperar un tiempo en dicho almacén, el contenedor es llevado a la siguiente estación: Est. 12 Derecha/Izquierda.
6	Soldadura de <i>Braquet</i>	Un colaborador se encarga de tomar un Pilar B del contenedor y colocarlo en una mesa que se encuentra en la Estación 12. Adicionalmente, toma una pieza de acero, llamada <i>Braquet</i> , que se encuentra alrededor de la estación, y la coloca sobre el Pilar B. A continuación, un Robot se encarga de realizar una soldadura automática. Finalmente, el colaborador toma el Pilar B que ahora cuenta con el <i>Braquet</i> , y es puesto en otro contenedor con llantas.
7	Transporte 3	Nuevamente, una vez lleno dicho contenedor, es jalado por un vehículo eléctrico manejado por un colaborador del área de logística, y es colocado en un almacén temporal diferente al anteriormente mencionado.
8	Transporte 4	Luego de esperar un tiempo en dicho almacén, el contenedor es llevado a la siguiente estación: Estación RW Derecha/Izquierda.
9	Reforzado	Un colaborador se encarga de tomar el Pilar B del contenedor y

	de puntos	lo coloca en una mesa sobre la Estación RW, después, refuerza con soldadura manual los puntos que fueron programados a primera hora del día. Al terminar pasa el Pilar de mano a mano a un colaborador que se encuentra a su lado.
10	Pulido	Para finalizar, este último colaborador, pule las orillas del Pilar B y lo coloca en otro contenedor con llantas. Este contenedor será llevado a un almacén a la espera de ingresar a otra línea principal donde se genera un ensamble considerado producto terminado por la organización.
11	Prueba	Adicionalmente, a primera hora de cada turno, se realiza una prueba de resistencia a las soldaduras que realiza el Robot en las respectivas Estaciones Laser, donde se determina que soldaduras no cumplen con las especificaciones del cliente, es por esto que como se mencionó anteriormente, algunas de ellas se deben reforzar.

Tabla 4. 1. Actividades del procesamiento del Pilar B. Elaboración propia.

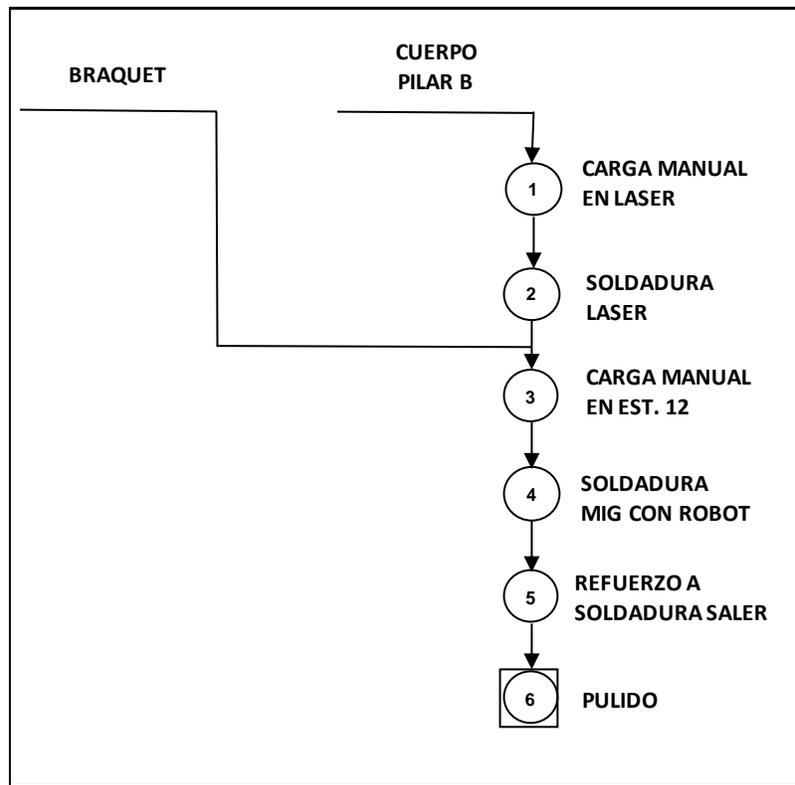


Figura 4. 3 Diagrama de operación de Pilar B. Elaboración Propia.

- Conocer el flujo de materiales entre procesos y los desplazamientos: Se detectó de manera general que el material no avanza directamente de estación a estación, sino que, primero es puesto en almacenes temporales, para ello, el material es desplazado por los pasillos de las instalaciones de la organización.

4.2. Fase 2 Análisis y recolección de datos

Durante la fase 2 de la metodología, se complementó la información obtenida previamente con datos más contundentes, los cuales se mencionarán a continuación, que permitieron visualizar el proceso de una forma más clara. Durante la etapa de recolección de datos se obtuvo la siguiente información:

- Identificación de la demanda de materiales: La demanda y producción diaria es de 1000 unidades de Pilar B Derecho y otras 1000 unidades más de Pilar B Izquierdo.

- Identificar los parámetros que marcan el ritmo de producción: El ritmo de producción está marcado por las Estaciones Laser 1 y Laser 2, ya que conforman la parte más lenta del proceso (TC= 58 segundos). La tasa de producción se obtuvo utilizando la Fórmula 2.8 y es de 62 unidades por hora de cada lado de Pilar B. Además, se maneja un tamaño de lote de 40 unidades, dictado por la capacidad de los contenedores, por lo que, complementando el punto anterior, la demanda y producción diaria es de 25 contenedores por Pilar B Derecho y 25 contenedores por Pilar B Izquierdo. El tiempo diario disponible para producción es de 18 horas netas. La disponibilidad de las máquinas se toma del 95% debido a que no se han presentado paros de producción a lo largo del procesamiento debido al plan de mantenimiento preventivo. Para calcular el tiempo de fabricación (MLT) de un lote de Pilares B, independientemente del lado, tomando en cuenta las demoras y tiempo productivo, se utilizó la Fórmula 2.12, el resultado fue de 428.55 minutos y el detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo 1. Los desplazamientos involucrados en los Pilares B son de 4 por lote, teniendo una producción diaria de 50 lotes tomando en cuenta ambos lados, se determina que hay un total de 200 traslados diarios. Se muestran en la Figura 4.4.
- Identificación de Control de inventarios: Se tiene un inventario entre estaciones (Buffer) de 160 partes entre cada estación por lado, dando un total de 320 piezas de Pilar B sin *Braquet* y 320 piezas ya con *Braquet*. Utilizando la Fórmula 2.14 se calculó que el promedio estimado que se mantiene de inventario en proceso (WIP) es de 442.8 unidades por lado de Pilar. Se maneja un inventario de Pilares B conformes de 480 por cada lado, dando un total de 960 unidades listas para entrar a una línea principal.

La tabla 4.2 muestra en resumen la etapa de recolección de datos, es decir, muestra los datos relevantes descritos en los puntos anteriores.

Concepto	Cantidad
Demanda	1000 unidades/lado
Tiempo de ciclo	58 segundos/unidad
Tamaño de lote	40 unidades/contenedor
Tasa de producción	62 unidades/hora/lado
Disponibilidad	95%
MLT	428.55 minutos/lote
WIP	442.8 unidades/lado
Tiempo de producción neto	18 horas/día
Traslados	4 traslados/lote
Buffer	160 piezas/lado*estación
Nivel de inventario	480 unidades/lado

Tabla 4. 2. Datos relevantes del proceso de ensamble de Pilar B. Elaboración propia.

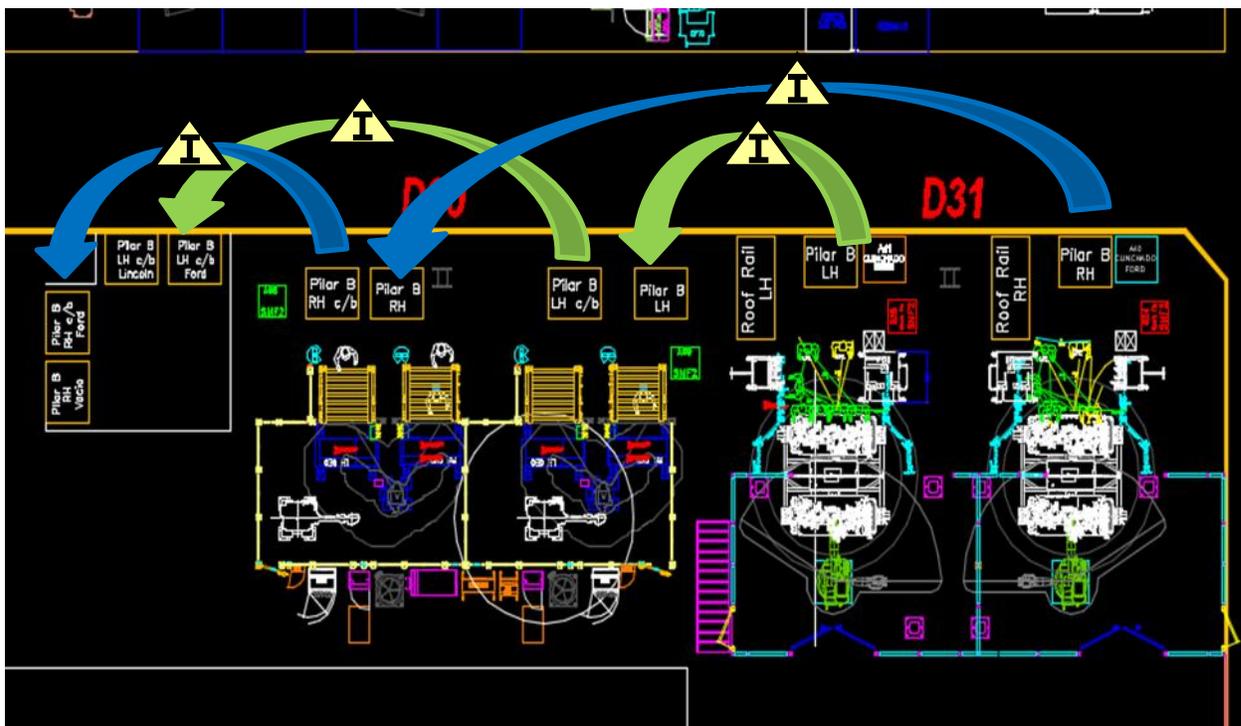


Figura 4. 4. Flujo de transportes de Pilares B. Elaboración propia.

Una vez que se recolectó la información más importante del caso de estudio se procedió a analizar el proceso con la ayuda de los datos obtenidos con el fin de detectar áreas de oportunidad.

- Identificación de áreas de mejoras: Las áreas de oportunidad detectadas se enlistan a continuación:
 - Reducir el inventario en proceso.
 - Disminuir Lead Time.
 - Liberar espacio.
 - Eliminar movimientos.
 - Disminuir Man-Power.
 - Mejorar el FIFO
 - TPM en paro programado
 - Mantenimiento preventivo en Estaciones Laser
- Elaboración de VSM actual: Se realizó un mapa de la cadena de valor del estado presente para obtener una visión general del proceso y como herramienta de análisis que ayudó a organizar y esquematizar la información extraída, en dicho mapa se muestran detalles del proceso, tales como, el tiempo de ciclo del proceso, el tiempo productivo en cada operación, los almacenes, el inventario en proceso y el tiempo total de fabricación. Los datos de este mapa representa el proceso ya sea para el Pilar B Derecho o Izquierdo de manera separada, mas no ambos simultáneamente, se muestra en la Figura 4.5.

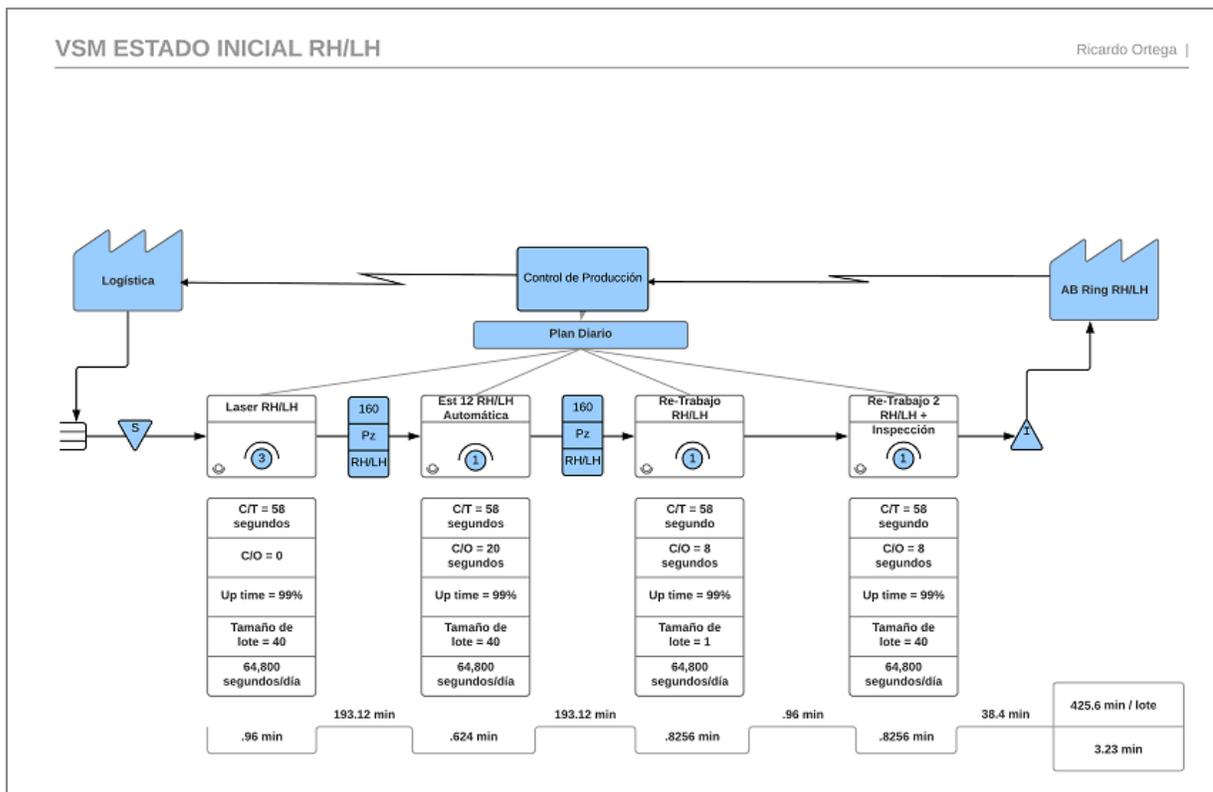


Figura 4. 5. VSM del estado inicial. Elaboración propia.

4.3. Fase 3 Propuesta de herramienta de Manufactura Esbelta

Una vez analizada la información, y habiendo previamente identificado las áreas de oportunidad, se procedió a elegir cual sería la herramienta de Manufactura Esbelta que pudiera ser aplicable para el proceso en cuestión y que generara el mayor impacto positivo en las áreas de oportunidad detectadas.

- Selección de la herramienta de Manufactura Esbelta: Se estableció que la herramienta de Manufactura Esbelta a utilizar sería el Flujo de Una Sola Pieza. Se determinó el uso de dicha herramienta debido a todos los beneficios que, documentados en la literatura, presenta su implementación, y además, esta se adaptaba al caso de estudio. Con ella se crearía un impacto positivo en las áreas de oportunidad y se lograría reducir el inventario en proceso, trayendo consigo la mejorar el flujo de los materiales.

- Generación de alternativas de mejora: Una vez definida la herramienta, se presentaron 3 propuestas factibles para la implementación del Flujo de Una Sola Pieza. La propuesta número uno consistía en utilizar Conveyor flotante a lo largo de las estaciones para trasladar los Pilares B entre estaciones. La propuesta número dos consistía en asignar la producción de los Pilares B Derechos e Izquierdos a la Estación Laser 2 y redistribuir las estaciones consecuentes. La propuesta número tres consistía en solo utilizar el Flujo de Una Sola Pieza para los Pilares B de la Estación Laser 2 a la Estación 12 Izquierda e invertir la ubicación de las Estaciones RW Derecha e Izquierda para también utilizar dicho flujo con los Pilares B Derechos cuando pasaran de su respectiva Estación 12 a Estación RW. La tabla 4.3 muestra las actividades a realizar para cada propuesta.

Propuesta 1. Utilización de Conveyor.	Propuesta 2. Reasignación de actividades en Estaciones Laser y Rediseño y reacomodo de Estaciones subsecuentes.	Propuesta 3. Flujo de Una Sola Pieza Parcial.
<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar Buffer. • Definir y medir distancia entre puntos de salida y recepción de Pilares B entre cada estación. • Determinar la altura adecuada del conveyor y estudiar el impacto ergonómico. • Gestionar y cotizar 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar Buffer. • Producir ambos lados del Pilar B en Estación Laser Izquierda. • Diseño de perchero para colocar Pilar B entre estaciones. • Elaboración de perchero. • Planear rediseño y reacomodo de 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar Buffer. • Diseño de perchero para colocar Pilar B entre estaciones donde se utilizará Flujo de Una Sola Pieza. • Elaboración de perchero. • Invertir los lugares entre la Estación RW

diseño con proveedor. • Fabricación e instalación de conveyor por parte del proveedor. • Capacitación de colaboradores.	Estaciones. • Llevar a cabo el reacomodo de estaciones con proveedor. • Capacitación de colaboradores.	Derecha y la Estación RW Izquierda. • Capacitación de colaboradores.
---	--	---

Tabla 4. 3. Actividades para realizar por alternativa propuesta. Elaboración propia.

- Evaluación y selección de propuestas de mejora: Una vez presentadas las alternativas, éstas fueron evaluadas con la ayuda de la herramienta VSM, se realizó un mapa del estado futuro de cada una de ellas con el fin de predecir el posible impacto que generarían, es importante señalar que los datos de los mapas representan al proceso ya sea para el Pilar B Derecho o Izquierdo, mas no a ambos simultáneamente, estos mapas de las Propuestas 1, 2 y 3 se muestra respectivamente en las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8. Además, el tiempo para llevar a cabo el proyecto y la inversión monetaria necesaria para realizarlo fueron factores a considerar, se generaron estimaciones del tiempo que tomaría en llevarse a cabo cada alternativa, mostradas en la Tabla 4.4, así como de las necesidades que incurrirían en costos durante la implementación de cada una de ellas, mostrados en la Tabla 4.5.

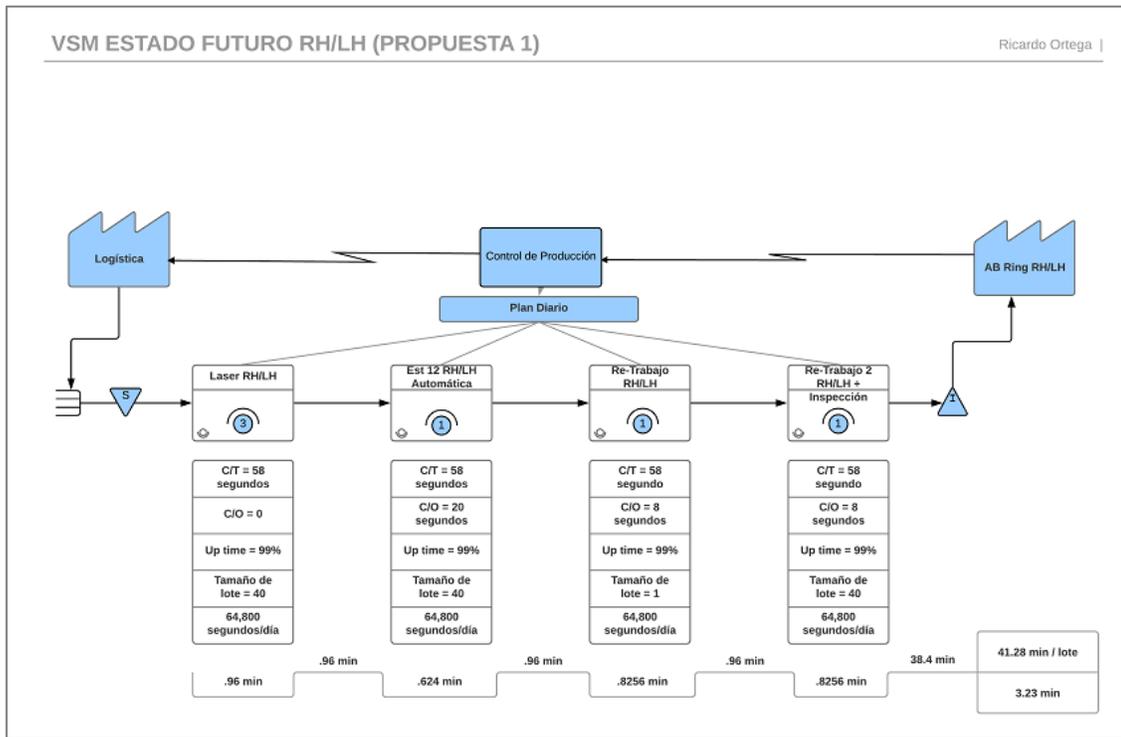


Figura 4. 6. VSM del estado futuro de Propuesta 1. Elaboración propia.

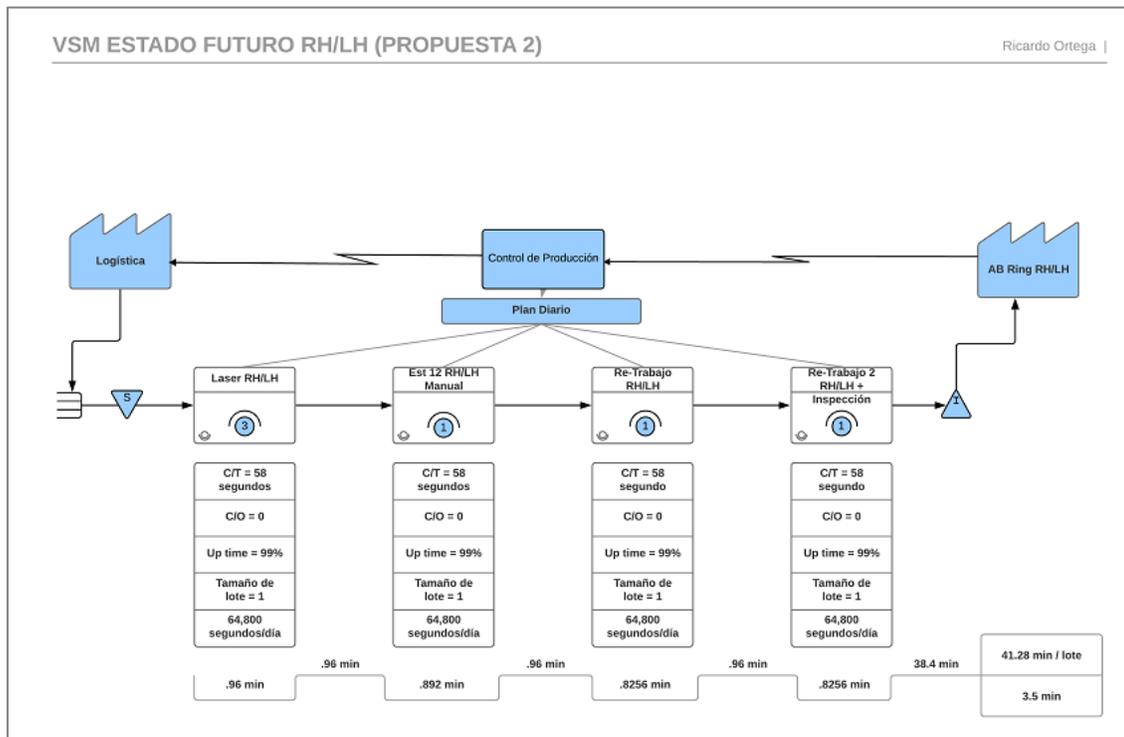


Figura 4. 7. VSM del estado futuro de Propuesta 2. Elaboración propia.

Propuesta	Actividad	Tiempo	Total
1	Definir y medir distancia entre puntos de salida y recepción de Pilares B entre cada estación	1 semana	10-14 semanas
	Determinar la altura adecuada del conveyor y estudiar el impacto ergonómico.	1 semana	
	Gestionar y cotizar diseño con proveedor	2 semanas	
	Fabricación e instalación de conveyor por parte del proveedor	6-10 semanas	
2	Producir ambos lados del Pilar B en Estación Laser Izquierda.	1 semana	6-7 semanas
	Diseño de perchero para colocar Pilar B entre estaciones.	1 semana	
	Elaboración de perchero	1 semana	
	Planear rediseño y reacomodo de Estaciones	1-2 semanas	
	Llevar a cabo el reacomodo de estaciones con proveedor.	1-2 semanas	
3	Diseño de perchero para colocar Pilar B entre estaciones donde se utilizará Flujo de Una Sola Pieza	1 semana	3-4 semanas
	Elaboración de perchero	1 semana	
	Invertir los lugares entre la Estación RW Derecha y la Estación RW Izquierda.	1-2 semanas	

Tabla 4. 4. Estimaciones de tiempo para llevar a cabo cada alternativa. Elaboración propia.

Propuesta	Necesidades que incurrirían en costos
1	Fabricación de conveyor por parte del proveedor
	Instalación de conveyor por parte del proveedor
2	Rediseño de estaciones. Se contempla la compra de dos mesas de trabajo, dos soldadoras de microalambre; el desmonte de pedestales y monte de nuevos pedestales.
	Material para fabricación de 4 percheros
3	Material para fabricación de 2 percheros

Tabla 4. 5. Necesidades que incurrirían en costos durante la implementación para llevar a cabo cada alternativa. Elaboración propia.

Una vez comparados los posibles resultados que ofrecen las diferentes propuestas, la número 3 quedo descartada debido a que no prometía resultados tan positivos como las dos anteriores. Como se mencionó anteriormente, el tiempo y el costo de implementar cada una de ellas también eran factores importantes a tomar en cuenta, gracias a la estimación de dichos factores fue como se tomó la decisión de llevar a cabo la alternativa número 2, debido a que el tiempo estimado para llevarse a cabo rondaba alrededor de la mitad del tiempo que llevaría la alternativa 3, además, el costo estimado de esta, resultó ser más del doble que el de la número 2.

4.4. Fase 4 Implementación de herramienta seleccionada

Una vez elegido el Flujo de Una Sola Pieza como herramienta a utilizar, y habiendo seleccionado la alternativa propuesta para llevar a cabo la implementación, se designaron las tareas que se debían llevar a cabo.

- Designación de actividades: Se determinó que los responsables de las actividades para realizar la implementación serían quienes integran el departamento de Ingeniería de Ensamble de la organización.
- Implementar la propuesta de mejora: Las actividades se llevaron de acuerdo con lo planeado, para que el proceso funcione de la forma prevista en la fase anterior. A continuación, de detallan dichas actividades:

Eliminar Buffer. La primera actividad de la implementación consistió en llevar a cabo el proceso de producción sin el inventario entre estaciones. Esto se empezó a hacer semanas previas a la realización de las siguientes actividades. Para ello se habló con el personal encargado de las actividades de logística interna de la organización, así como con los operadores de los vehículos eléctricos que mueven los contenedores de Pilares B y los colaboradores de la línea de producción. Se les explicó que los contenedores de Pilares B dejarían de ser llevados a los almacenes temporales y comenzarían a pasar, por medio del personal de logística y la ayuda de los

vehículos eléctricos, directamente a la siguiente estación. A consecuencia de lo anteriormente descrito, se liberó espacio y disminuyó el recorrido de los vehículos eléctricos, al mismo tiempo que se redujo el inventario en proceso.

Producir ambos lados del Pilar B en Estación Laser 2. La siguiente actividad de la implementación se realizó durante un paro de labores de producción programado de la organización, consistió en llevar a cabo el ensamble de ambos lados del Pilar B en la Estación Laser 2, debido a que esta es la que está más cerca de las siguientes estaciones del proceso. Por ende, ambos lados del anteriormente mencionado Pilar A, ajeno a este caso de estudio, comenzó a ser ensamblado en la Estación Laser 1. Para efectuar dicha actividad, previamente se había consultado la factibilidad de esta con el área de especialistas laser de la organización. Los técnicos de este departamento fueron los encargados de cambiar las bases donde se montan las piezas de acero entre las diferentes estaciones y los robóticos fueron quienes ajustaron la programación de los robots de soldadura laser para dichos cambios. Una vez concluido lo anterior, se presentó un incremento del tiempo de ciclo de 10 segundo, esto debido a que las soldaduras realizadas para formar el Pilar B toman más tiempo que las realizadas para el Pilar A, generando un lapso de tiempo muerto una vez los colaboradores terminaban de cargar las piezas del Pilar B. El análisis de dichos tiempos se muestra en la Tabla 4.6. Por lo tanto, el área de especialistas laser realizó ajustes en la programación del proceso para reducir esos 10 segundos que se habían incrementado, la Tabla 4.7 muestra un resumen de las reducciones de tiempo que se obtuvieron, donde finalmente, se recuperó el tiempo de ciclo original, la Tabla 4.8 muestra el análisis del nuevo tiempo de ciclo.

Tiempo Ciclo Laser 2 con Pilar A y B	58 s.	Tiempo Ciclo Laser 2 con Pilares B	68 s.
Carga de piezas Pilar B	19 s.	Carga de piezas Pilar B + tiempo muerto	29 s.
Soldadura Laser	29 s.	Soldadura Laser	29 s.
Giro de mesa	10 s.	Giro de Mesa	10 s.
Piezas por hora	62 pz.	Piezas por hora	52 pz.

Tabla 4. 6. *Tiempos de ciclo Laser 2 antes y después de cambio. Elaboración propia.*

Actividad	Reducción en segundos
Aumentar la velocidad del giro de la mesa	4 s.
Acercar la posición inicial de robot a primer punto de soldadura	1 s.
Disminuir la longitud de los cordones de soldadura	1 s.
Cambio de cordones doble por sencillo de mayor grosor	1 s.

Tabla 4. 7. *Resumen reducciones de tiempo en Laser 2. Elaboración propia.*

Tiempo Ciclo Laser 2 con Pilares B	58 s.
Carga de piezas Pilar B + tiempo muerto	26 s.
Soldadura Laser	26 s.
Giro de Mesa	6 s.
Piezas por hora	62 pz.

Tabla 4. 8. *Tiempo de ciclo después de ajustes en Laser 2. Elaboración propia.*

Diseño de perchero para colocar Pilar B entre estaciones. Al mismo tiempo que se realizaba lo anteriormente descrito, se realizó el diseño de un perchero metálico, su función es la de albergar los Pilares B en proceso que viajan de uno en uno entre las diferentes estaciones. Son los colaboradores los que se encargaran de colocar los Pilares en los percheros para que los respectivos colaboradores de las siguientes estaciones los tomen. La Figura 4.9 muestra dicho diseño.

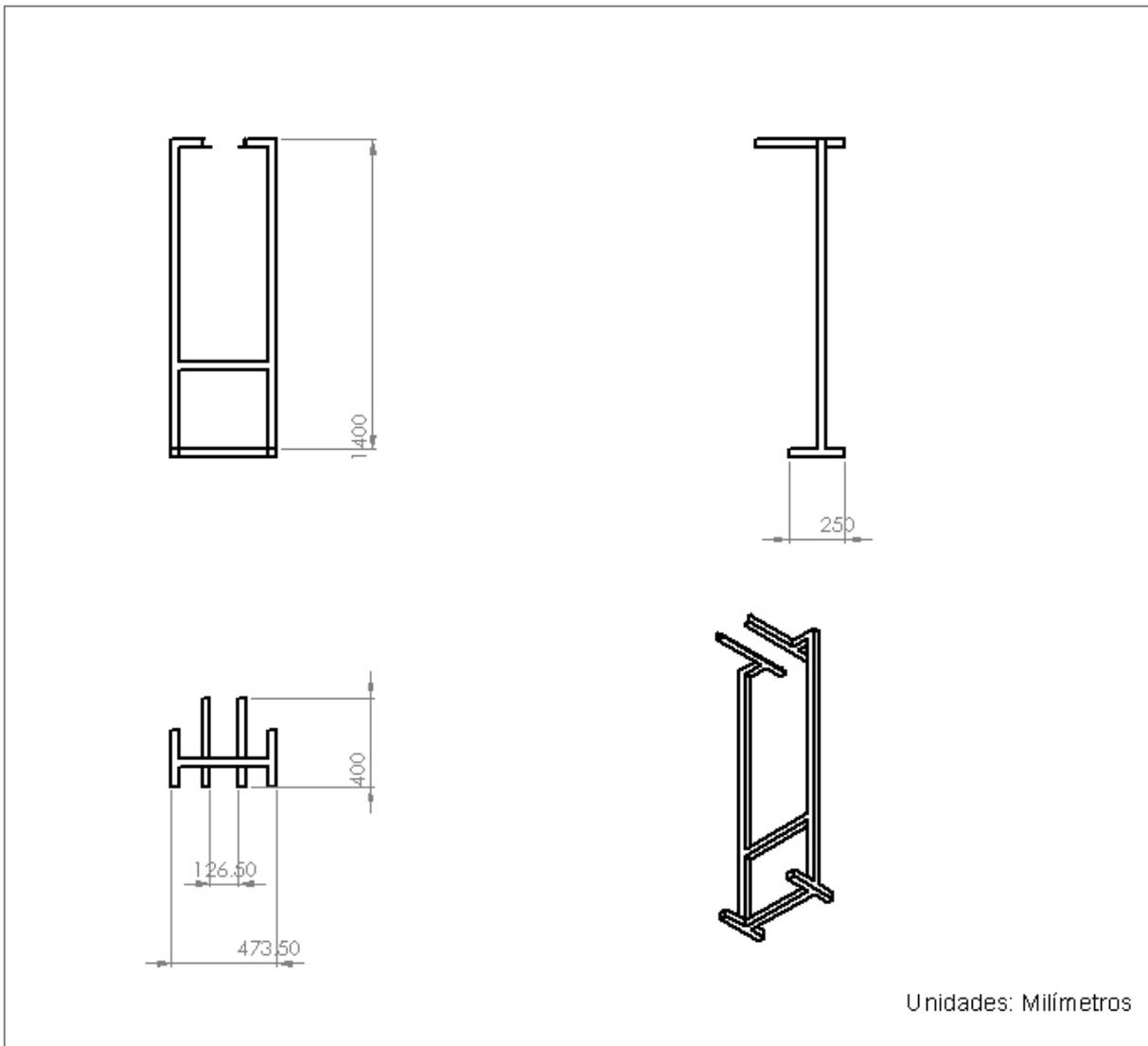


Figura 4. 9. *Diseño de perchero. Elaboración propia.*

Elaboración de perchero. Una vez diseñado el perchero, el departamento de mantenimiento se encargó de fabricar cuatro de ellos, la ubicación de estos quedara detallada en el siguiente párrafo.

Rediseño y reacomodo de estaciones. Anteriormente, las Estaciones 12 Izquierda y 12 Derecha se encontraban enseguida de la Estación Laser 2 en ese orden, y después de ellas se encontraba la Estación RW Izquierda y RW Derecha, todas de manera consecutiva, como se muestra en la Figura 4.10.

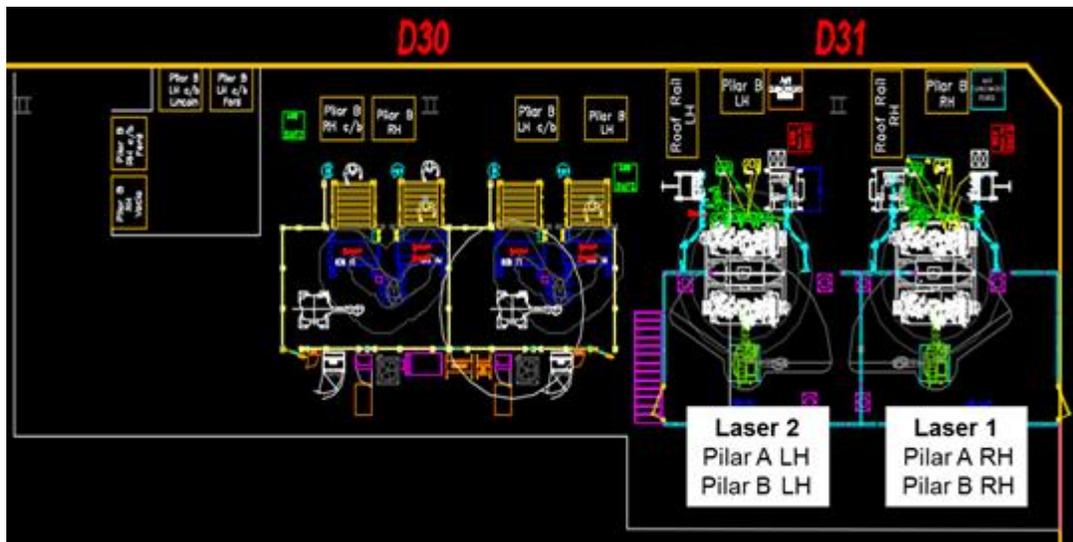


Figura 4. 10. Distribución inicial. Elaboración propia.

El cambio consistió en alinear las Estación 12 y RW Derechas de forma paralela con sus homólogas izquierdas enseguida de la Estación Laser 2, para que con esto, ambos Pilares, Derechos e Izquierdos, pudieran pasar de uno en uno entre estas. Para ello se colocaron dos percheros al final de la Estación Laser 2 y un perchero al final de cada Estación 12. La Figura 4.11 muestra la nueva distribución.

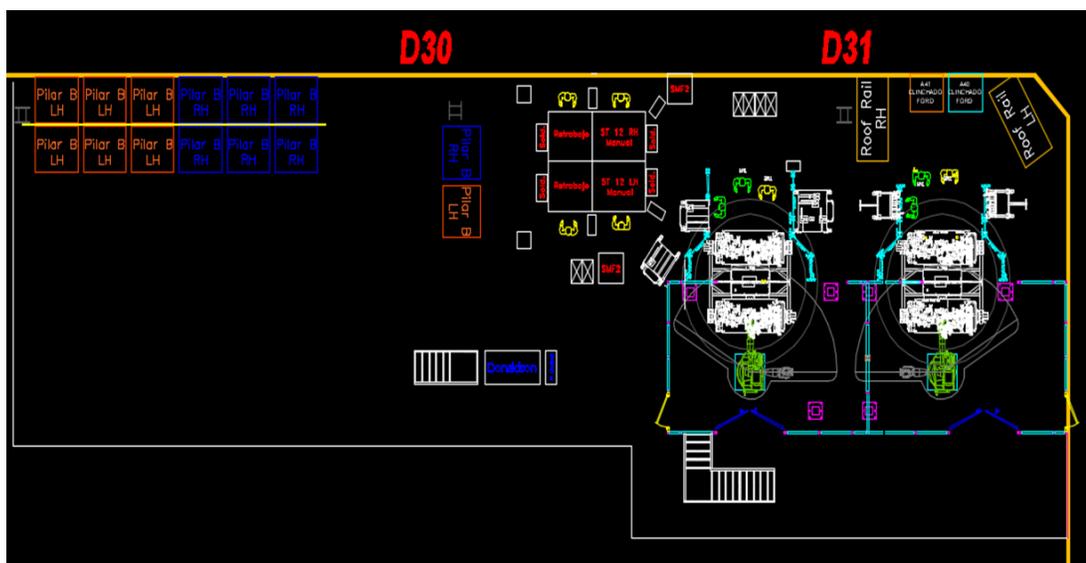


Figura 4. 11. Distribución después de cambio. Elaboración propia.

Además, para reducir el espacio de las Estaciones 12 Derecha e Izquierda y que se pudiera realizar el acomodo deseado, estas pasaron a ser de soldadura manual, se cambiaron los robots y las mesas giratorias por mesas sencillas y se adquirieron soldadoras manuales de microalambre, por consiguiente, se permite la flexibilidad del proceso ante los futuros cambios que deparan a la organización. La Figura 4.12 muestra una fotografía de como quedó el área de trabajo de la Estación 12 y RW, donde también se pueden apreciar los percheros, siendo estos de color amarillo.



Figura 4. 12. Área de trabajo post-implementación.

Capacitación de colaboradores. Durante todo el proceso de implementación se involucró y se habló con los colaboradores para que conocieran la idea y la nueva forma de trabajar con el fin de que pudieran realizarla sin problema alguno.

4.5. Fase 5 Evaluación de resultados

Por último, en la fase de evaluación, se cuantificaron los resultados obtenidos una vez implementada la herramienta de Flujo de Una Sola Pieza. Los resultados fueron satisfactorios.

- Evaluación de resultados: Una vez concluida la implementación, se midieron las nuevas condiciones y atributos con los cuales opera el proceso:
 - Disminución de los dos robots y las dos mesas giratorias que se encontraban en las Estaciones 12 Derecha e Izquierda, estos bienes, propiedades de la organización, serán empleados en líneas de nuevos lanzamientos de la organización.
 - Inserción de dos soldadoras de microalambre de operación manual y dos mesas fijas para los Pilares B, colocadas en las Estaciones 12 Derecha e Izquierda.
 - Eliminación de transportes con vehículos eléctricos por medio de los colaboradores del departamento de Logística, lo que implica una disminución de tráfico en el pasillo donde se encuentra la línea de producción en cuestión, disminuyendo así, riesgos de accidentes.
 - Utilizando la Fórmula 2.12, se calculó el nuevo tiempo de fabricación (MLT), este es de 41.56 minutos por contenedor y el detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo 2.
 - El área empleada para los Pilares B suma un total de 340.58 m²
 - Utilizando la Fórmula 2.14 se conoció que el nuevo inventario en proceso estimado que se maneja es de 42.94 piezas de Pilar B por lado.
- Determinar el impacto obtenido: Una vez conocidas las nuevas características en las cuales opera el proceso del Pilar B, se comparó con las características anteriores. La Tabla 4.9 resume las diferencias conseguidas. Además, se obtuvo un impacto económico significativo, ya que el hecho de retirar los robots de las líneas se consideró como un ahorro sustancial para la organización, debido que próximamente se requerirá adquirir este tipo de

robots para futuros procesos, los cuales podrían haber sido arrendados o comprados, los gastos asociados a la implementación de la propuesta de mejora realizada durante el proyecto, supusieron solo el 30% del valor de dichos robots. Por otro lado, el mantenimiento asociado a los robots se deslinda del costo asociado a este proceso y el consumo de energía eléctrica en KW/H de las Estaciones 12 Derecha e Izquierda se vio disminuida en aproximadamente un 90%.

BENEFICIOS ONE PIECE FLOW			
ELEMENTOS	ANTES	DESPÚES	REDUCCIÓN
MLT	428.5 minutos/lote	41.5 minutos/lote	387 minutos/lote (90%)
Area (m ²)	415.8 m ²	340.58 m ²	74.42 m ²
Transportes	200	0	200 (1.88hrs)
WIP	443 unidades/lado	43 unidades/lado	400 unidades (90%)

Tabla 4. 9. Beneficios Flujo de Una Sola Pieza. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este capítulo se muestran las conclusiones generadas mediante el desarrollo del proyecto, así como las recomendaciones y trabajos futuros relacionados con el mismo.

5.1 Conclusiones

Rediseñar la distribución de las estaciones de trabajo en la planta de la sección donde se lleva a cabo el ensamble de los Pilares B fue la clave principal que permitió de manera general y de una forma eficiente implementar la herramienta de Flujo de Una Sola Pieza, perteneciente a la filosofía de Manufactura Esbelta. Además, gracias al empleo de la metodología, se pudo realizar un análisis profundo de información y una designación de tareas y actividades de forma sistemática y ordenada, lo que permitió sacar el mayor provecho posible de los recursos disponibles.

Manufactura Esbelta es una filosofía que cuenta con un amplio repertorio de técnicas y herramientas, aunque se sabe que todas y cada una de ellas generan un impacto positivo en los procesos productivos dentro de las organizaciones, no se puede decidir al azar cuál de ellas utilizar en un proceso determinado. Primero se deben de conocer bien las herramientas, para posteriormente realizar un análisis del sistema productivo para detectar si, una vez conocidas las condiciones de trabajo, existe la oportunidad y conveniencia de usar algunas de las herramientas que esta doctrina proporciona.

Lo que determinó que Flujo de Una Sola Pieza era la herramienta idónea que permitiría eliminar los desperdicios identificados, tales como, inventario en proceso, esperas y transportes, durante el ensamble del Pilar B fue que el proceso estaba trabajando con lotes entre estaciones, utilizando contenedores con capacidad de 40 unidades cada uno. Esto verdaderamente no suponía ningún tipo de ventaja, sino al

contrario, era la causa raíz que generaba los desperdicios. Por lo que se buscaba una manera de cómo trabajar sin la necesidad de manejar lotes tan grandes, llevándonos a la elección de la herramienta propuesta.

Debido a los resultados obtenidos, llámese reducción del inventario en proceso, reducción del MLT, reducción de las esperas, reducción de los transportes involucrados, eliminación de almacenes temporales (para BUFFER), ahorro en energía y disminución de equipos robóticos, todo esto mostrado en el apartado anterior, mediante la implementación de la herramienta Flujo de Una Sola Pieza, se concluyó que la hipótesis resultó verdadera. Además, el objetivo principal planteado, fue alcanzado de manera satisfactoria, ya que mediante el empleo de la herramienta se modificó el flujo de materiales teniendo un impacto positivo en el sistema productivo, todo esto gracias a ir cumpliendo los objetivos específicos apoyados en la metodología utilizada. Lo descrito anteriormente redundaba en un mejor empleo de los recursos de la organización.

Cabe mencionar que para la realización de proyectos de este tipo, se necesita de personal de varias áreas de la organización que verdaderamente se involucren y tomen responsabilidades, además, se debe contar con el apoyo y la confianza de la alta gerencia, ya que es muy común que para llevarlos a cabo se requiera una inversión monetaria, para ello, es importante plantear de forma anticipada los beneficios potenciales que se obtendrían y la repercusión económica que se generaría si se llevaran a cabo con éxito.

5.2. Recomendaciones

Debido a que el tiempo disponible para producción con el que se cuenta en la organización es sobrado para producir la cantidad de piezas requeridas, existen los paros programados, durante este tiempo se recomienda siempre seguir al pie de la letra el plan de mantenimiento preventivo previsto por la empresa para evitar fallos de equipo y posibles colapsos de alguna de las líneas de producción dado que se ha eliminado el inventario entre estaciones. Cumpliendo con lo anterior, será posible

disminuir una proporción significativa del inventario de Pilares B terminados sin poner en riesgo la línea de ensamble principal.

Otra recomendación sería buscar y trabajar en procesos similares dentro de la organización, en los cuales también sea conveniente aplicar la herramienta Flujo de Una Sola Pieza, apuntando a tener resultados similares, tales como la disminución de inventario, tiempo de procesamiento y esperas, pero además, poner énfasis en la reducción de transportes, con el fin de poder prescindir de los vehículos eléctricos que se utilizan para el traslado de partes y material.

5.3. Trabajos futuros

Anteriormente, no se mencionó en este documento, que además de los Pilares B Derechos y Pilares B Izquierdos, existe otro tipo de Pilar B, también con la variante de lado, llamémosle Pilar BX. Esta Pilar BX, ya sea derecho o izquierdo, tiene diferencias mínimas con respecto a los ya conocidos Pilares B.

Los Pilares BX se ensamblan en una línea de producción independiente y a un volumen mucho menor. Sin embargo, la línea principal que crea un producto final partiendo de los Pilares B, en otras ocasiones, según la programación de producción, crea otro producto final pero partiendo de los Pilares BX.

Uno de los trabajos para futuro sería programar la producción de los Pilares BX Derechos en la misma línea que los Pilares B Derechos, repitiendo este proceso para los de lado izquierdo, esto conllevaría a un reto y la posible utilización de la herramienta de Manufactura Esbelta llamada SMED.

Aún más ambicioso sería eliminar totalmente el inventario final de Pilares B, llevando la aplicación del Flujo de Una Sola Pieza más allá de sólo el ensamble de estos, es decir, que los Pilares B, una vez terminados, pasen directamente de la Estación RW correspondiente a la línea de ensamble principal.

6. REFERENCIAS

Anderson, D. J., 2010. *Kanban: successful evolutionary change for your technology business*. Sequim, Washington: Blue Hole Press.

Andrade, P., Pereira, V. y Conte, E., 2016. Value stream mapping and lean simulation: a case study in automotive company. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 85(1-4), pp. 547–555.

Azizi, A., 2015. Designing a future value stream mapping to reduce lead time using SMED-A case study. *Procedia Manufacturing*, 2(1), pp. 153–158.

Black, J.T., 2007. Design rules for implementing Toyota Production System. *International Journal of Production Research*, 45(16), pp. 3639–3664.

Chase, R. B. y Jacobs, F. R., 2014. *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. 13va ed. Ciudad de México, México: McGraw Hill.

Chávez, S. y Romero, L.F., 2017. Metodología para reducir el inventario en proceso usando herramientas de manufactura esbelta en una fábrica de componentes electrónicos. En: UNISOCIESC, *Cuarto Congreso Internacional de Desarrollo de la Ingeniería Industrial*. Joinville, Brasil, 30 Mayo-1 Junio 2017. Brasil: CIDEI.

Chu, P., Yang, K. L. y Chen, P. S., 2005. Improved inventory models with service level and lead time. *Computers & Operations Research*, 32(2), pp. 285–296.

Das, B., Venkatadri, U. y Pandey, A., 2014. Applying Lean Manufacturing System to Improving Productivity of Air-Conditioning Coil Manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1), pp. 307.

Drira, A., Pierreval, H. y Hajri-Gabouj, S., 2007. Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), pp. 255–267.

Dudek-Burlikowska, M. y Szewieczek, D., 2009. The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(1), pp. 95–102.

Emami, S. y Nookabadi, A. S., 2013. Managing a new multi-objective model for the dynamic facility layout problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(9), pp. 2215–2228.

Fein, M., 2015. Eliminate the 7 deadly wastes. *Industrial Safety & Hygiene News*, 49(6), pp. 84–85.

Gahagan, S. M., 2007. Adding Value to Value Stream Mapping: A Simulation Model Template for VSM. En: Institute of Industrial Engineers, *IIE Annual Conference*. Maryland, EEUU, n.d. EEUU: Northrop Grumman Corp.

Glover, W. J., Farris, J. A., Van Aken, E. M. y Doolen, T. L., 2011. Critical success factors for the sustainability of Kaizen event human resource outcomes: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 132(2), pp. 197–213.

Groover, M. P., 2016. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. 4ta ed. New Jersey: Pearson Education.

He, Z., Che, J. y Cui, Q., 2006. Analysis and optimization of lead time of mixed production system with one piece flow. *Management Science*, 19(1), pp. 2–5.

Hill, CT., 1991. The future of manufacturing. *Issues In Science & Technology*, 7(4), pp. 94–96.

Hill, K., 2018. Lean manufacturing: “The Seven Deadly Wastes.” *Plant Engineering*, 72(2), pp. 10–12.

Hirano, H., 2001. *Manual para la implantación del JIT. Volumen II*. Portland, Oregon: Productivity Press.

Ismail, K., Isa, C. R. y Mia, L., 2018. Market Competition, Lean Manufacturing Practices and The Role of Management Accounting Systems (MAS) Information. *Jurnal Pengurusan*, 52(1), pp. 1–20.

Jiang, M., Jin, S., Feng, D. y Lu J., 2010. Study on the application of one-piece flow in manufacturing enterprise. *Industrial Engineering Management*, 11(5), pp. 107–111.

Johnston, R. y Lawrence, P. R., 1991. Beyond vertical integration—the rise of the value-adding partnership. *Markets, hierarchies and networks*, July Issue, pp. 193–202.

Juran, J.M. y Godfrey, A.B., 1999. *Juran's Quality Handbook*. 5ta Ed. New York: McGraw-Hill Professional.

Kanaganayagam, K., Muthuswamy, S. y Damodaran, P., 2015. Lean methodologies to improve assembly line efficiency: An industrial application. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 20(1), pp. 104–116.

Krajewski, L. J., Malhotra, M. K. y Ritzman, L. P., 2015. *Operations management: Processes and supply chains*. New York, EEUU: Prentice Hall.

Lacerda, A., Xambre, A. y Alvelos, H., 2016. Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal Of Production Research*, 54(6), pp. 1708–1720.

Langley, G., Moen, R., Nolan, K., Nolan, T., Norman, C. y Provost, L., 2009. *The Improvement Guide*. 2da ed. San Francisco: Jossey-Bass.

Liker, J. K. y Meier, D. P., 2008. *El talento Toyota: desarrolle a su gente al estilo Toyota*. México D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.

Mahendran, S. y Kumar, A. S., 2018. Implementing Lean Manufacturing Principle in an Automobile Valve Manufacturing Industry with Simulation Analysis - a Case Study. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 24(3), pp. 600–607.

- Manos, T., 2006. Value stream mapping-an introduction. *Quality Progress*, 39(6), pp. 64–69.
- Masaaki, I., 2014. *Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa*. 2da ed. México: Grupo Editorial Patria.
- Minardi, R., 2017. Muda: The 7 Deadly Wastes: eliminating common sources of unnecessary excess. *Labtalk*, Sept/Oct Issue, pp. 16–22.
- Moeuf, A., Tamayo, S., Lamouri, S., Pellerin, R. y Lelievre, A., 2016. Strengths and weaknesses of small and medium sized enterprises regarding the implementation of lean manufacturing. *IFAC-Papers On Line*, 49(12), pp. 71–76.
- Nave, D., 2002. How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. *Quality progress*, 35(3), pp. 73–78.
- Palmer, V. S., 2001. Inventory management Kaizen. *Proceedings 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology*, EMAT 2001, pp. 55–56.
- Patel S., Dale B. G. y Shaw P., 2001. Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing. *The TQM Magazine*, 13(3), pp. 175–179.
- Pereira, R., 2009. The Seven Wastes. *iSixSigma Magazine*, 5(5) pp. 2–4.
- Pérez Gosende, P. A., 2016. Evaluación De La Distribución Espacial De Plantas Industriales Mediante Un Índice De Desempeño. *RAE: Revista de Administração de Empresas*, 56(5), 533–546.
- Rahani, A. R. y Al-Ashraf, M., 2012. Production flow analysis through value stream mapping: a lean manufacturing process case study. *Procedia Engineering*, 41(1), pp. 1727–1734.

- Rother, M. y Shook, J., 2003. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Brookline, Massachusetts: The Lean Enterprise Institute.
- Ruiz R. y Muñoz, M., 2001. Sistemas de control push-pull. Un estudio comparativo. En: Universidad de Sevilla, *Congreso de Ingeniería de Organización*. Abril 2001, Sevilla, España. España: Grupo I+DT.
- Satoglu, S., Durmusoglu, M. y Ertay, T., 2010. A mathematical model and a heuristic approach for design of the hybrid manufacturing systems to facilitate one-piece flow. *International Journal Of Production Research*, 48(17), pp. 5195–5220.
- Shah, R. y Ward, P. T., 2007. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), pp. 785–805.
- Shank J. K. y Govindarajan, V., 2008. *Strategic Cost Management: The New Tool for Competitive Advantage*. 2da ed. New York: Free Press.
- Sheikh, S., 2017. The impact of market competition on the relation between CEO power and firm innovation. *Journal of Multinational Financial Management*, 44(1), pp. 36–50.
- Siregar, I., Nasution, A. A., Prasetyo, A. y Fadillah, K., 2017. Analysis of production flow process with lean manufacturing approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 237(1), pp. 1–7.
- Sokovic, M., Pavletic, D. y Pipan, K. K., 2010. Quality improvement methodologies—PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*, 43(1), pp. 476–483.
- Tugrul, K. y Sedef, M., 2001. Bicriteria sequencing methods for the mixed-model assembly line in just-in-time production systems. *European Journal of Operational Research*, 131(1), pp. 188–207.
- Walton, M., 1988. *The Deming Management Method: The Bestselling Classic for Quality Management*. New York: The Berkley Publishing Group.

Wang, S. y Li, A., 2013. A Case Study on One-Piece-Flow Production Mode Designing. En: Shaanxi University of Technology, *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012)*. Hanzhong, China, 1 Mayo 2012. Berlin, Heidelberg: Springer.

White, R. E., 1990. *Post implementation evaluation of just-in-time manufacturing*. Doctoral. Arizona State University.

Womack, J. P. y Jones, D. T., 2003. *Lean Thinking*. 2da ed. New York: Simon & Schuster, Inc.

Womack, J. P., Roos, D. y Jones, D. T., 1990. *The Machine That Changed the World*. New York: Free Press.

7. ANEXOS

$MLT_j = \sum_{i=1}^{noj} (T_{suij} + Q_j T_{cij} + T_{noij})$		
Operación	Concepto	Tiempo (min)
i1 (Celda Laser)	Tsu=	0
	QTc=	38.66666667
	Tno=	0
i2 (Transporte 1)	Tsu=	0
	QTc=	0
	Tno=	0.564
i3 (Almacen 1)	Tsu=	0
	QTc=	0
	Tno=	154.6666667
i4 (Transporte 2)	Tsu=	0
	QTc=	0
	Tno=	0.564
i5 (Estación 12)	Tsu=	0
	QTc=	38.66666667
	Tno=	
i6 (Transporte 3)	Tsu=	0
	QTc=	0
	Tno=	0.564
i7 (Almacen 2)	Tsu=	0
	QTc=	0
	Tno=	154.6666667
i8 (Transporte 4)	Tsu=	0
	QTc=	0
	Tno=	0.564
i9 (Estacion RW 1)	Tsu=	0
	QTc=	0.966666667
	Tno=	0
i10 (Estacion RW 2)	Tsu=	0
	QTc=	38.66666667
	Tno=	0
Sumatoria total		428.556

Anexo 1. 1. Detalle de cálculos MLT inicial. Elaboración Propia.

$MLT_j = \sum_{i=1}^{no_j} (T_{suij} + Q_j T_{cij} + T_{noij})$		
Operación	Concepto	Tiempo (min)
i1 (Celda Laser)	Tsu=	0
	QTc=	0.966666667
	Tno=	0
i5 (Estación 12)	Tsu=	0
	QTc=	0.966666667
	Tno=	
i9 (Estacion RW 1)	Tsu=	0
	QTc=	0.966666667
	Tno=	0
i10 (Estacion RW 2)	Tsu=	0
	QTc=	38.66666667
	Tno=	0
Sumatoria total		41.56666667

Anexo 1. 2. Detalle de cálculos MLT final. Elaboración propia.