

PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA
DE PRODUCCIÓN DE LÁMINAS DE
MADERA DE *4mm* EN UNA EMPRESA
DEL SECTOR MADERERO UTILIZANDO
HERRAMIENTAS DE LEAN
MANUFACTURING

PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LÁMINAS
DE MADERA DE $4mm$ EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MADERERO
UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING

LUIS MIGUEL CUADROS CUADROS
BRYAN QUINTERO VÁSQUEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
GUADALAJARA DE BUGA

2018

PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LÁMINAS
DE MADERA DE $4mm$ EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MADERERO
UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING

LUIS MIGUEL CUADROS CUADROS
BRYAN QUINTERO VÁSQUEZ

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

ASESOR:
ESP. JUAN CARLOS PEÑA
INGENIERO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
GUADALAJARA DE BUGA
2018

Nota de aceptación del jurado

Prof.()
Presidente del Jurado

Prof.()
Jurado

Prof.()
Jurado

Dedicatoria

Para Claudia, José Manuel y Lito, mi esfuerzo es para ustedes. Bertha, Rogelio, Kelly y Adriana, por acompañarme y cuidarme durante mi proceso de formación. Abuelo, quisiera que me acompañaras no sólo en este sino en todos los momentos de mi vida, voy por más.

Bryan Quintero Vásquez

A mis padres que me han apoyado en el proceso de formación que se ve finalizado y reflejado en este trabajo, también a mi compañera de vida, Liza, que ha sido un pilar fundamental y un motor muy fuerte para la finalización de mi carrera.

Luis Miguel Cuadros Cuadros

Agradecimientos

En primer lugar a Dios, siempre a nuestro lado. A nuestras familias por su incondicional apoyo. A todos los docentes que se esforzaron por hacer de nosotros excelentes profesionales y en especial al profesor Juan Carlos Peña, por guiarnos en este camino. Para la compañía que nos permitió aplicar el estudio en sus instalaciones, más que nada al supervisor de la planta, Don Gonzalo Cuadros, por tanta colaboración para entender los procesos de la compañía y compartir con nosotros su sabiduría. A todos nuestros compañeros egresados que nos permitieron conocer sus experiencias del tema. Maria Alejandra y Liza María, no importa que tan oscuro estuvo, siempre estuvieron con nosotros.

Compañero, por nunca rendirse y entregar tanto de si.

Luis Miguel Cuadros Cuadros, Bryan Quintero Vásquez

Tabla de Contenido

Resumen	13
Introducción	I
1. Planteamiento del problema	1
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. Justificación	5
4. Marco Referencial	6
4.1. Marco Teórico	6
4.1.1. Lean Manufacturing	6
4.1.2. Value Stream Mapping	22
4.1.3. SIPOC	26
4.1.4. Análisis de jerarquía analítica	27
4.1.5. Estudio de trabajo	27
4.2. Microsoft Visio y eVSM©	30
4.3. Marco Conceptual	31
4.4. Revisión de la literatura	32
5. Metodología	35
6. Resultados	39
6.1. Descripción de la empresa	39
6.2. Características de la planta física	40

6.3. Caracterización del proceso productivo	42
6.4. Entorno del proceso	53
6.4.1. Identificación de desperdicios	55
6.4.2. Selección de herramientas Lean	58
6.5. Estudio de tiempos del proceso productivo	60
6.6. Mapa de estado actual	63
6.7. Modelado del mapa de estado futuro	70
6.8. Validación de la propuesta	71
6.8.1. OEE por proceso	71
6.8.2. Lead time y tiempos de ciclo	74
6.8.3. Calidad del producto	76
6.9. Plan de mejoramiento	77
6.9.1. Plan de acción: Mejora de la comunicación interna	77
6.9.2. Plan de acción: Programa 5S	78
6.9.3. Plan de acción: Aprovisionamiento de insumos	80
6.9.4. Plan de acción: Tiempos de espera en el secado	81
6.9.5. Plan de acción: Estandarización de procesos	82
7. Conclusiones	84
8. Recomendaciones	86
Bibliografía	87
A. Estimación de la disponibilidad, rendimiento y calidad	90
B. Actividades asociadas con su elemento de trabajo correspondiente	92
C. Formatos de estudio de tiempos por elementos de trabajo	95

Lista de Figuras

1.	Proceso general de la fabricación del láminas de triplex de 4mm. Fuente: Elaboración propia	3
2.	Distribución de las estaciones de trabajo de forma lineal. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	10
3.	Reorganización de las estaciones de trabajo de manera que se reduce la distancia entre ellas. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	11
4.	Producción superior a las salidas de producto terminado generan inventarios <i>Fuente: Elaboración propia</i>	12
5.	Sistema de producción Just-in-Time <i>Fuente: Elaboración propia</i>	12
6.	Movimientos anti-ergonómicos que generan desperdicios de tiempo y recurso	13
7.	Modelo de implementación de Lean Manufacturing. Fuente: (Rivera Cadavid, 2013)	16
8.	Operación de celda de manufactura con número de operarios variable. Fuente: (Rivera Cadavid, 2013)	18
9.	Utilización de Kanban en un sistema Pull. Fuente: (Rivera Cadavid, 2013)	21
10.	Metodología VSM planteada por (Barcia y De-Loor, 2007). Fuente: (Barcia y De-Loor, 2007)	23
11.	Simbología comúnmente utilizada en VSM. <i>Fuente: elaboración propia</i> .	24
12.	Estructura Diagrama SIPOC. Fuente: (Gutiérrez Pulido y Salazar, 2009)	26
13.	Estructura general para un modelo AHP. Fuente: (Becerra Fernández y Rodríguez Yee, 2017)	27
13.	Plano de la planta de producción de triplex caso de estudio. <i>Fuente: elaboración propia</i>	41

14.	Diagrama de flujo. Fabricación del láminas de triplex de 4mm. Fuente: Elaboración propia	42
15.	Cursograma Analítico: Recepción de Materia Prima. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	43
16.	Cursograma Analítico: Torneado, realizado en el torno pequeño. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	44
17.	Cursograma Analítico: Torneado, realizado en el torno grande. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	46
18.	Cursograma Analítico: Secado <i>Fuente: Elaboración propia</i>	47
19.	Cursograma Analítico: Alistamiento de las chapas exteriores. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	48
20.	Cursograma Analítico: Alistamiento de las chapas interiores. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	49
21.	Diagrama de los procesos realizados en el prensado <i>Fuente: Elaboración propia</i>	51
22.	Cursograma Analítico: Resanado <i>Fuente: Elaboración propia</i>	52
23.	Cursograma Analítico: Escuadrado <i>Fuente: Elaboración propia</i>	53
24.	Cursograma Analítico: Lijado y Seleccionado <i>Fuente: Elaboración propia</i>	54
15.	PEPSU (SIPOC) del proceso de producción de láminas de 4mm. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	55
16.	Desperdicios del proceso de producción de láminas de 4mm por actividad. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	56
17.	Desperdicios del proceso de producción de láminas de 4mm. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	58
18.	Proceso de jerarquía analítica. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	60
19.	VSM actual, parte 1. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	67
20.	VSM actual, parte 2. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	68
21.	VSM futuro, parte 1. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	72
22.	VSM futuro, parte 2. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	73
23.	Takt Time vs Tiempo de ciclo Actual	75
24.	Takt Time vs Tiempo de ciclo Futuro	75

Lista de Tablas

1.1. Clasificación porcentual de la producción de láminas de triplex de 4mm	2
1.2. Margen de utilidad obtenido por cada clasificación de láminas de triplex de 4mm	2
6.1. Elementos de trabajo estudiados y láminas equivalentes en cada elemento. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	61
6.2. Tiempos de ciclo para cada elemento de trabajo en la prueba piloto y tamaño de la muestra n para cada uno <i>Fuente: Elaboración propia</i> . . .	62
6.3. Tiempos de ciclo obtenidos para cada elemento de trabajo	63
6.4. Eficiencia general de los equipos. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	64
6.5. Inventario observado y demanda de inventario en cada uno de los inventarios de producto en proceso y producto terminado <i>Fuente: elaboración propia</i>	65
6.6. Eficiencia general de los equipos para el proceso futuro. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	71
6.7. Lead time agregado por cada almacenamiento a lo largo del proceso en el VSM Actual. <i>Fuente: elaboración propia</i>	74
6.8. Lead time agregado por cada almacenamiento a lo largo del proceso en el VSM Futuro. <i>Fuente: elaboración propia</i>	75
6.9. Tiempos de ciclo esperados para cada elemento de trabajo luego de la aplicación de las propuestas	76
6.10. Clasificación porcentual de la producción de láminas de triplex de 4mm en VSM actual y VSM futuro. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	76
6.11. Planificación de programa 5s. <i>Fuente: elaboración propia</i>	79
6.12. Insumos y equipos que deben estar ubicados en los armarios de cada área de trabajo	80

B.1. Actividades asociadas a sus elementos de trabajo. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	94
C.1. Muestra de tiempos para el proceso de Torneado. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	95
C.2. Muestra de tiempos para el proceso de Alistamiento de material. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	96
C.3. Muestra de tiempos para el proceso de Prensado. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	97
C.4. Muestra de tiempos para el proceso de Resanado. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	98
C.5. Muestra de tiempos para el proceso de Escuadrado. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	99
C.6. Muestra de tiempos para el proceso de Lijado y seleccionado. <i>Fuente: elaboración propia.</i>	100

Resumen

Las PYMES del Valle del Cauca enfocan sus esfuerzos en estrategias empíricas para mejorar sus procesos productivos. Sin embargo no miden sus procesos productivos teniendo en cuenta técnicas o herramientas que se aplican en las grandes industrias; las cuales les permitan permanecer competitivos y consolidarse en el mercado. Este documento aborda una situación puntual de una empresa de la región, a la cual se le hace una propuesta de mejora para el sistema productivo, donde no sólo se tienen en cuenta aspectos propios de la producción aplicados en sus procesos, sino también la parte cultural; siendo esto posible mediante la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing.

Esta filosofía da una mirada holística de la compañía, donde no sólo se estudian con un gran nivel de detalle los procesos internos sino que se tienen en cuenta aspectos externos, como proveedores y clientes. Esto permite hacer un diagnóstico mucho más preciso del proceso productivo, para así mismo identificar las oportunidades de mejora de mayor relevancia e impacto en la compañía a nivel productivo y social.

Introducción

Quedan muy pocos sectores en los cuales la competencia no haya perturbado la estabilidad y la situación de dominio del mercado. Ninguna empresa, y ningún país, puede permitirse el lujo de desentenderse de la necesidad de competir. Todas las empresas, y todos los países, tienen que tratar de comprender y dominar la competencia, Porter (2003). Esta competencia no es extraña dentro del sub-sector de la manufactura maderera, que a pesar de ser un sub-sector dominado por dos grandes empresas, Pizano y Tablemac, tiene una alta competencia entre las PYMES que allí se encuentran. Si lo que estas pequeñas y medianas empresas desean es mantenerse en el mercado, deben hacerlo siendo competitivas, especialmente en calidad y costos, aspectos que se encuentran ligados directamente.

Una ventana de oportunidad que poseen estas pequeñas y medianas empresas es la implementación del Lean manufacturing y sus herramientas para el mejoramiento de su cadena de valor, teniendo en cuenta los temas más importantes dentro de sus procesos y las problemáticas que se presenten dentro de sus instalaciones. En la empresa caso de estudio la problemática de mayor impacto es la calidad del producto final, la cual afecta el mercado en el que se encuentra, por el hecho que ya no se venden las cantidades que se vendían en el pasado, y de igual manera los inventarios, dado que se tiene producto terminado represado.

Estas dificultades se abordan mediante la herramienta Value Stream Mapping (VSM), que permite analizar la cadena de valor y buscar en ella los desperdicios que generan la reducción en la calidad del producto final, este problema es explicado a fondo el capítulo 1: Planteamiento del problema. Seguidamente se exponen los objetivos incluidos en el capítulo 2 y la justificación del problema en el capítulo 3.

Más adelante en el capítulo 4 se tiene el marco referencial que incluye el marco teórico abordando los temas del lean manufacturing, el SIPOC, herramienta que se

utiliza para la identificación de la interdependencia de los procesos, la simulación y el estudio del trabajo. Además se explican los conceptos especiales dentro del documento y se presenta el estado del arte de la filosofía Lean.

En el capítulo 5 se explica la metodología utilizada para el estudio de la cadena de valor dentro de la empresa caso de estudio y a continuación en el sexto capítulo se describe la empresa y sus características tanto de planta física como de proceso. En la parte final del documento se abordan los resultados obtenidos del estudio del proceso (capítulo 7), se analizan y se obtienen las conclusiones y recomendaciones, consignadas en los capítulos 8 y 9 respectivamente.

Capítulo 1

Planteamiento del problema

El proyecto se centra en una empresa cuyas actividades se encuentran dentro del sector maderero, establecida en el centro del Valle del Cauca, esta compañía se dedica a la fabricación de láminas de madera contrachapada llamadas en el mercado como Triplex. Estas láminas de Triplex son fabricadas en los siguientes calibres: $4mm$, $7mm$, $9mm$, $12mm$, $15mm$ y $18mm$, siendo el proceso principal el de la elaboración del calibre de $4mm$, ya que es éste producto el insumo base para las tablas de mayor calibre.

Desde sus inicios, la organización ha utilizado las mismas especies de madera para la elaboración de sus productos, las cuales son: Sande (*Brosimum utile*), Otobo (*Dialyanthera gracilipes*), Sajo (*Camptosperma panamensis Standl*) y Anime (*Protium aracouchini*), estos especímenes poseen diversas características que los hacen ser manejables y de fácil secado por tanto han sido los que mejor rendimiento han presentado en la fabricación del triplex. El proceso de control de calidad se realiza como una tarea del proceso de lijado donde se clasifica el producto terminado correspondiente a las láminas de $4mm$ y solamente a este calibre, para este control se tiene establecida la siguiente escala de calificación de la calidad del producto final: clasificación tipo A, para el producto terminado de mayor calidad sin ninguna imperfección; clasificación tipo B, para un producto de calidad media e imperfecciones menores; y clasificación tipo C, para producto con menor calidad y muchas imperfecciones. Históricamente se ha tenido una mayor proporción de producto terminado que hace parte de la clasificación tipo A, incluso sobrepasando la suma del total de productos finales pertenecientes a las clasificaciones B y C, no obstante, según los registros de los últimos meses, en el último año se ha visto disminuida la proporción de producto final de tipo A. La relación mencionada anteriormente se evidencia en la tabla 1.1.

	Calidad		
Año	Tipo A	Tipo B	Tipo C
2014	60 %	30 %	10 %
2015	47 %	35 %	18 %
2016	20 %	40 %	40 %

Tabla 1.1: Clasificación porcentual de la producción de láminas de triplex de 4mm

Estos cambios en la proporción de cada tipo de calidad evidencian claramente el deterioro en el desempeño del proceso, trayendo efectos negativos en la compañía y en sus actividades, debido que la percepción del cliente hacia los productos de la empresa baja, adicionalmente se tiene que los márgenes de utilidad de cada tipo son proporcionales a la calidad del producto, es decir, de una lámina de tipo A se obtiene una mayor utilidad que de una lámina de tipo B, por tanto al tener menos ventas del tipo A las utilidades de la compañía serán cada vez menores. En la tabla 1.2 se muestran los márgenes de utilidad que se obtienen por cada clasificación:

Calidad	Margen de Utilidad (%)
Tipo A	52 %
Tipo B	45 %
Tipo C	33 %

Tabla 1.2: Margen de utilidad obtenido por cada clasificación de láminas de triplex de 4mm

De manera general, es posible describir el proceso de elaboración del producto en cinco fases macro, cada una de estas con sus correspondientes actividades inherentes. El orden de estas fases se observa en la figura 1.

Durante la visita realizada a la planta se logran identificar a simple vista y por el relato del supervisor de planta ciertos tipos de fallas en diferentes etapas del proceso, estas fallas son: averías, se presentan con mayor frecuencia en la maquinaria de los procesos de torneado y prensado; volúmenes de material desaprovechado por deterioro parcial y/o total, principalmente en los procesos de torneado y secado; y por último, se encuentra que en áreas como la de secado la metodología con la que realizan las tareas correspondientes puede mejorarse, ya que las estrategias que llevan a cabo están directamente relacionadas con la condición climática, resultando entonces como variable e incierto el tiempo que toma este proceso.

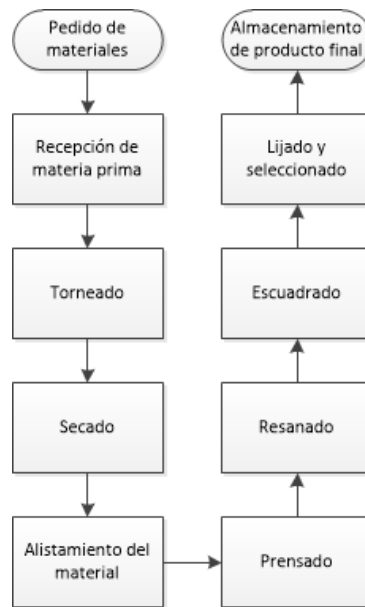


Figura 1: Proceso general de la fabricación del láminas de triplex de 4mm. Fuente: Elaboración propia

Basados en la información recolectada y las observaciones realizadas, resulta necesario para la empresa revertir la tendencia negativa de la calidad de las láminas de 4mm; garantizando el buen desempeño del proceso de producción de estas láminas en el largo plazo, dada la importancia que este tiene para la fabricación de las referencias de mayor calibre, mediante la promoción de una cultura de mejoramiento continuo. Lo anterior resulta congruente con la filosofía Lean Manufacturing, lo que lleva a plantearse la siguiente pregunta de investigación::

¿Cómo se pueden aplicar las herramientas Lean Manufacturing para mejorar el desempeño del proceso de fabricación de láminas de triplex de 4mm?

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo General

Formular una propuesta de mejora para el proceso de producción de tablas de Triplex de $4mm$ mediante el uso de técnicas del Lean Manufacturing.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso de producción de láminas de triplex de $4mm$ objeto de estudio por medio de un mapeo detallado de procesos y aplicando una herramienta de análisis de involucrados, con el fin de identificar y clasificar los problemas que afectan el desempeño del proceso actual.
- Seleccionar las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing que son aplicables para eliminar los problemas identificados en el actual proceso de producción de láminas de triplex de $4mm$.
- Validar la utilidad de la propuesta de mejoramiento del proceso productivo mediante la comparación de los resultados obtenidos al modelar el estado actual del proceso y el estado resultante de la aplicación de las técnicas lean seleccionadas.
- Elaborar un plan de mejoramiento para el proceso de producción de láminas de $4mm$, el cual considere las acciones necesarias para encauzar los procesos de la compañía hacia el estado futuro planteado.

Capítulo 3

Justificación

El mercado de la transformación de la madera aportó al PIB de Colombia alrededor de \$1,2 billones de pesos en el año 2016, por tanto, la identificación de las actividades que agregan valor al proceso de producción se vuelve ideal en todas las empresas del sector, sin importar si la empresa es un gran productor o si por el contrario estamos hablando una de las cientos de pequeñas y medianas empresas (PYMES) que se encuentran en el sector, las cuales tienen una participación en el mercado del 8,1 %; segmento de mercado en el cual se encuentra la empresa caso de estudio.

Establecer en estas PYMES una cultura de mejoramiento continuo ayudaría a darles mayor valor a sus productos y abre la posibilidad de competir a la par con los grandes productores, puesto que al mejorar su cadena de valor se logra reducir los desperdicios, lo cual se traduce en una reducción en los costos de producción y lograr una mejora en la calidad del producto terminado, lo cual garantiza una satisfacción a los clientes, ya que la empresa va comercializar productos de buena calidad a un precio favorable.

La empresa caso de estudio, en vista de los problemas ya mencionados, ha querido establecer estrategias que permitan a los procesos ser realizados basándose en las propuestas de otras empresas que han optado por implementar herramientas y técnicas Lean, esto con el fin de obtener productos con una mejor clasificación de calidad (tipo A); por tal motivo surge la necesidad de realizar este estudio a su proceso de producción principal. Este estudio no solo ayudaría a la empresa, también serviría de base para pequeñas y medianas empresas del mismo sector que decidan dar el paso hacia el mejoramiento continuo de sus procesos y la adopción de la filosofía Lean Manufacturing.

Capítulo 4

Marco Referencial

4.1. Marco Teórico

4.1.1. Lean Manufacturing

Reseña histórica del Lean Manufacturing

El modo en que las industrias ven la producción está siendo modificado por un concepto nuevo de manufactura, incluso es posible decir que es un tema moderno, llamado Lean Manufacturing. Durante un poco más de un siglo se venía trabajando bajo un estándar de producción en masa, el cual ahora compite con el concepto mencionado anteriormente, una filosofía de “fabricación revolucionaria” comparada con los procesos conocidos para la época. (Moore, 2007) aclara la situación, a pesar de que su auge es reciente, sus inicios se remontan a la década de los 40, cuando había sólo un modo de permanecer en el mercado: evolución.

Tradicionalmente conocido como el Sistema de Producción de Toyota, y también etiquetado como fabricación Just-In-Time (JIT), Fabricación Pull y Gestión de calidad total (TQM), el Lean Manufacturing se destina principalmente a eliminar desperdicios, mejorar la capacidad del sistema, reducir el tiempo de flujo, disminuir los inventarios, satisfacer a los clientes, eliminar los cuellos de botella y mejorar las comunicaciones (Plehnert, 2007). Todos estos fines del Lean Manufacturing contribuyen a mejorar la calidad de los productos mientras que se reducen los costos de producción. Para comprender cómo pueden lograrse los objetivos antes mencionados, primero hay que comprender cómo surge la necesidad de tal sistema, sin embargo es importante señalar que gran parte de la historia de los sistemas de producción se basa en la historia del automóvil,

ya que los avances más significativos en todo tipo de producción se han iniciado en la industria automotriz antes de ser adoptados en otros sectores empresariales, es este sector el que podemos asociar con *producción en masa*. La producción en masa es un método de producción en el que los trabajadores no cualificados o semi-cualificados ensamblan el producto que ha sido diseñado por profesionales especializados con piezas fabricadas por maquinaria costosa y altamente inflexible (Womack et al., 1990; Sabel y Zeitlin, 1985). La línea de montaje en movimiento (utilizada por Henry Ford con su modelo T), atrajo la atención de industrias de todo el mundo debido a su gran volumen de producción y su capacidad para reducir los costos de producción. Debido a sus avances en la producción, Ford fue constantemente capaz de reducir el precio del Modelo T, facilitando su obtención para el hombre común. Aunque era excelente para reducir los costos de producción y aumentar el volumen de producción, llegando a vender por primera vez más de siete millones de automóviles en un año, el sistema de producción en masa tenía muchas áreas donde se desperdiciaba energía y recursos. El sistema creó una división en la fuerza laboral, necesaria para crear un producto; por lo tanto, había poca comunicación y poca atención prestada a la mejora de los sistemas. El objetivo era crear la mayor cantidad de productos, lo más rápido posible y, en consecuencia, la calidad del producto resultante era baja. Las debilidades de la producción en masa se convirtieron en una ventana de oportunidad para un sistema de manufactura mejor diseñado que podría satisfacer las necesidades del consumidor aumentando la calidad, disminuyendo los costos y minimizando los desechos. La focalización en los objetivos antes mencionados condujo a la introducción de la manufactura esbelta, un sistema que combina las ventajas de la producción artesanal y la producción en masa, minimizando al mismo tiempo sus desventajas (Zhang, 2011).

Los fabricantes de los países orientales, especialmente Japón, se enfrentaron a una serie de desafíos que les impedirían alcanzar con éxito la producción en masa tal como se practica en el mundo occidental. Toyota, antes Toyoda, fue una exitosa empresa de maquinaria textil a principios del siglo XIX. Cuando estalló la guerra en la década de 1930, el gobierno alentó a Toyoda a entrar en la industria de vehículos de motor y producir camiones para los militares. Después de la guerra, la familia de Toyoda dirigida por Kiichiro y Eiji Toyoda decidieron entrar en la industria de producción de automóviles a gran escala¹. Después de una visita a la planta de Rouge Ford en

¹www.toyota.com.co/index.php/historia-toyota

los Estados Unidos (en ese momento la instalación de producción masiva más grande y eficiente) (Womack et al., 1990; Zhang, 2011), Eiji reconoció que la producción en masa, tal como la apreciaron, nunca podría funcionar en Japón, y también reconoció las fallas en el actual sistema occidental. Con la ayuda de su ingeniero de producción asociado Taiichi Ohno (reconocido como el padre del Sistema de Producción Toyota), un nuevo sistema de fabricación evolucionó en un lapso de 20 años, el cual resultaría más viable y eficiente que el sistema de producción en masa occidental. A principios de los años

60, Toyota había desarrollado completamente los principios del sistema de manufactura esbelta (Womack et al., 1990). A medida que los consumidores comenzaron a ser más diversos y conscientes de los productos que utilizaban, las metodologías de Toyota le dieron una gran ventaja sobre las empresas del mundo occidental que aún empleaban técnicas tradicionales de producción en masa. Hoy en día, todas las industrias están avanzando hacia sistemas de manufactura esbelta, hecho similar a la forma en que las industrias a principios de los años 1900 emigraron a la producción en masa, ya que los beneficios para el fabricante se evidencian inmediatamente. Los resultados para el consumidor son productos más comprometidos, que están en capacidad de satisfacer las necesidades cambiantes con menor costo, mayor calidad general y fiabilidad. El resultado para el fabricante es la capacidad de competir con los fabricantes establecidos, reducir los residuos/desperdicios en el sistema de producción y ahorrar dinero, que a su vez puede ser utilizado para reducir los costos del producto o para determinar y crear la próxima nueva tecnología. Aunque se requiere más práctica y entrenamiento en el mundo occidental, es cada vez más claro que las compañías que tendrán éxito en el futuro serán las que acojan la manufactura esbelta, mientras que las que no lo hacen se desvanecerán en el fondo.

¿Qué es Lean Manufacturing?

En el libro *The machine that changed the world* (Womack et al., 1990), se presentan los orígenes y elementos de la producción Lean como el resultado de un estudio de Benchmarking en la industria automotriz. La palabra Lean se traduce como ajustada o esbelta, y surge debido a la definición propuesta por (Womack et al., 1990):

“La producción Lean es *esbelta* porque utiliza menos de todo en comparación con la producción en masa -la mitad del esfuerzo humano en fábrica, la mitad del espacio de manufactura, la mitad inversión en herramientas, la mitad de las horas de ingeniería

para desarrollar un nuevo producto. También requiere mantener mucho menos de la mitad del inventario necesario en sitio, da como resultados muchos menos defectos, y produce una gran y siempre creciente variedad de productos.”

Lean Manufacturing resulta ser entonces un conjunto de herramientas y metodologías, muchas de las cuales tienen aplicaciones específicas según la necesidad que se requiera en determinado proceso. Los efectos de su implementación puede verse en la reducción de desperdicios e inventario, incremento de la capacidad de producción y de la satisfacción del cliente, además de eliminar cuellos de botella y mejorar la comunicación. (Plenert, 2007).

Tipos de desperdicios

La manufactura representa una parte importante de la industria mundial, dado que es la que se encarga de transformar las materias primas en productos terminados o materiales necesarios para la producción de otros elementos. No obstante al realizar la producción a partir de una materia prima se encuentra que existen muchos elementos de desperdicio, estos desperdicios no son solamente desechos sólidos o líquidos del proceso de fabricación, también se consideran desperdicios aquellos procesos que no generan valor agregado al producto final y que pueda afectar la calidad del producto final.

El lean manufacturing entre sus metas considera la eliminación de estos desperdicios, aumentando la calidad de la producción y por ende incrementando los beneficios de la compañía. Generalmente los desperdicios son clasificados en los siguientes grupos, (Gaspersz y Fontana, 2007):

- Transporte
- Inventarios
- Movimientos
- Tiempos de espera innecesarios
- Reprocesos
- Sobreproducción
- Defectos y remanufactura

A continuación se explicará brevemente cada uno de estos grupos de desperdicios.

Transporte

Si bien son una gran fuente de desperdicios, los transportes tanto internos como externos son una parte importante en todo sistema de producción. Estos están definidos como el movimiento de materias primas o productos terminados de un lugar a otro y son una operación que no agrega valor alguno al producto sino que por el contrario en ocasiones puede restarle valor, dado que los productos pueden ser averiados durante el transporte de una estación de trabajo a otra. Un producto más grande está más propenso a sufrir daños durante su transporte de un sitio a otro, además cuanto mas larga sea las distancias de los recorridos durante el transporte mas grande será el desperdicio asociado a este.

Los desperdicios relacionados al transporte se reflejan en los costos de transporte, que pueden llegar a ser un gran porcentaje de los costos de producción. Es imposible la eliminación total de los transportes dentro de un proceso de producción, pero se puede llegar a un punto óptimo dónde los transportes sean los mínimos posibles. La manera más eficaz de minimizar los recorridos de transporte de realizar una reorganización de las áreas de trabajo de manera que la distancia que deba recorrer un producto en proceso de un puesto de trabajo al siguiente sea la más corta posible.

En la figura 2 se observa un ejemplo de como en una mala organización de las estaciones de trabajo se producen transportes mas largos entre las estaciones, mientras que en la figura 3 al reorganizar las estaciones de trabajo se reducen las distancias entre las estaciones por tanto los transportes serán mas cortos.

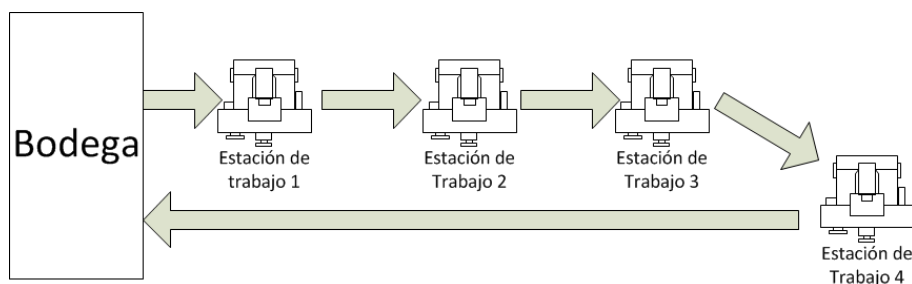


Figura 2: Distribución de las estaciones de trabajo de forma lineal. *Fuente: Elaboración propia*

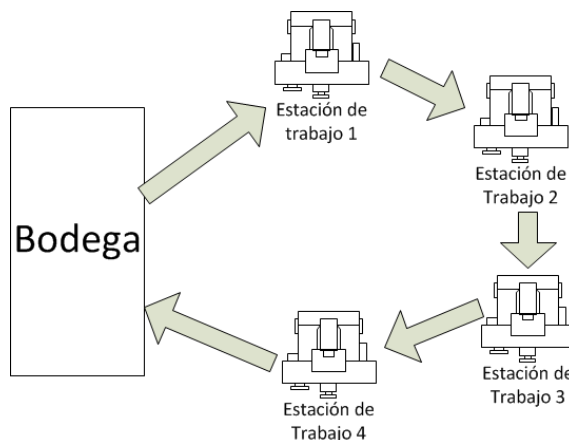


Figura 3: Reorganización de las estaciones de trabajo de manera que se reduce la distancia entre ellas. *Fuente: Elaboración propia*

Inventarios

Es ideal que las estaciones de trabajo estén sincronizadas y sus tasas de producción sean iguales o al menos muy cercanas, ya que al producir a una tasa mayor en una estación puede generar inventarios en proceso que ocupa espacio en planta. También esta el caso en que toda la cadena productiva tenga una tasa de producción mayor a la que los clientes piden el producto llevando a que este producto terminado tenga que ser almacenado, igual al caso del inventario en proceso este inventario de producto terminado ocupa espacio dentro de la planta y no agrega valor alguno al producto final.

El tener producto terminado (o en proceso) quieto en alguna parte del almacén o planta de producción es un despilfarro, dado que este inventario ocupa espacio y no se le está agregando valor alguno. Adicional a esto, existen otras consecuencias de tener exceso de inventario, a saber: se aumenta los tiempos de entrega del producto, la comunicación entre las áreas de la compañía se hace mas lenta y se reduce la eficiencia, puesto que se tiene que destinar una parte de los recursos disponibles al control de estos inventarios.

El hecho de mantener inventario agrega un transporte adicional desde la cadena de producción hasta el sitio dónde se va a almacenar y de este lugar de nuevo hacia el área dónde se despachan los productos hacia los clientes, ver ejemplo en la figura 4.

Los inventarios son una consecuencia directa de la sobreproducción, una manera de tratar este desperdicio es usando la técnica de producción llamada Just-in-Time (JIT),

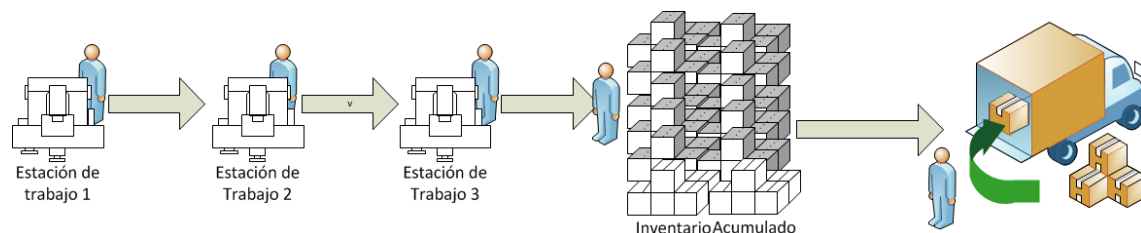


Figura 4: Producción superior a las salidas de producto terminado generan inventarios
Fuente: Elaboración propia

esta producción se concentra en producir solo lo necesario en la cantidad que se requiere y solo cuando se requiere. Al aplicar la técnica JIT la compañía esta en capacidad de producir solo lo que el cliente necesita y se elimina la acumulación de inventario, tal como se observa en la figura 5.

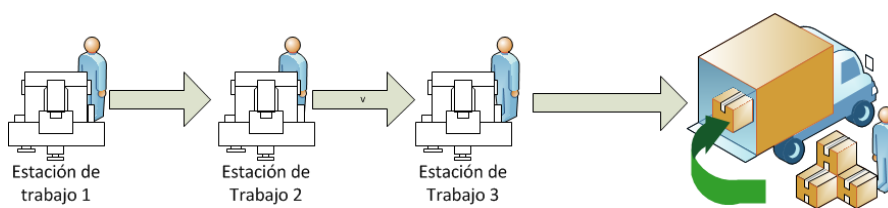


Figura 5: Sistema de producción Just-in-Time *Fuente: Elaboración propia*

Para la eliminación de los inventarios de producto en proceso se puede realizar un balanceo de línea de manera que todos los centros de trabajo operen a una tasa de producción igual, evitando que se acumulen los inventarios en el centro de trabajo más lento. No es necesario que cada uno de los procesos trabaje al máximo de su velocidad basta con que opere a la velocidad necesaria.

Movimientos innecesarios

Los desperdicios generados por movimientos innecesarios son muy similares a los generados por los transportes, estos se relacionan con lo movimientos ergonómicos que hacen lo empleados durante la jornada laboral para realizar sus labores, con estos movimientos se pierde tiempo y energía. Se incluyen movimientos relacionados con alcanzar objetos que están más altos o más bajos, caminar de un sitio a otro en el sitio de trabajo para obtener material necesario. Estos movimientos innecesarios generan perdidas de tiempo que se traducen en perdidas monetarias y pueden causar estrés en los empleados que pueden repercutir en ausentismos. En la figura 6 se puede observar

una serie de movimientos que no son ergonómicos y mediante los cuales se generan pérdidas de tiempo y recurso.

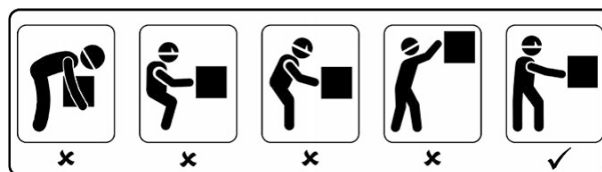


Figura 6: Movimientos anti-ergonómicos que generan desperdicios de tiempo y recurso

La forma de tratar este desperdicio es realizar una reestructuración del área de trabajo de manera que los recorridos que deba realizar el operario sean mínimos y que todas las herramientas necesarias para realizar su labor se encuentren al alcance de su mano al instante que lo requiera. (Hobbs, 2004)

Tiempos de espera innecesarios

Se consideran tiempos de espera innecesarios a aquellos en los cuales el operario se encuentra sin una tarea definida esperando que la maquina termine de procesar la materia prima para que él retire el producto procesado y luego alimente de nuevo la maquina y se repita el ciclo. Estas fracciones de tiempo no agregan valor alguno al producto. Las causas de este desperdicio son diversas, entre ellas se tienen: ciclos de producción muy largos, áreas de trabajo muy distantes entre si y un flujo de trabajo deficiente. También las averías de una máquina producen tiempos de espera innecesarios, en este caso no por parte del personal sino que las materias primas se encuentran esperando que el proceso se inicie una vez sea reparada la máquina.

En una máquina puede haber un tiempo de espera muy corto entre un ciclo y otro, y puede ser insignificante si se ve de manera individual pero si este tiempo de espera se multiplica por el número de máquinas y a su vez por la cantidad de ciclos diarios, este desperdicio ya empieza a ser notable. Llevado a una escala anual puede representar una cantidad considerable de dinero en ese desperdicio. El simple hecho de modificar la forma en como se produce, pasar de una producción por lotes a una producción continua puede hacer que este desperdicio se reduzca e incluso se elimine y previo a la producción se puede realizar un modelo de gestión en el cual se optimice la manipulación de materiales que serán insumo en el proceso productivo y de esta manera la máquina y el operario se encuentren coordinados y se elimine la pérdida de tiempo.

Reprocesos

Los reprocesos aparecen cuando se encuentra la necesidad de utilizar mas unidades de procesamiento de las necesarias en una cadena de producción, esto se debe a que durante el proceso normal se presentan imperfecciones que deben ser reparadas y se devuelve el producto para ser arreglado. Es simplemente utilizar esfuerzo y tiempo extra que no agrega valor al producto final. Las causas de los reprocesos pueden centrarse diferentes factores: especificaciones que no están claras, maquinaria que se encuentra fallando y materia prima que no cumple con las especificaciones técnicas establecidas.

Para reducir los desperdicios relacionados a los reprocesos, es necesario comparar las especificaciones de fabricación con los requisitos del cliente y tratar de simplificar el proceso de fabricación. Al hacerlo, se deben eliminar todos los procesos que no agreguen valor a lo largo de la producción, debido a que un cliente no estaría dispuesto a pagar por estas actividades. Eliminar los reprocesos es posible cuando se logra tener una comunicación eficiente entre el productor y el cliente, de manera que el productor conozca concretamente lo que el cliente requiere.

Sobreproducción

El desperdicio de la sobreproducción se basa en tener una producción que supere ampliamente la demanda de los clientes, es decir, que se produzca mucho más de lo que los clientes van a comprar. Este desperdicio es costoso, dado que afecta el flujo de trabajo y se disminuye tanto la calidad como la productividad, es causado por lotes de producción grandes y una mala comunicación proveedor-fabricante-cliente. Un resultado de la sobreproducción es el inventario excesivo.

La eliminación del desperdicio de la sobreproducción se ejecuta mediante la filosofía de producción Just-in-Time (JIT) que fue descrita en la sección de Inventarios vista anteriormente. El simple hecho de equilibrar la tasa de producción con la demanda hace que se corrija este desperdicio y se optimice.

Defectos y remanufactura

Tener material desperdiciado hace que lo productos defectuosos sean uno de los desperdicios que más impacto tienen en una compañía, este impacto es principalmente en el tema económico. Una pieza terminada que está por fuera de los estándares del

producto debe ser desechada o retrabajada para que se ajuste a estos estándares. En ocasiones estos defectos no son detectados en la planta de producción sino que los detecta el mismo cliente, por lo que se tiene el riesgo de pérdida del clientes debido a la insatisfacción con el producto.

Los errores de calidad dentro de los procesos son los que causan los defectos en los productos finales, agregando un costo adicional que no es nada simple, este costo adicional de hacer remanufactura al producto con el fin de ajustar los estándares no agrega valor alguno y se pierde tiempo de producción, siendo el doble de tiempo para obtener la misma pieza. Tener en cuenta lo que el cliente requiere del producto es fundamental dado que allí es donde se centra este desperdicio, en los productos que no cumplen con las especificaciones técnicas que el cliente requiere.

Los defectos pueden evitarse si se halla la causa de estos, se crean estrategias para que estos defectos sean menos probables o se diseñen procesos que detecten fácilmente cualquier mal funcionamiento. La inspección aleatoria de los productos en proceso hacen que se detecten los defectos de manera temprana y a tiempo para aplicar los correctivos necesarios para así obtener la pieza final que se ajusta a los estándares.

Implementación Filosofía Lean

Una ventaja, con la cual no contaba el equipo de ingenieros de Toyota en la época que empezaron a idear las técnicas del Lean Manufacturing, es la retrospectiva. Las técnicas surgían en cuanto analizaban o abordaban cada problema, pero a diferencia de ellos actualmente existe la posibilidad de dar una mirada global a las técnicas desarrolladas y hacer una propuesta de cuál sería el mejor camino para implantar en las compañías la filosofía Lean.

(Rivera Cadavid, 2013) presenta una propuesta de cuatro etapas para la adopción de la filosofía Lean, la cual es posible comprender de manera general como un proceso de mejoramiento continuo que comienza a nivel interno para posteriormente conseguir una conexión con factores externos, cabe resaltar que Kaizen/Mejoramiento continuo es inherente en el Lean manufacturing y es un pilar fundamental de la filosofía, se debe tener en cuenta que la implementación de Lean Manufacturing parte desde una mirada holística. Para comprender el modelo propuesto por el autor se presenta en la figura 7.

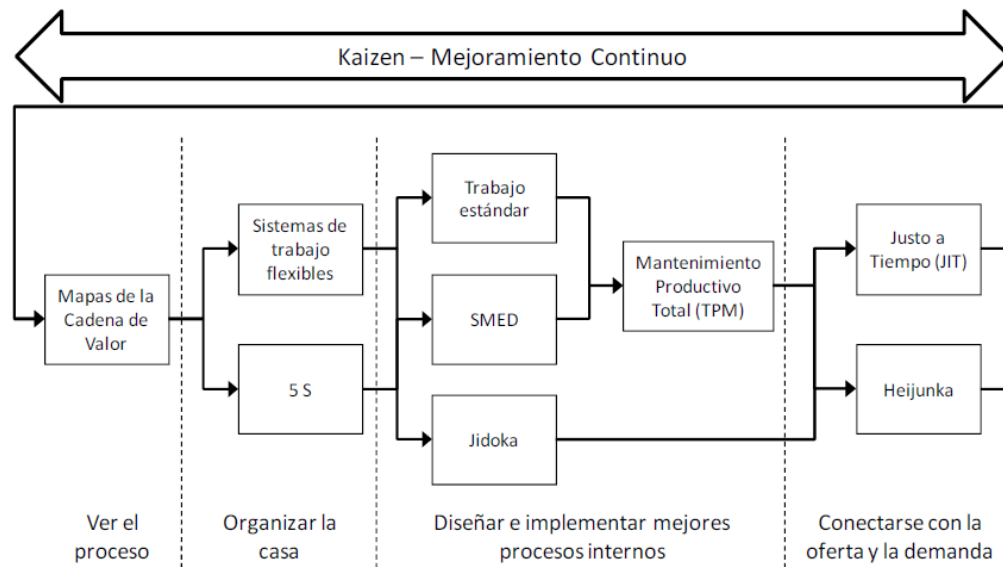


Figura 7: Modelo de implementación de Lean Manufacturing. Fuente: (Rivera Cadavid, 2013)

Un aspecto que no es mencionado por muchos autores tiene que ver con la comunicación existente en una compañía. (Puvanasvaran et al., 2009) confirma la hipótesis que plantea en su estudio, la cual establece que el éxito de la implementación de la filosofía Lean tiene una fuerte relación con la comunicación que existe entre los procesos del proceso productivo, incluso la implementación puede fallar si no se establece un adecuado proceso de comunicación entre las actividades.

Herramientas y Técnicas Lean

En esta sección se presenta información general de las herramientas mencionadas en el modelo de implementación.

Kaizen

Kaizen es una palabra japonesa que individualmente significa Kai-Cambio y Zen-Mejorar, en conjunto sería un cambio para bien, cambiar para mejor. En la filosofía Lean, Kaizen viene siendo el pilar transversal para su implementación ya que es un cambio en la actitud de las personas, que apunta hacia la máxima utilización de las capacidades de cada quien. Es debido a esto que la traducción que se le da a la expresión

es Mejoramiento Continuo, ya que está asociado a que siempre hay una manera de hacer mejor las cosas, siempre hay un mejor método (Maldonado Villalva, 2008).

Kaizen involucra a todos los empleados de una compañía, desde los directivos hasta los obreros, y tiene como objetivo incrementar el empoderamiento de los colaboradores, para que no solo identifiquen las posibles mejoras del proceso, sino también para que hagan parte de ellas, incrementando así la responsabilidad y el compromiso que cada cual siente con la empresa. De aquí parte la definición de evento kaizen el cual significa una ventana de oportunidad para mejorar el proceso.

Sin embargo la implementación de la técnica Kaizen está acompañada de diferentes desafíos que no la hacen fácil de administrar, como lo destacan (Maarof y Mahmud, 2016), entre estos desafíos se encuentran la resistencia al cambio especialmente en el personal de mayor edad, falta de motivación en los empleados y falta de recursos tanto financieros como humanos.

5'S

El acrónimo corresponde a cinco palabras japonesas que definen la herramienta, cuya fonética empieza con S: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke, que se traducen al español como: Clasificar o Eliminar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Disciplina, respectivamente (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013). Como es evidente tiene relación con el orden y la limpieza en el puesto de trabajo, pero va mucho más allá debido a que tiene como objetivo evolucionar la disciplina y el compromiso del colaborador.

- Seiri/Clasificar: hace referencia a tener en el puesto de trabajo solo lo que se necesita para realizar nuestra labor, en esencia es hacernos la pregunta: ¿Es esto útil o inútil?, de este modo identificaremos los objetos prescindibles y no habrá exceso de materiales.
- Seiton/Orden: ya que tenemos lo imprescindible solo debemos organizarlo de tal modo que se encuentre con facilidad, la frase para esta S sería: Cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa.
- Seiso/Limpieza: consiste en llevar a cabo una limpieza del puesto de trabajo al iniciar y terminar labores; al estar los espacios y equipos limpios será posible identificar con mayor facilidad focos de suciedad, manchas o objetos fuera de su puesto, entre otras anomalías. Limpieza es detección.

- Seiketsu/Estandarizar: para sostener o garantizar que perduren los efectos de las tres *eses* anteriores se recomienda estandarizar. Esta herramienta requiere de una inversión de tiempo y dinero, por lo tanto la empresa debe establecer métodos que muestren cómo llevar a cabo procesos de utilización, orden y limpieza; en la mayoría de las situaciones la documentación de procedimientos es la mejor alternativa.
- Shitsuke/Disciplina: sin duda alguna sería mejor utilizar la palabra Autodisciplina, ya que consiste en la interiorización de todas las *eses* anteriores por parte de los colaboradores. Es por este mismo motivo que resulta ser la etapa más difícil de alcanzar debido a su impacto en las prácticas culturales de las personas, las cuales siempre suelen ejercer cierta resistencia al cambio.

Sistemas de trabajo flexibles

El enfoque Toyota las denomina celdas o células de manufactura, consiste en agrupar, por familia de productos, los recursos y espacios necesarios de tal modo que estén próximos, al igual que permite establecer con mayor facilidad el equipo de trabajo que se requiera para su operación. 8.

En manufactura representa ventajas importantes en cuanto a: operadores multifuncionales, mejor calidad, reducción de inventario en proceso y de manera general se puede controlar el volumen de producción del proceso variando el número de personas asignadas a cada celda (Rivera Cadavid, 2013).

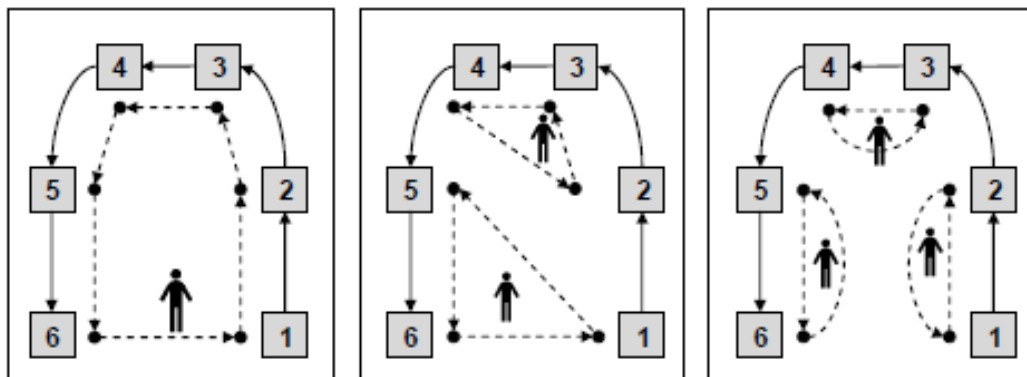


Figura 8: Operación de celda de manufactura con número de operarios variable. Fuente: (Rivera Cadavid, 2013)

Trabajo estándar

El trabajo estandarizado es un conjunto de procedimientos de trabajo que establecen el mejor método y secuencia para llevar a cabo una actividad. Esto permite que la interiorización de conocimientos sea mayor por parte del personal y que de ser necesario entrenar personal nuevo ya se cuenta con una base. Sin embargo, la estandarización no debe ser absoluta, bajo el marco de Lean manufacturing hablamos de mejora continua y esto significa que debe haber una revisión y mejora de los estándares que han sido establecidos previamente para así garantizar altos niveles de productividad, calidad y seguridad. (Maldonado Villalva, 2008)

SMED

Single Minute Exchange of Die, o en español alistamientos rápidos, es una metodología o conjunto de técnicas que buscan la reducción de los tiempos de preparación de una máquina. La posibilidad de errores en los ajustes de técnicas y utensilios son eliminados por estos métodos rápidos de cambio, suprimen la necesidad de inspecciones e incluso aumenta la capacidad de la máquina, ya que si la máquina está a máxima capacidad para percibir su aumento de capacidad basta con reducir los tiempos de cambio y preparación de la misma (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013). Shigeo Shingo clasifica las actividades que ocurren durante el alistamiento en actividades internas y externas; las primeras involucran que la máquina esté detenida para el alistamiento, mientras que las segundas son aquellas que pueden llevarse a cabo con la máquina en funcionamiento. Esta clasificación es fundamental debido a que para lograr los efectos del SMED se perfeccionan cada una de ellas (Rivera Cadavid, 2013). Los efectos del SMED son: cambios sencillos, producción de stock mínimo, simplificación del área de trabajo y un incremento en la productividad y flexibilidad.

Jidoka

Jidoka se traduce como automatización con un toque humano o autonomación. El objetivo de la técnica es que el proceso tenga su propio control de calidad, es detener el proceso siempre que se detecte una anomalía, esta detención puede ser automática o llevada a cabo por el operario, impidiendo así que la pieza defectuosa avance en el proceso. Del Jidoka se desprenden otros dos términos que contribuyen a la autonomación como lo son el Andon y el Poka-Yoke. El Andon por su parte es la capacidad que el operario tiene para detener la línea de producción cuando detecta un defecto

o una irregularidad (Maldonado Villalva, 2008); el Poka-Yoke, a prueba de errores en español, consiste en configurar las operaciones, equipos y productos de tal manera que sea imposible (o muy difícil) que se cometa un error.

TPM

Total productive maintenance, que se traduce como Mantenimiento productivo total, es un conjunto de técnicas encauzadas a la eliminación de averías en los equipos por medio de la participación y colaboración de todos los empleados (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013). A nivel operativo, se puede decir que el objetivo del TPM es que los equipos operen sin averías y fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada (Maldonado Villalva, 2008).

Heijunka

Supone el máximo grado de compromiso con la filosofía JIT, que se verá en el siguiente apartado, es una técnica que necesita de un entorno específico para su aplicación, en lo relativo a productos, procesos y disponibilidad de medios (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013). También llamada Producción suavizada, pretende conseguir que el producto tenga en su proceso de producción un flujo armonioso y que sean cada vez lotes más pequeños (Rivera Cadavid, 2013). (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013) señala además que deben aplicarse cuatro técnicas para alcanzar este sistema avanzado de producción con flujo constante, ritmo determinado y trabajo estandarizado, que son: células de trabajo, flujo continuo pieza a pieza, producir respecto al Takt time (tiempo de ritmo) y nivelar el mix y el volumen de producción.

Just in Time

Justo a tiempo es la adaptación de una cadena productiva al sistema Pull (jalar), es decir que solo se produce cuando el siguiente proceso solicita unidades del anterior. Para dar una idea del funcionamiento de la técnica es necesario mencionar un sistema de control de la producción basado en tarjetas, en japonés llamado Kanban. Partamos de que se tiene determinado inventario de producto terminado y un cliente se presenta y toma una de esas unidades, como cada unidad tiene asociada una tarjeta Kanban se envía ésta a la última estación, lo cual señala la necesidad de completar nuevamente el inventario de producto terminado. Entonces este inventario final es lleno nuevamente

por una unidad que ya había completado el proceso precedente, la procesa y completa el vacío que había sido dejado por el cliente. Ahora, como se tomó una unidad, la penúltima estación recibe la señal que hay un espacio en su inventario, y debe tomar una unidad del proceso anterior para llenar nuevamente su inventario base y así sucesivamente. Como se aprecia en la figura 9, es el cliente quien hala el sistema de producción.

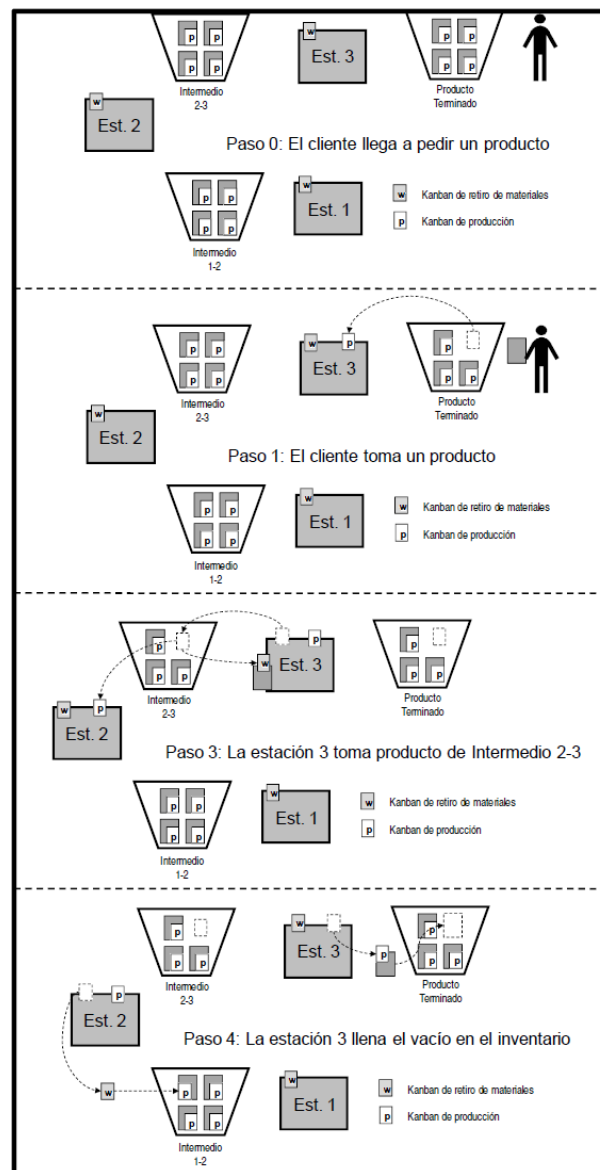


Figura 9: Utilización de Kanban en un sistema Pull. Fuente: (Rivera Cadavid, 2013)

4.1.2. Value Stream Mapping

Esta es la herramienta del Lean Manufacturing que nos permite *ver el proceso*. y nos sirve de apoyo y base para rediseñar sistemas de producción bajo el enfoque Lean. El Value Stream Mapping es una herramienta visual que permite identificar todas las actividades de los procesos productivos y de planeación (Conner, 2009), esta técnica revela las necesidades en una cadena de valor, es decir, todos aquellos puntos de la cadena que necesitan ser intervenidos de manera que se optimice el proceso de producción y se cree una cadena de valor competitiva, eficiente y flexible.

Esta herramienta comienza a ser utilizada en Japón por la empresa Toyota, bajo la denominación de mapeado del flujo de materiales e información y es posteriormente desarrollada en el libro "Learn to see" de (Rother y Shook, 1999). Tiene como propósito graficar las actividades relacionadas con el proceso que agreguen o no valor al producto terminado, con el fin de encontrar oportunidades de mejora.

El VSM hace parte de los 5 principios Lean descritos por (Womack, 1996), estos principios son los siguientes:

- Especificar el valor para cada producto terminado.
- **Identificar el flujo de valor para cada producto.**
- Hacer que el valor fluya sin interrupciones.
- Dejar que el cliente tire del valor desde el productor.
- Perseguir la perfección

La metodología de aplicación del VSM varía dependiendo de la cadena de valor que se estudie, sin embargo la mayoría de estas tienden a las descritas por (Barcia y De-Loor, 2007), aquí el autor establece una metodología que consiste en 5 etapas y que se pueden visualizar en la figura 10, estas etapas son:

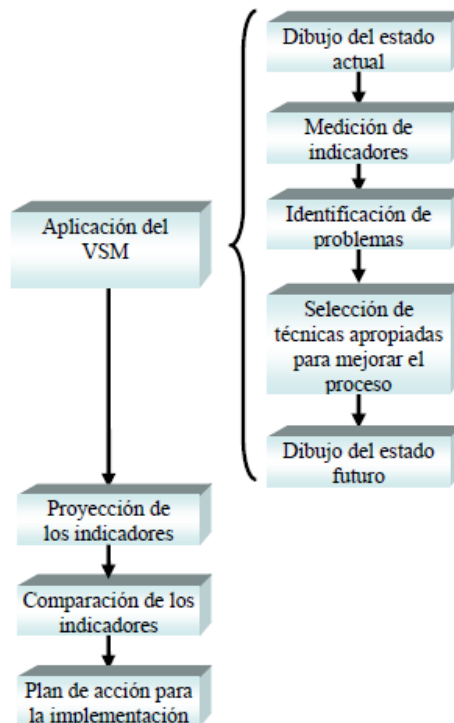


Figura 10: Metodología VSM planteada por (Barcia y De-Loor, 2007). Fuente: (Barcia y De-Loor, 2007)

- *Dibujo del estado actual*: En esta etapa se bosqueja el mapa de valor del problema estudiado, se incluye los tiempos de ciclo del proceso y demás información necesaria.
- *Medición de los indicadores*: Aquí se establecen los indicadores del proceso y se realiza la medición de estos.
- *Identificación de problemas*: Se identifican los problemas que afectan tanto a la cadena productiva como a los procesos individuales, estos problemas se relacionan con los desperdicios que generan y se catalogan dependiendo del tipo de desperdicio que generan (cultura, proceso o tecnología).
- *Selección de técnicas apropiadas para mejorar el proceso*: Con la catalogación realizada en la etapa anterior se hace más fácil la selección de las técnicas dependiendo de los desperdicios encontrados.

- *Dibujo del estado futuro:* en esta última etapa se mapea el estado futuro de la cadena de valor, muestra como lucirá esta una vez implementadas las técnicas de mejora planteadas.

Adicionalmente (Barcia y De-Loor, 2007) propone 3 actividades que complementan la aplicación del VSM, estas son: *Proyección de los indicadores*, *Comparación de los indicadores* y la creación de un *Plan de acción para la implementación*, esto último para las mejoras propuestas.

Para la construcción del VSM se debe conocer el proceso a un nivel de detalle bastante significativo, para esto se aplican herramientas y técnicas como flujograma del proceso de la compañía y el SIPOC, los cuales nos permiten caracterizar el proceso apropiadamente.

Simbología

Las figuras básicas utilizadas en VSM son una combinación de iconos de flujo y formas únicas para representar las diversas tareas y funciones sin un flujograma. En la figura 11 se pueden apreciar las figuras comúnmente utilizadas para la elaboración del mapa de la cadena de valor, las cuales van desde figuras para procesos, entidades, inventarios, flujos, señales, etiquetas hasta personas y transporte. (Nash A. y Poling R., 2008)

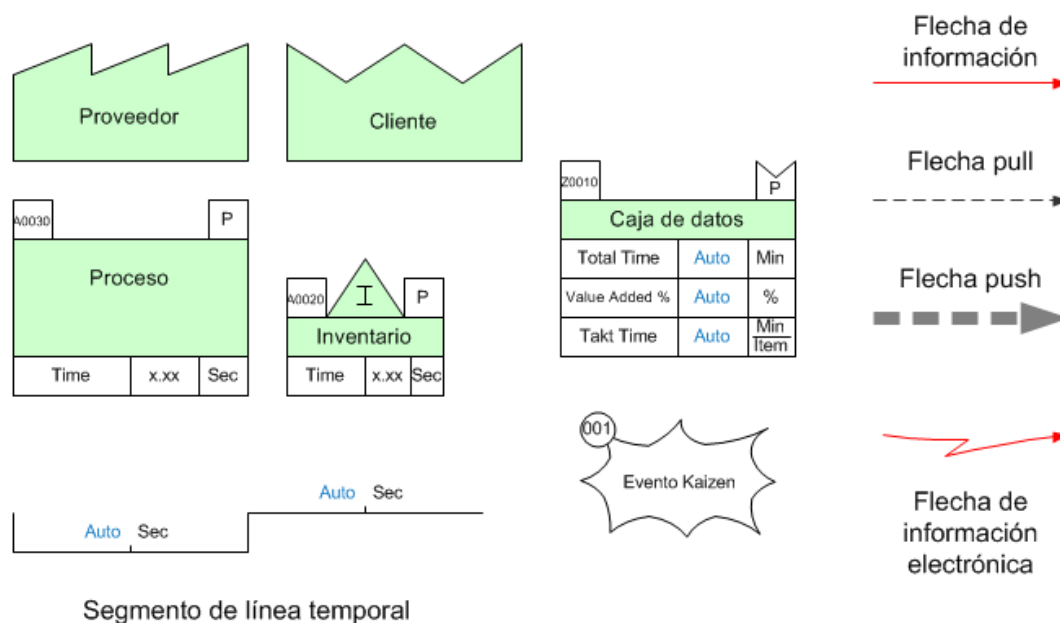


Figura 11: Simbología comúnmente utilizada en VSM. *Fuente: elaboración propia*

Del mismo modo, el VSM incluye términos que resultan fundamentales para su desarrollo, interpretación y posterior análisis, como lo son:

Takt time

Según (Nash A. y Poling R., 2008) el *Takt time* es la velocidad a la cual debe operar la cadena de valor para satisfacer la demanda de los clientes. La fórmula para el cálculo del Takt time se presenta en la ecuación 4.1.

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Tiempo disponible neto por periodo de tiempo identificado}}{\text{Demanda del cliente para el mismo periodo}} \quad (4.1)$$

Tiempo de ciclo

Es el tiempo transcurrido desde que una pieza entra a un proceso hasta que sale de éste, siendo su estado válido para continuar con el proceso productivo. El tiempo de ciclo es quizás la más sencilla importante información que es consignada en el VSM. (Nash A. y Poling R., 2008)

OEE

Overall Equipment Effectiveness, que se traduce como la efectividad general de los equipos, es un indicador que sirve como medida para rastrear actividades que no agregan valor a un proceso productivo, ya que muestra las pérdidas relacionadas con el rendimiento y la calidad en un sistema o equipo (Muluh Cheh, 2014). La ecuación 4.2 muestra el cálculo de este indicador:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \quad (4.2)$$

eVSM

Para el análisis y modelado de los value stream mapping existen diversas herramientas, entre ellas se encuentra el software llamado eVSM. Este software, un complemento de Microsoft Visio, permite el diagramar los VSM utilizando los gráficos estándar de esta herramienta Lean, el software tiene programado dentro de su algoritmo las ecuaciones necesarias para el estudio de los indicadores del Mapa que sean establecidos en principio, esta característica lo hace una herramienta práctica puesto que solamente es

necesario ingresar los datos y el software se encarga de encontrar una solución e incorporarla al mapa. El software también exporta los resultados de la solución a un archivo de Microsoft Excel lo que hace que el análisis de los resultados se haga de manera más práctica.

4.1.3. SIPOC

El diagrama SIPOC o PEPSU es de gran utilidad para entender y describir los procesos. Tiene como objetivo analizar no sólo el proceso sino su entorno también, para ello se hace la identificación de los proveedores (P), las entradas (E), el proceso (P), las salidas (S) y los usuarios (U), el acrónimo en inglés de este diagrama es SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers).

(Gutiérrez Pulido y Salazar, 2009) propone cinco pasos para la realización del diagrama SIPOC:

1. Delimitar el proceso y hacer su diagrama de flujo general.
 2. Identificar las salidas del proceso, es decir, los resultados del proceso.
 3. Especificar los usuarios o clientes, que son quienes se benefician con las salidas del proceso.
 4. Establecer las entradas (pueden ser materiales o información) que son necesarias en el proceso.
 5. Finalmente se identifican los proveedores, es decir la fuente de nuestras entradas.
- En la figura 12 se aprecia la estructura de este diagrama.

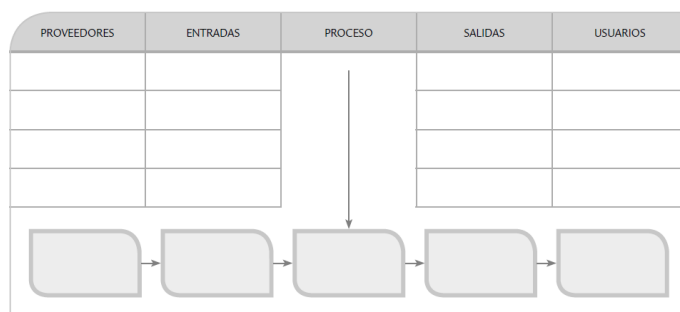


Figura 12: Estructura Diagrama SIPOC. Fuente: (Gutiérrez Pulido y Salazar, 2009)

4.1.4. Análisis de jerarquía analítica

Fue desarrollado para resolver problemas de criterios múltiples por Thomas L. Saaty en 1980. El proceso involucra directamente a las personas que deben tomar las decisiones para que evalúen subjetivamente los criterios y alternativas de decisión, obteniendo así de manera eficiente y gráfica una jerarquización de prioridades que muestran las preferencias entre cada una de las alternativas (Bruno, 2005).

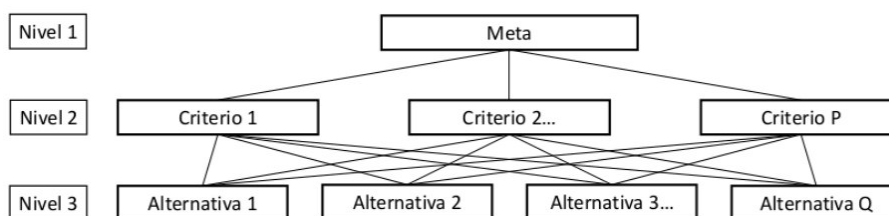


Figura 13: Estructura general para un modelo AHP. Fuente: (Becerra Fernández y Rodríguez Yee, 2017)

En la figura 13 se muestra la estructura del modelo propuesto por Saaty, el cual resulta ser un modelo de decisión multi-criterio aplicable para la selección de la alternativa o alternativas más favorables, ya que presenta un sustento matemático, evalúa los criterios mediante asignación de "pesos", permite ver índices de consistencia en éstas asignaciones, permite la participación de diferentes personas y su principal ventaja es su funcionalidad al momento de medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común (Bruno, 2005).

4.1.5. Estudio de trabajo

El estudio del trabajo es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades, tiene por objeto examinar de qué manera se están realizando las tareas, de tal forma que se simplifique o modifique el método operativo para reducir el trabajo innecesario o excesivo, el mal uso de los recursos, y fijar un tiempo de trabajo estándar. El estudio del trabajo genera buenos resultados ya que es sistemático para buscar problemas e identificar su solución, además de ser un útil medio para aumentar la productividad mediante la reorganización del trabajo, de igual manera contribuye a la mejora de la

seguridad en las condiciones de trabajo y es de fácil aplicación en todo tipo de empresas. Kanawaty también define el Estudio de métodos y la Medición del trabajo, dos técnicas relacionadas y las cuales derivan del estudio del trabajo, estas técnicas se definen a continuación:

Estudio de métodos

El estudio de métodos es el registro y examen crítico de la forma en que se realizan las actividades, es decir, los modos existentes de realizar un trabajo con el fin de proponer mejoras y hacerlos más eficaces y sencillos. Para ello suelen utilizarse:

Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es la representación gráfica y secuencial de un proceso. En el caso del presente trabajo se realizó el diagrama de flujo referente a la familia de productos más representativa como se ha reiterado anteriormente.

Diagrama de procesos

El diagrama de procesos muestra todo el manejo, inspección, operación, almacenaje y retrasos que ocurren con cada componente conforme se mueve por la planta. El diagrama de flujos es la imagen y el diagrama de procesos es el texto.

Medición del trabajo

La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que un trabajador calificado invierte en la realización de una tarea. Una de las técnicas más conocidas es el estudio de tiempos.

Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo que permite registrar tiempos y ritmos de trabajo en una actividad con el fin de establecer un tiempo adecuado para la realización de tareas según una norma de ejecución preestablecida, por lo general el principal elemento que se necesita para realizar el estudio es un cronómetro y formularios para consignar los datos recogidos.

Esta técnica sirve para que los trabajadores conozcan de mejor manera la naturaleza y el costo de su trabajo, pues son estos dentro del concepto del lean manufacturing los que tienen la capacidad de reducir el desperdicio o muda ya que se relacionan estrechamente con los procesos. Además es útil para la gerencia ya que mediante este estudio se establecen tiempos estándar lo cual permite un mejor análisis de la información de cada puesto de trabajo y por ende contribuye a la toma de decisiones.

El estudio de tiempos se debe realizar por medio del cronometraje y la observación, agrupando las actividades según su naturaleza:

- Operaciones: las cuales transforman el producto
- Recorridos: se refiere al transporte tanto de materiales como de operarios
- Esperas: tiempo que el producto aguarda a ser procesado o transportado a otra actividad diferente
- Almacenamientos: se componen de largas esperas causadas por disponibilidad del operario para realizar la siguiente operación y por esperas no justificadas

Para llevar a cabo este estudio de tiempos se debe inicialmente realizar una prueba piloto de cada actividad del proceso, para posteriormente calcular el tamaño de la muestra de cada elemento por medio del método estadístico propuesto por (Kanawaty, 1996) presentada a continuación:

$$n = \left(\frac{40 * \sqrt{n' * \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (4.3)$$

Donde

$$n' = \text{Número de pruebas piloto} \quad (4.4)$$

$$\sum x^2 = \text{Sumatoria de los cuadrados de los tiempos de cada actividad del proceso} \quad (4.5)$$

$$\sum x = \text{Sumatoria de los tiempos de todas las actividades del proceso} \quad (4.6)$$

$$(\sum x)^2 = \text{Sumatoria de los tiempos de todas las actividades elevada al cuadrado} \quad (4.7)$$

Además de la información necesaria para la obtención de los números de ciclo, se requiere del uso de la media y desviación estándar de los datos de la prueba piloto, siempre y cuando el n obtenido sea un número elevado. Para ello se usan las ecuaciones 4.8, que calcula la media de los datos de la siguiente manera:

$$\hat{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (4.8)$$

Donde x es cada dato recopilado y n el número total de registros y la desviación estándar se tiene:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{X})^2}{n - 1}} \quad (4.9)$$

4.2. Microsoft Visio y eVSM©

En este trabajo para realizar el modelado del proceso productivo se han utilizado dos software para su análisis, el primero de estos se llama Microsoft Visio y dentro de sus funcionalidades se encuentra la de construir diagramas de flujo y simularlos como procesos productivos teniendo en cuenta condiciones iniciales y unidades de medida de ítems y tiempo transcurrido. Como ayuda para el análisis del Value Stream Mapping se utiliza el complemento diseñado para Visio con nombre eVSM©, el cual aporta los graficos necesarios para la construcción del VSM, estos gráficos permiten ser formulados con datos como la capacidad de producción, el tiempo de ciclo, tiempos de espera, entre otros. Con la información que se le suministra y la calculada por el propio complemento se pueden observar informes que sirven para el análisis del modelado.

4.3. Marco Conceptual

En esta sección se explican los conceptos más relevantes dentro de la manufactura de madera contrachapada o triplex.

Bache: Mezcla de resina, agua, harina de trigo y un agente catalizador que se utiliza para unir las chapas interiores y exteriores en una sola pieza que será la lámina de triplex final. Las cantidades de cada elemento son: 42*lts* de resina, 15*lts* de agua, 7,5*kg* de harina de trigo y 1*kg* de acelerante, agente catalizador que hace reacción con los demás ingredientes y ayuda a que la mezcla se seque de manera más rápida.

Chapa Interior: Lámina de madera obtenida del torneado que tiene aproximadamente 2mm de espesor y que es utilizada para el interior de las láminas de triplex, dándole estructura y firmeza a la lámina. En la planta de producción objeto de estudio normalmente se le llaman interiores.

Chapa Exterior: Lámina de madera obtenida del torneado cuyo espesor es de aproximadamente 1mm y es el complemento de las chapas interiores, en el proceso de prensado va ubicada de manera paralela a las interiores para fortalecer la estructura de la lámina de triplex. Es llamada simplemente como chapa por los operarios de la planta productiva.

Resane: Mezcla de pegamento blanco, agua y colorantes minerales que se utiliza para rellenar grietas de la superficie de la lámina de triplex para que queden totalmente lisas. La proporción de cada elemento es de 1*gal* de pegamento blanco, 2*gal* de agua, 1000*grs* de colorante mineral amarillo, 500*grs* de colorante mineral rojo y 500*grs* de colorante mineral marrón. Se usan estos colores para obtener un color muy similar al de la lámina de triplex en su etapa final.

Troza: Tronco de madera utilizado para la producción de triplex que tiene unas medidas de 2,6*mts* de largo y su diámetro oscila entre 30*cms* y 1*mt*. Es la materia prima del proceso y de la calidad de este depende la calidad final del producto.

Arrume: Pila o conjunto de láminas de 4mm acomodadas una sobre otra para su almacenamiento, va de 100 a 500 láminas ya que al exceder este valor puede sufrir daños el material que se encuentra en la parte inferior.

4.4. Revisión de la literatura

A pesar de la gama de técnicas y herramientas con las cuales cuenta la manufactura esbelta, no debe asumirse que es simplemente eso, ya que la manufactura esbelta es una filosofía, una cultura que puede ser aplicable a todo tipo de empresas u organizaciones, la cual se caracteriza por ser un proyecto a largo plazo que involucra el desarrollo personal de los colaboradores. A continuación se presentan propuestas de diferentes autores que eligen diferentes herramientas del Lean Manufacturing para intervenir procesos productivos en diferentes clases de compañías.

(Sharmaa y Latab, 2018) aplican las *5S* en una compañía perteneciente a la industria del cobre en la India, en la cual solucionan diferentes problemas de organización de los productos en proceso y terminado, así como también problemas en los procesos productivos, de servicio y el aseo y limpieza de los lugares de trabajo. Concluyendo que las *5 S's* son un sistema que traspasa las fronteras entre departamentos encauzando los procesos y reduciendo los desperdicios de tiempo, espacio y recursos humanos.

Por su parte (Veres et al., 2018) observan la correlación entre el porcentaje de aplicación de la metodología *5S* y la productividad dentro de una compañía automotriz implementando cada una de las cinco fases y observando su impacto en la productividad, la cual aumenta cada vez, de ahí recalcan que el método *5S* es un punto de partida para cualquier empresa que quiera alcanzar altos objetivos y posiciones. También deducen que gracias a la aplicación de esta metodología la fábrica es un lugar más limpio, la seguridad en el lugar de trabajo y la calidad del producto aumentan y los problemas son fáciles de detectar y prevenir.

Una propuesta interesante es hecha por Garza et al. (2018), en la cual exploran el impacto ambiental de TPM, Just in Time, VSM, Kaizen y Jidoka. Por medio de entrevistas a más de 250 empresas manufactureras de todo el mundo, indagando sobre las técnicas mencionadas y relacionándolas con el material utilizado, consumo energético, desperdicios del proceso, y lanzamiento de contaminantes, lo que consiguen es establecer una relación entre los logros ambientalmente conseguidos y el nivel de implantación de la filosofía Lean. Los resultados arrojan, que una compañía con JIT y TPM implementados tienen una alta correlación con el impacto a los cuatro temas ambientales mencionados anteriormente. El VSM resulta prácticamente inofensivo en términos ambientales debido a que, para las compañías, contar con esta filosofía no impacta en los

ejes ambientales evaluados, sin embargo al ser la herramienta diagnóstico del Lean manufacturing no se espera que su contribución sea directamente al medio ambiente. El estudio presenta datos confiables para tener en cuenta si se desea emprender un proyecto Lean queriendo generar un impacto no sólo productivo sino también ambiental.

(Faisal, 2016) estudia una PYME de Estados Unidos, la cual planea incursionar en el mercado internacional. Estudia los nueve procesos que se trabajan en la compañía, toma tiempo de cada proceso para construir el mapa de la cadena de valor y proponer un estado futuro con las mejoras identificadas. La propuesta resulta ser positiva para la compañía, disminuyendo el desperdicio del proceso considerablemente e incrementando las salidas del proceso.

Fawaz A. (2007), describe un caso en el que los principios lean fueron adaptados para el sector de procesos, para su aplicación en una gran acería integrada. Value Stream Mapping fue la principal herramienta utilizada, debido a que permite a los autores identificar las oportunidades para las demás técnicas lean. De igual manera, se presentan los escenarios *antes* y *después* del mapa de la cadena de valor, con el fin de ilustrar a los administradores los beneficios potenciales, tales como la reducción del tiempo de producción y la reducción del inventario de trabajo en proceso.

Como presentan los autores mencionados anteriormente, la modelación de un estado futuro resulta ser una herramienta predictiva para la toma de decisiones en una empresa, siendo el insumo de éstas las técnicas que hacen parte de la manufactura esbelta. Entre los beneficios que se encuentran en la literatura se tiene la mejora de la productividad del trabajo y la calidad, la reducción de tiempos, tiempo de ciclo, costos de fabricación y reducción del trabajo en proceso. White y Wilson (1999)

La misma iniciativa toman Cruz y Cáceres (2015), los cuales mediante el uso de Value Stream Mapping establecen el VSM actual de una compañía metal-mecánica, específicamente en el proceso de producción de puertas. En este estudio proponen tres escenarios posibles en los cuales se aplican las técnicas de la manufactura esbelta para mejorar el desempeño de los procesos productivos que se llevan a cabo en la empresa, finalmente, por medio de la simulación, evalúan la efectividad de las propuestas, obteniendo que el escenario que mejores resultados brinda a la compañía es aquel en que se eliminan las esperas no justificadas de los trabajadores; todos los resultados son justificados por la observación de los procesos y un profundo estudio de tiempos.

(Paredes Rodríguez, 2017) aborda la misma problemática anterior, solo que en esta ocasión aplicada a una empresa embaladora, la cual no tiene problema alguna con los tiempos de ciclo hallados para cada proceso, pero si logra identificar en ella desperdicios, los cuales resuelve con la propuesta de implementar el programa 5s's y aplicando una distribución de planta de la compañía, modela la situación actual y futura con eVSM, un complemento de Visio, todo esto enfocado a obtener ahorro para la compañía caso de estudio.

Capítulo 5

Metodología

Con el fin de lograr el objetivo general y por consiguiente los objetivos específicos propuestos en el presente documento, se plantea la siguiente metodología que va ligada a cada uno de los objetivos específicos y está compuesta por las siguientes fases:

- Fase de reconocimiento e investigación, esta fase busca dar cumplimiento al objetivo específico uno.
- Fase de construcción, esta fase busca cumplir con lo requerido en los objetivos específicos dos y tres.
- Fase de modelación, en esta etapa se busca cumplir con el objetivo específico número cuatro.

La fase de reconocimiento e investigación tiene dos componentes como su nombre lo indica, el primero de ellos es el reconocimiento del proceso, en este componente se realiza la caracterización del proceso productivo. Esta caracterización se realiza en una visita a la planta física de la compañía donde se realiza el reconocimiento del proceso como tal, observando cada uno de sus procesos y actividades. Además de la caracterización del proceso productivo también se hacen paralelamente la observación de los inventarios de producto en proceso y la identificación de los desperdicios y problemas en cada etapa del proceso, con el fin de clasificarlos. La clasificación de los desperdicios es necesaria para conocer qué herramientas Lean Manufacturing se ajustan a los problemas identificados.

En el proceso de caracterización del proceso se utiliza la herramienta SIPOC, esta herramienta ayuda a la identificación de las entradas y salidas de cada subproceso, así

como también sus proveedores y clientes, la relación entre los subprocesos y los flujos de material e información entre estos y los entes de control administrativo que hay en la compañía.

El segundo componente de esta fase comprende la parte investigativa, allí con la ayuda de las herramientas tecnológicas se realiza la búsqueda de artículos y documentos en los cuales se adopte la filosofía Lean, o los cuales permitan conocer de primera mano lo que implica este cambio en la manera de ejecutar y llevar a cabo los procesos, también se busca la documentación necesaria para conocer las características y aplicabilidad de cada herramienta Lean, buscando elegir las correctas para mitigar los problemas identificados. Este componente se puede apreciar a lo largo del documento, el cual toma como base, principalmente, los trabajos de (Rivera Cadavid, 2013) y (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013).

Para los desperdicios identificados se realiza una priorización, la cual se hace por medio de un análisis de jerarquía analítica. El modelo gráfico y su desarrollo es llevado a cabo junto al personal administrativo, los cuales se encargan de evaluar los criterios y alternativas presentadas. De este modo se establecen entonces los desperdicios prioritarios, los cuales serán considerados en el VSM futuro.

La fase de construcción toma de la etapa de reconocimiento la información relacionada con la estructura del proceso y los flujos de información de todo el proceso y se inicia el levantamiento del Value Stream Mapping (VSM) actual para el proceso productivo.

A continuación se muestran las actividades que se llevan a cabo para la construcción del VSM:

- Determinar la cadena de valor
- Separar los datos de los cliente con mayor relevancia
- Calcular el takt time (ritmo al cual cada proceso debe estar produciendo)
- Determinar los procesos que conforman la cadena de valor, los indicadores para medirlos y el nivel de inventario
- Separar los datos más relevantes del proveedor

- Calcular el tiempo de procesamiento y el tiempo de entrega
- Determinar el flujo de información

En este caso ya se tiene identificado la cadena de valor a evaluar, por tanto el paso uno de la construcción del VSM se omite, posteriormente se incluyen los datos de la demanda diaria del producto final con la cual se logra determinar el takt time del proceso. También se ingresan los datos de la periodicidad con que el proveedor envía la materia prima que ingresa al proceso y la cantidad promedio que ingresa cada vez. Otro dato relevante que debe ser incluido es la cantidad de inventario de material en proceso que se encuentra a lo largo de la cadena de valor.

Para complementar la información que necesita el VSM actual es necesario realizar un estudio de tiempos del proceso, este estudio de tiempos se realiza de la siguiente manera: las actividades caracterizadas en la fase de reconocimiento son relacionadas y agrupadas en elementos de trabajo para permitir una toma de tiempos que se ajuste al tipo de producción del caso de estudio, en la sección 6.5 se explica con más detalle este estudio, los tiempos obtenidos son añadidos al VSM actual junto con los valores de los inventarios en proceso observados durante la caracterización del proceso.

Un punto importante que se debe tener en cuenta para esta fase de construcción es la información, es decir, la comunicación que existe durante y entre los procesos de producción de las láminas, este tema es un punto clave del estudio, ya que está estrechamente relacionado con el éxito de la futura implementación de la filosofía.

Con el VSM actual construido y con los desperdicios a mitigar identificados se establecen las estrategias necesarias para reducirlos, así mismo se identifican los eventos kaizen del proceso productivo. Esto se hace para obtener la propuesta del proceso productivo esperado si se tienen en cuenta las recomendaciones resultantes del análisis del VSM actual, de este modo es entonces posible la construcción del VSM futuro, constituido por el nuevo flujo de producto, materiales e información.

La fase de modelado comprende la representación gráfica de las propuestas establecidas en la fase anterior, este modelado se hace con la ayuda del complemento *eVSM* de Microsoft Visio, en el cual se espera obtener resultados confiables que se ajusten a la situación ya conocida en el VSM actual para así garantizar su validez en la presentación del VSM futuro.

Con la ayuda de eVSM es posible visualizar los estados actual y futuro de manera práctica, el programa calcula los principales indicadores del proceso productivo mediante el modelado de los valores resultantes de las fases anteriores y pasan a ser los datos iniciales para el caso del VSM actual; del mismo modo se ingresan al programa los datos que se espera obtener una vez instauradas las propuestas aceptadas por la dirección para así modelar el VSM futuro. Ejemplos de los datos incluidos en el programa son: tiempos de ciclo, los desperdicios en cada proceso, disponibilidad, rendimiento y calidad en las estaciones que aplique, y los inventarios observados entre procesos. Una vez modelado el estado futuro, pasamos a que el modelo calcule los indicadores establecidos.

Una vez se tienen los indicadores arrojados por el modelo de eVSM se deben validar los resultados obtenidos. En esta propuesta se lleva a cabo la validación mediante la comparación de aspectos del VSM actual y del VSM futuro, como lo son:

- OEE de los procesos.
- Takt time vs Tiempos de ciclo.
- Lead time de almacenamientos.
- Calidad del producto final.

Los cuales son los principales indicadores que permiten considerar la propuesta como válida. Conociendo entonces lo que pasaría en caso de implementar las herramientas presentadas en el VSM futuro, se debe complementar el proceso de modelación con un plan de acción, el cual debe responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué se debe hacer?
- ¿Cómo se debe hacer?
- ¿Quién lo debe hacer?
- ¿Para qué se debe hacer?
- ¿Cuánto tiempo se tiene para realizar la implementación?

Cabe resaltar que en ocasiones un plan de acción no llega a ser suficiente para la implementación inicial del Lean Manufacturing, por lo cual es posible que más de un plan de acción sean necesarios.

Capítulo 6

Resultados

6.1. Descripción de la empresa

La empresa caso de estudio se encuentra ubicada en el centro del valle, con una antigüedad de 15 años fabricando láminas de triplex con calibre de 4 milímetros. El mercado en el cual se venden estas láminas se encuentra en Bogotá, dónde se vende el producto a clientes mayoristas y esporádicamente clientes del eje cafetero también realizan sus pedidos. La empresa también cuenta con un punto de venta en la capital dónde se vende el producto al detal. La empresa ha presentado un crecimiento en cuanto a su sistema de producción, ha ido aprendiendo y mejorando su proceso productivo empíricamente por la experiencia que tienen los colaboradores, sin embargo nunca se ha realizado una intervención al proceso como tal.

Durante la observación de los procesos se encuentra que no existen procesos de planeación estratégica o procesos de planeación de las operaciones los cuales permitan tener un mejor control sobre que es lo que se va a producir, es decir, actualmente la alta gerencia de la compañía no tiene un plan de producción en el cual se le informe a los colaboradores cuantas láminas deben producir cada día.

Los colaboradores producen la cantidad que se les permita durante el turno laboral y esta producción es para mantener inventario de reserva que ayuda a responder a la demanda durante los periodos de escasez de materias primas, que es en los meses marzo y abril. Sin embargo, sí se tiene un control sobre el inventario de producto terminado, pero esta información solo es utilizada para los procesos de ventas realizados por el mismo gerente.

6.2. Características de la planta física

La empresa se encuentra ubicada en las instalaciones de una antigua avícola contando con siete galpones con un área bajo techo de $1200m^2$ cada uno, el área total de la planta es de $15000m^2$. Cinco de los siete galpones se encuentran acondicionados con estanterías destinadas para el secado de las chapas, uno de los galpones se comparte entre los procesos de torneado y del alistamiento de material y en el galpón restante se ubica el final de la línea de producción desde el torneado hasta el almacenamiento de producto final. Entre los galpones se encuentran zonas verdes que no se utilizan con ningún fin. La distribución de la planta se puede observar en la figura 13

Las zonas numeradas en la figura 13 son las siguientes:

1. Zona de recepción de materia prima.
2. Zonas de Torneado.
3. Zona de almacenamiento de material húmedo.
4. Zonas de secado de material.
5. Zonas de alistamiento de material seco.
6. Zonas de prensado.
7. Zonas de refilado.
8. Zona de lijado.
9. Zona de seleccionado del producto final.
10. Bodega de almacenamiento de producto final.
11. Bodega de insumos.
12. Cuarto de herramientas.
13. Oficina administrativa

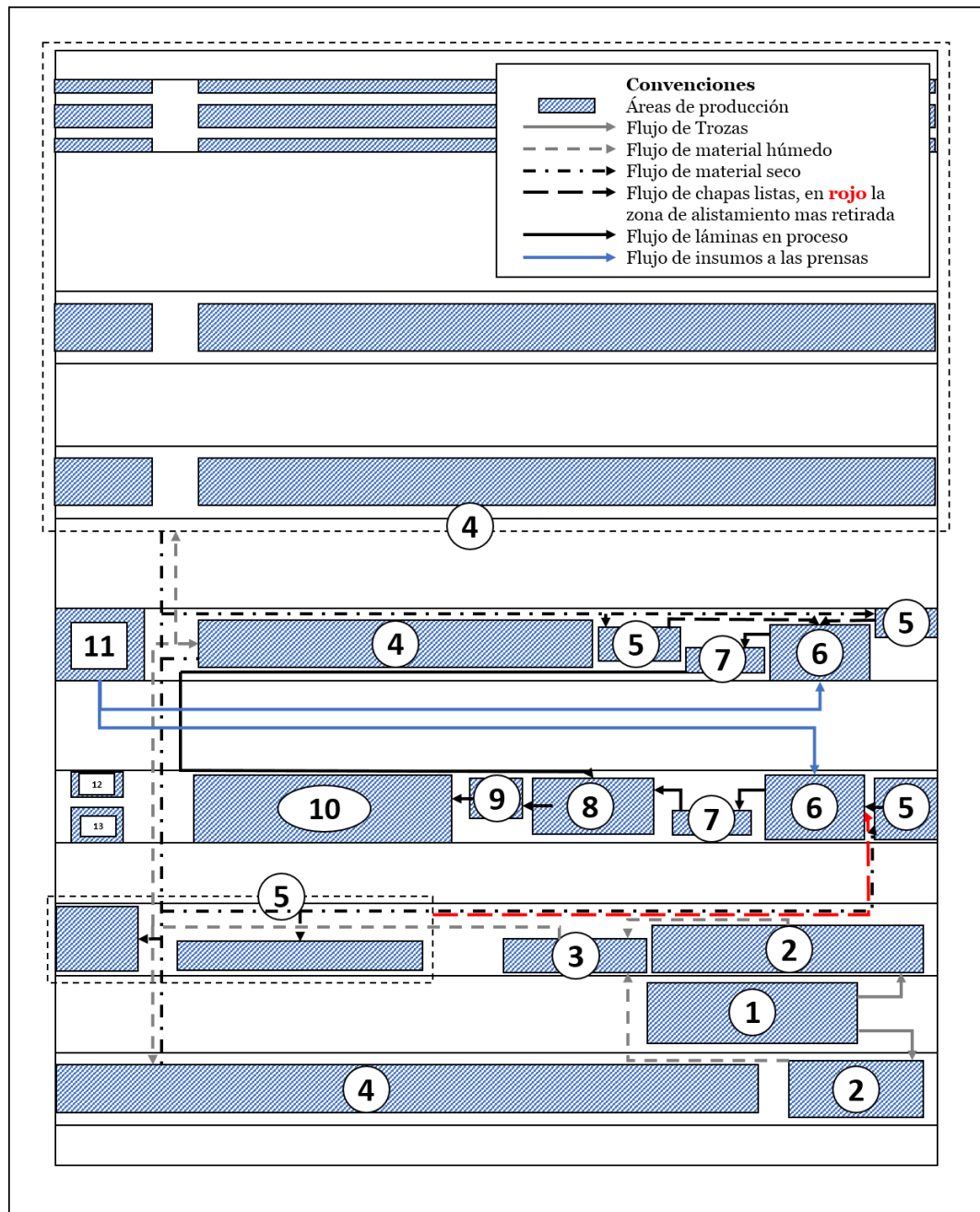


Figura 13: Plano de la planta de producción de triplex caso de estudio. *Fuente: elaboración propia*

6.3. Caracterización del proceso productivo

De manera general para obtener las láminas de triplex estas pasan por 5 subprocesos que empiezan por la pieza de madera llamada troza que es una sección del tronco del árbol de aproximadamente 2,60 metros de larga, esta es torneada para obtener las láminas de chapas interiores y exteriores que deben ser secadas y preparadas para pasar a ser prensadas, una vez salen de la prensa se resanan, se cortan en rectángulos de 1,22mts x 2,44mts para luego pasar al lijado y seleccionado según su calidad. En la figura 14 se puede observar el proceso general de la fabricación de triplex de 4mm.

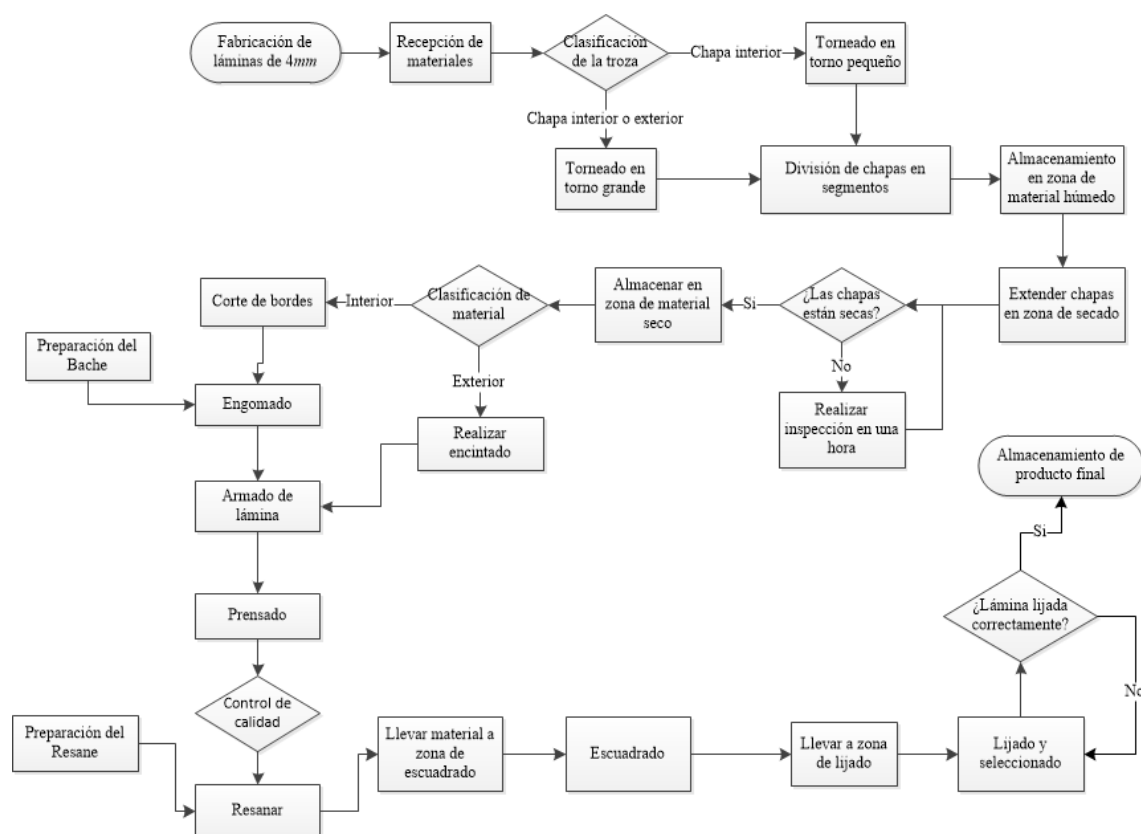


Figura 14: Diagrama de flujo. Fabricación del láminas de triplex de 4mm. Fuente: Elaboración propia

El sistema de producción de las láminas de triplex es del tipo push, se produce siempre y cuando haya materia prima (trozas) disponible, cuando la materia prima llega es recibida en el patio destinado al almacenamiento de esta e inmediatamente se inicia con el proceso de transformación que se describirá a continuación:

Proceso de Recepción de materia prima

El proceso de torneado se inicia con la recepción de la materia prima, en este caso las trozas de madera. Cuando las trozas llegan en el camión que las lleva a la planta de producción un operario mide el diámetro de cada troza para verificar la cantidad de metros cúbicos que llegan al proceso, simultáneamente el mismo operario inspecciona la troza para definir su destino, es decir, el tipo de material que se va a extraer de esta troza. Aquí las dos opciones son: que la troza sea enviada para el torno pequeño en el cual solo se extrae chapa interior o que la troza sea enviada el torno grande para que allí sea extraiga chapa interior y exterior. Ver figura 15.

CURSOGRAMA ANALITICO		ACTIVIDAD				
		○	Operación			
SUB-PROCESO:	Recepción de Materia Prima	□	Inspección			
METODOLOGÍA:	Actual	▽	Almacenamiento			
LUGAR:	Patio de trozas	⇒	Transporte			
EMPRESA MADERERA		⏏	Espera			
Descripción		Símbolo				
		○	□	▽	⇒	⏏
1	Arribo del camión que transporta las trozas	●				
2	Medición del diámetro de las trozas	●				
3	Inspección del estado de las trozas	●				
4	Definición de la utilidad de cada troza (interior o exterior)	●				
5	Descargue de la troza del camión al patio	●				

Figura 15: Cursograma Analítico: Recepción de Materia Prima. *Fuente: Elaboración propia*

Proceso de Torneado

Una vez decidido el destino de cada troza estas son movidas por dos operarios por medio de rieles de madera que ayudan para que las trozas rueden a cada uno de los tornos. Para que las trozas puedan ser procesadas en el torno pequeño se cortan a la mitad de su longitud con motosierra, de esta manera las trozas quedan listas para ser montadas en el torno. Las actividades realizadas en el torno pequeño se inician una vez se encuentran listas las trozas para ser montadas en la máquina, este alce se hace con la ayuda de un polipasto eléctrico que levanta la troza a una altura de 1 metro y

se ingresa al torno ubicando los centros de cada cara de la troza en los clavos que las asegurarán.

Con la troza montada el operario del torno arranca la máquina que empezará a girar y quitar la corteza de la troza y redondearla, mientras esto sucede los dos auxiliares de torno se encargan de colectar el desperdicio que se genera. Cuando la troza se encuentra totalmente redonda uno de los auxiliares empiezan a extender la chapa interior a lo largo de la mesa del torno que tiene aproximadamente 8 metros, cuando este llega al final de la mesa el otro auxiliar corta la chapa y se repite el proceso hasta llegar al diámetro mínimo que permita el torno. Ver figura 16.

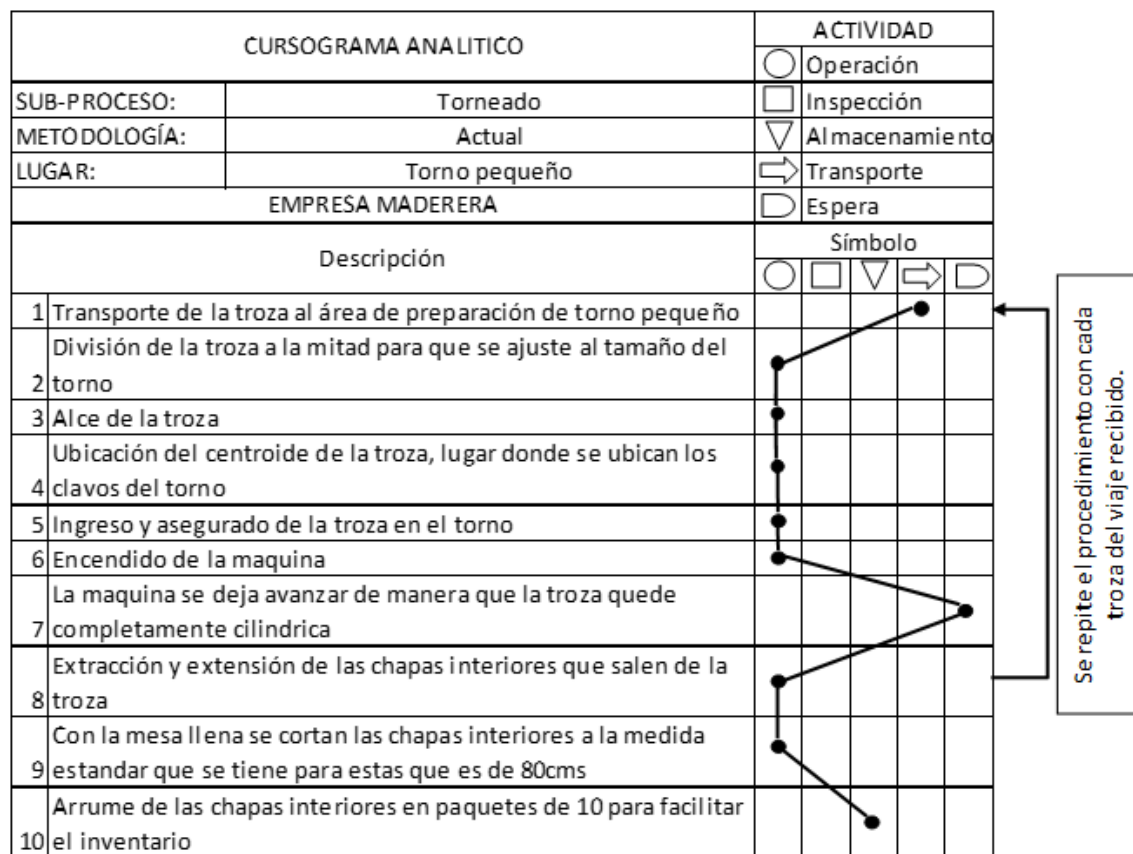


Figura 16: Cursograma Analítico: Torneado, realizado en el torno pequeño. *Fuente: Elaboración propia*

La trozas que son llevadas para procesar en el torno grande repiten el mismo proceso de ingreso a la maquina, una vez la troza se encuentra asegurada se inicia la operación, en principio la cuchilla tiene una abertura de cerca de 2 milímetros con el fin de obtener

chapa interior durante el proceso de redondeo del tronco, una vez este está redondo se se configura la cuchilla a una medida de 1 a 1.3 milímetros para así ya obtener las chapas exteriores, de aquí en adelante se repite el proceso de extensión de las chapas a lo largo de la mesa del torno una y otra vez hasta que se llega al diámetro mínimo que permita el torno.

Cuando ya está por finalizar la jornada de trabajo o ya se ha terminado todo el material que está disponible para procesar en los tornos se procede a dividir con ayuda de motosierra las chapas interiores y exteriores en segmentos con las medidas estándar necesarias para el secado y posterior fabricación de las láminas de triplex. En el torno pequeño se cortan secciones del material interior de aproximadamente 90 centímetros de ancho, esta medida ayuda a reducir el desperdicio de material, por otra parte en el torno grande se dividen las chapas exteriores en secciones de 2.5 metros que es un poco mas grande que la medida final que tendrá la lámina de triplex.

A medida que se van realizando los cortes se van haciendo arrumes de las chapas interiores y exteriores, dejando el material listo para que sea entregado al personal del proceso de secado y que este realice el secado del material. Ver figura 17.

En este proceso se presentan desperdicios relacionados con los daños en las cuchillas del torno debido a que en ocasiones las trozas llegan a la planta con piedras, puntillas, entre otros elementos incrustados, o simplemente la madera puede presentar nudos muy fuertes. Otro de los desperdicios que se encuentran está relacionado con la hora de llegada del pedido debido a que no se tiene establecido un horario de llegada, el camión puede llegar con unas horas de retraso a la planta y los empleados deben esperar hasta que éste llegue para descargarlo. También se presentan desperdicios de material en momentos de calibración de la cuchilla que debe ser calibrada con cada troza en el torno grande ya que en este se extraen chapas interiores y exteriores y estas tienen calibres diferentes. El cambio de un calibre a otro se realiza con la maquina en movimiento y el material desenvuelto en ese momento pasa a ser bagazo.

Operaciones de Secado

La operaciones del secado empiezan con el material húmedo entregado de los tornos al personal encargado de secado del material, en total son 5 operarios que tienen como actividades el extendido, la supervisión y recolección del material. Para realizar

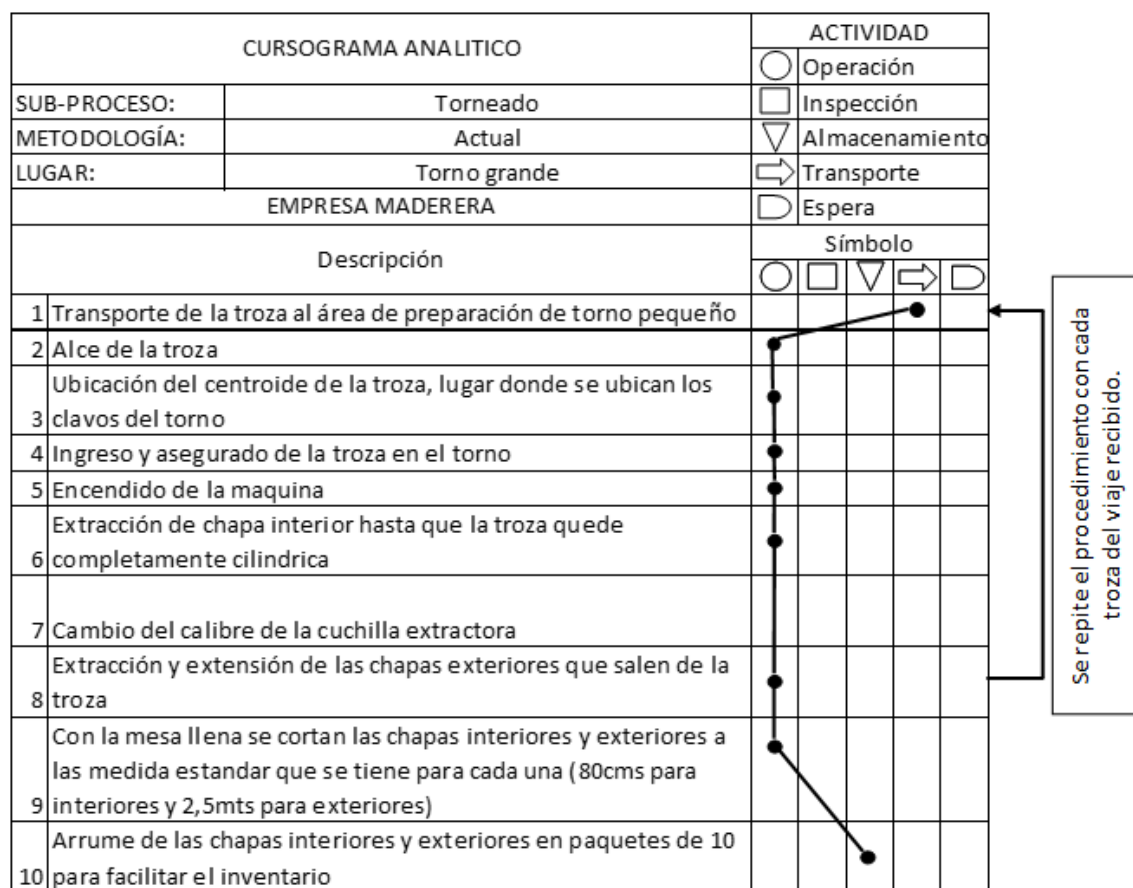


Figura 17: Cursograma Analítico: Torneado, realizado en el torno grande. *Fuente: Elaboración propia*

el extendido se dirigen al área destinada a almacenar las chapas exteriores e interiores húmedas y cargan el material en las carretas que tienen asignadas y las transportan hasta los patios de secado dónde son extendidas en estanterías que tienen un ancho de 1,8 metros y 10 niveles para disposición del material, cada nivel de estos tiene capacidad para albergar una chapa exterior y el equivalente a 2,2 metros cuadrados de chapa interior, esta área puede componerse de dos chapas interiores de 80 centímetros de ancho o una configuración de mayor número de chapas interiores con anchos menores. La capacidad de cada juego de estanterías que se ubican cada uno de los galpones ubicados en el área de secado es de 860 chapas exteriores y aproximadamente 1892 metros cuadrados de chapas interiores.

Una vez extendido todo el material los operarios proceden a esperar que este se seque, mientras esperan y si hay material que ya esta seco de una extendida anterior

lo recogen, lo cargan en las carretas y lo llevan al área de alistamiento de material donde serán corregidas las imperfecciones que puedan haber, de no haber material para recoger realizan labores de limpieza a los patios. Ver figura 18.

CURSOGRAMA ANALITICO		ACTIVIDAD				
		○	Operación			
SUB-PROCESO:	Secado	□	Inspección			
METODOLOGÍA:	Actual	▽	Almacenamiento			
LUGAR:	Patios de Secado	⇒	Transporte			
EMPRESA MADERERA		◇	Espera			
Descripción		Símbolo				
		○	□	▽	⇒	◇
1	Cargue de las chapas en las carretas destinadas para su transporte	●				
2	Llevar las chapas al patio disponible para ser extendidas				●	
3	Extendido de las chapas en las estanterías de secado	●				
4	Espera a que las chapas se encuentren completamente secas					●
5	Recogida de las chapas de las estanterías y posicionamiento de estas en la carreta	●				
6	Llevar las chapas secas a las áreas de alistamiento de material				●	
7	Descargue y arrume de las chapas secas en las respectivas áreas	●				

Figura 18: Cursograma Analítico: Secado *Fuente: Elaboración propia*

El primero de los desperdicios identificados tiene relación con la ubicación dónde se dejan las carretas de un día a otro, no se tiene una ubicación específica y por este motivo se dejan en cualquier sitio, haciendo que cuando se requiera de nuevo se deban recorrer zonas muy largas para retomar labores en dicha carreta. El segundo desperdicio está relacionado con la capacidad del proceso excediendo la capacidad de las estanterías secando el doble o el triple de su capacidad. Los otros desperdicios identificados tienen relación con el material, dado que existe una especie de madera que al secarse se ondula en sus bordes ocasionando que las chapas exteriores se rajen y que las chapas interiores se arqueen.

Operaciones de alistamiento de chapas

En este subproceso las chapas interiores y exteriores toman caminos diferentes para ser preparadas, por una parte las chapas exteriores son acondicionadas con cinta de

enmascarar en sus extremos corrigiendo rajaduras ocasionadas en el secado, otras correcciones que se realizan son a las arrugas que se pueden generar durante el secado de manera que la chapa quede lo mas plana posible, las chapas exteriores son ubicadas por parte del personal de secado en arrumes cerca a las zonas de encintado dónde son tomadas por los operarios de encintado que en ocasiones no tienen la pericia adecuada y ocasionan daños al material que se traduce en remanufactura, es decir, que deben emplear más tiempo del habitual en la preparación de dicha chapa que han dañado. Ver figura 19. Las chapas interiores por su parte deben ser escuadradas con la ayuda de una guillotina de manera que sus bordes queden paralelos y así al momento de armar las láminas no queden espacios huecos al interior de esta, los bordes recortados en ocasiones exceden el tamaño que debería con el fin de encajar en las medidas estándar definidas, por lo cual se desperdicia material aún útil que se clasifica como bagazo. Ver figura 20. Cuando la materia prima esta lista se pasa a cada una de las prensas dónde se inicia el proceso de prensado.

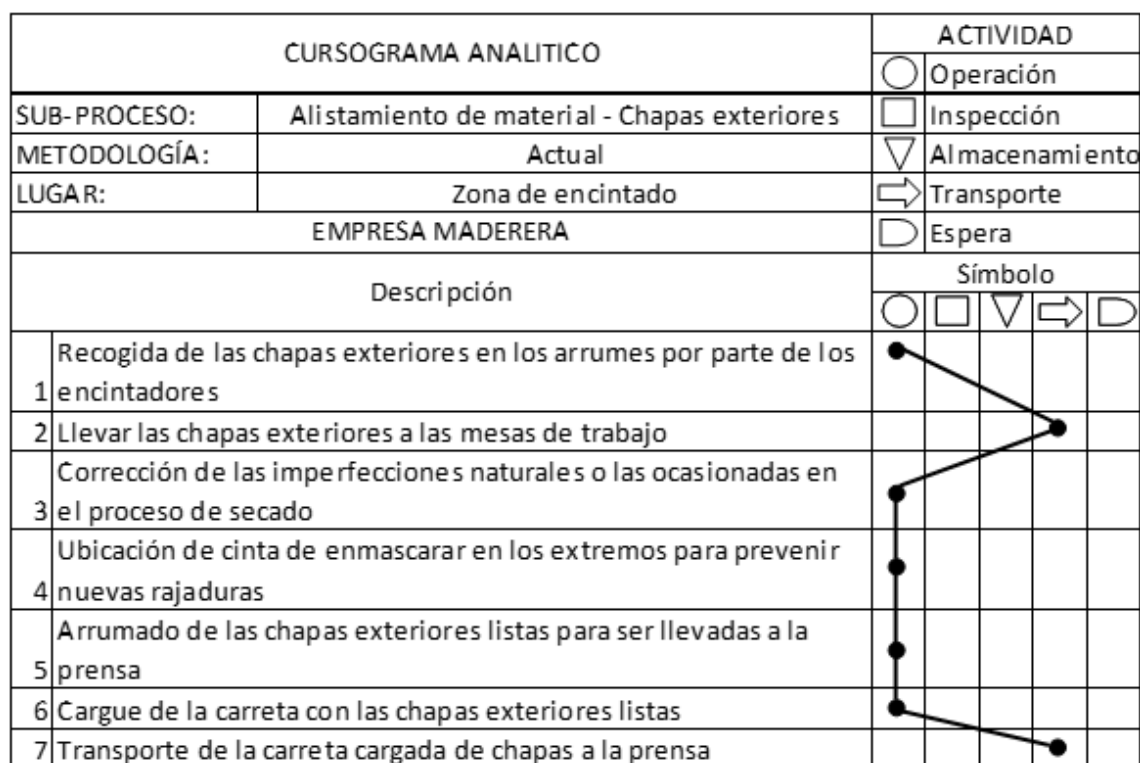


Figura 19: Cursograma Analítico: Alistamiento de las chapas exteriores. *Fuente: Elaboración propia*

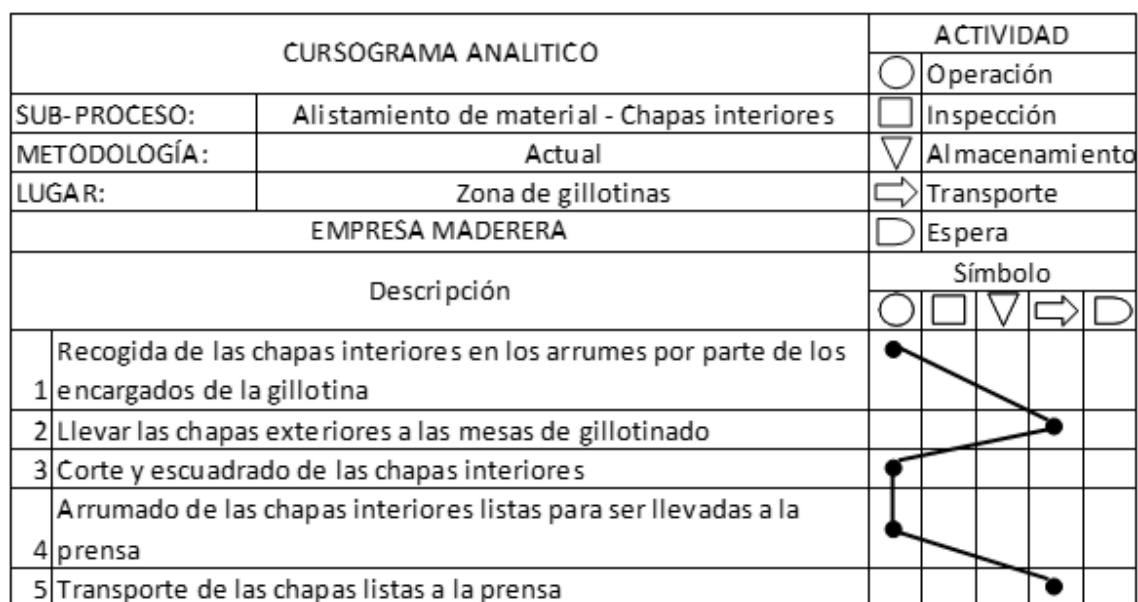


Figura 20: Cursograma Analítico: Alistamiento de las chapas interiores. *Fuente: Elaboración propia*

Otros focos de desperdicios se encuentran en que la capacidad de alistamiento de los operarios no es suficiente para satisfacer la necesidad del proceso de prensado ocasionando que este último deba parar en ocasiones para esperar a que haya material suficiente para reiniciar labores y además, una de las zonas de alistamiento de chapas exteriores se encuentra alejada de la prensa correspondiente ocasionando largos recorridos entre las dos zonas.

Operaciones de prensado

En el prensado se tiene como actividad principal armar y prensar las láminas de triplex utilizando las chapas interiores y exteriores que fueron preparadas en el proceso anterior. Para que las chapas queden totalmente juntas se prepara una mezcla de harina de trigo, resina y un químico catalizador que ayuda a un secado rápido durante la prensada, a esta mezcla normalmente le llaman “bache” y es depositada en la máquina engomadora donde empiezan las actividades el prensado.

Cuando la maquina engomadora ya está lista para iniciar su funcionamiento el operario carga las chapas interiores sobre la mesa que antecede a la máquina y le da inicio a la operación de ésta, empieza a insertar las chapas interiores de manera que

pase por entre los rodillos de la engomadora y queden cubiertas por ambas caras con el “bache”. Al otro extremo de la máquina se encuentra otro operario que sobre una mesa pone una chapa exterior que pasará a ser una de las caras de la lámina y toma las chapas interiores que ya se encuentran engomadas y comienza a ubicarlas con la ayuda de un compañero sobre la chapa exterior previamente ubicada, de manera que la cubran totalmente y no quede ningún espacio entre las chapas interiores ni que estas queden una sobre otra, puesto que si algunas de estas situaciones se presenta la lámina quedará con huecos o montañas en su superficie, lo cual reduce la calidad. Este problema no puede ser corregido, pero hace parte de la categoría de desperdicios que comprende los defectos y remanufactura. Una vez se encuentra cubierta la chapa exterior de debajo se toma otra chapa exterior con cuidado de no dañarla en el movimiento y se completa la lámina.

El proceso se repite cinco veces, la cantidad de láminas que se pueden prensar a la vez en cada prensa y posteriormente se ingresan las láminas para ser prensadas, al momento de ingresar las láminas armadas a la prensa es necesario que se tenga cuidado dado que es posible que se desajuste la configuración de las chapas y queden descuadradas, lo que conlleva a un segundo desperdicio de defecto y remanufactura que consiste en que la chapa exterior no cubre las chapas interiores y quedan descubiertas. La Prensa trabaja con calor y presión para ayudar a secar y fijar las chapas en su lugar y obtener una lámina fuerte y flexible, la temperatura promedio de la prensa es de $80^{\circ}C$ y la presión asciende a $2000psi$, durante 3 minutos se mantienen las láminas en la prensa y luego se extraen, en estos 3 minutos los operarios preparan las siguientes 5 láminas que serán ingresadas a la prensa para repetir el proceso. Al finalizar esta actividad se lleva a cabo un control de calidad, el cual no desecha ningún material proveniente del proceso, consiste en una inspección que se debe realizar para el posterior resane, es decir, entre más defectos se generen en esta actividad, mayor debe ser la cantidad de resane utilizada en cada lámina. Ver figura 21

Operaciones de Resanado

Las láminas que son retiradas de la prensa son inspeccionadas con el fin de encontrar grietas en su superficie las cuales deben ser rellenadas con “resane”; ésta es una mezcla compuesta por pegamento blanco (popularmente conocido como Colbón), agua, colorante amarillo, rojo y marrón para imitar el tono de color de la madera. La totalidad de

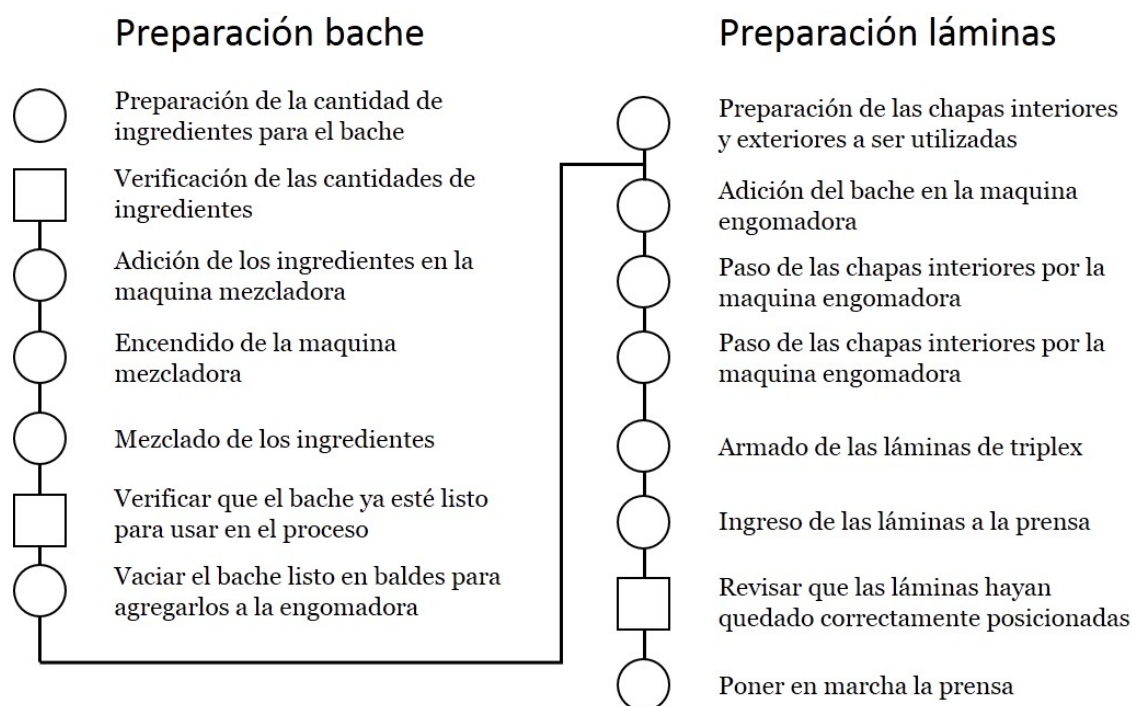


Figura 21: Diagrama de los procesos realizados en el prensado *Fuente: Elaboración propia*

las láminas prensadas deben ser resanadas, no obstante unas láminas necesitarán mayor cantidad de esta mezcla que otras para quedar listas para el siguiente proceso que es el del escuadrado. Esta aleatoriedad en la cantidad de resane necesaria para rectificar las láminas hace que no se tenga una cantidad específica de la mezcla a preparar para cada día, por tanto es muy probable que quede mezcla preparada que no se va a utilizar y al secarse queda inutilizable. Ver figura 23

Operaciones de Escuadrado

En el escuadrado se toman las láminas recién salidas de la prensa y se ubican sobre la mesa de la máquina llamada refiladora que posee dos cuchillas circulares ubicadas paralelamente a una distancia de 1,22mts en la primera refiladora y de 2,44mts en la segunda refiladora, estas medidas son las definitivas de una lámina de triplex. Sobre la mesa de esta máquina se ubica un grupo de 10 láminas y se pasan por la primera máquina para refilar su lado más largo y luego se pasan a la mesa de la segunda máquina para realizar lo mismo con su lado más corto. En operación se presenta el caso que una

CURSOGRAMA ANALITICO		ACTIVIDAD							
		○	Operación						
SUB-PROCESO:	Resanado	□	Inspección						
METODOLOGÍA:	Actual	▽	Almacenamiento						
LUGAR:	Prensa	⇒	Transporte						
EMPRESA MADERERA		◻	Espera						
Descripción		Símbolo							
		○	□	▽	⇒	◻			
1	Esperar que la prensa concluya el ciclo								
2	Extraer las láminas de la prensa								
3	Inspeccionar el estado de las láminas extraídas en busca de grietas								
4	Agregar resane en las grietas que se encuentren								
5	Arrumar las láminas para ser refiladas								

Figura 22: Cursograma Analítico: Resanado *Fuente: Elaboración propia*

lámina resulte con los bordes desviados, lo cual impacta directamente en la calidad del producto. Finalizando esta actividad se deja lista la lámina para ser lijada. Ver Figura 23

Operaciones de Lijado y Seleccionado

Las operaciones de lijado empiezan con la preparación de la máquina lijadora, inspeccionando que sus cintas de lija se encuentren en la ubicación correcta y que no estén gastadas, ya que si lo están no realizarán efectivamente su función y se tendrá que pasar varias veces la misma lámina por la máquina. Esta inspección ayuda a encontrar averías en la máquina y a solucionarlas antes de entrar en operación, estas averías se encuentran aproximadamente cada semana y tardan en promedio 90 minutos en ser reparadas. Cuando la máquina se encuentra en condiciones de operar se da inicio a la máquina y al motor extractor de esta, la función de este motor es la de extraer el polvillo residual del lijado de las láminas y almacenarlo en bolsas de fibra al exterior de la planta.

Con la máquina operando el operario empieza a insertar láminas una a una en la lijadora y en al otro extremo de esta se encuentra un asistente que paralelamente observa que la lámina se encuentre bien lijada; las que el operario considere que deben ser pasadas de nuevo por la máquina se devuelven para hacer el reproceso. Otra actividad que realiza el operario que recibe las láminas que salen de la máquina lijadora es la de determinar a que clasificación de calidad pertenece la lámina que acaba de ser procesada,

CURSOGRAMA ANALITICO		ACTIVIDAD				
		○	Operación			
SUB-PROCESO:	Escuadrado	□	Inspección			
METODOLOGÍA:	Actual	▽	Almacenamiento			
LUGAR:	Refiladoras	⇒	Transporte			
EMPRESA MADERERA		◇	Espera			
Descripción		Símbolo				
		○	□	▽	⇒	◇
1	Ubicar 10 láminas en la refiladora 1 donde se realiza el corte más largo	●				
2	Encendido de la refiladora 1	●				
3	Realización del corte en la refiladora 1	●				
4	Apagado de la refiladora 1	●				
5	Trasladar las 10 láminas de la refiladora 1 a la refiladora 2 donde se realiza el corte más corto				●	
6	Encendido de la refiladora 2	●				
7	Realización del corte en la refiladora 2	●				
8	Apagado de la refiladora 2	●				
9	Arrume de las láminas refiladas previo al lijado	●				

Figura 23: Cursograma Analítico: Escuadrado *Fuente: Elaboración propia*

esta clasificación es de Tipo A para las láminas que salen en perfectas condiciones, Tipo B para láminas que tienen imperfecciones pequeñas y Tipo C para aquellas que tienen imperfecciones mayores. Ver figura 24

Almacenamiento del producto final

Dependiendo de la clasificación la lámina es ubicada en un arrume distinto junto a láminas del mismo tipo, estos arrumes se encuentran ubicados en el área de producto terminado y es allí donde son almacenadas hasta que vayan a ser despachadas a los clientes o al punto de venta.

6.4. Entorno del proceso

Una vez identificado el diagrama general del proceso productivo y descritas cada una de las actividades que lo componen, sección 6.3, se constituye el diagrama PEPSU

CURSOGRAMA ANALITICO		ACTIVIDAD				
		○	Operación			
SUB-PROCESO:	Lijado y Seleccionado	□	Inspección			
METODOLOGÍA:	Actual	▽	Almacenamiento			
LUGAR:	Lijadoras	⇒	Transporte			
EMPRESA MADERERA		⏏	Espera			
Descripción		Símbolo				
		○	□	▽	⇒	⏏
1	Inspección de la maquina lijadora		●			
2	Encendido de la maquina lijadora	●				
3	Ingreso de la lámina a lijar	●				
4	Control del calibre necesario para lijar la lámina	●				
5	Recepción de la lámina al otro extremo de la lijadora	●				
6	Control de calidad de la lámina lijada y decisión de reproceso	●				
7	Clasificación de la lámina según su calidad	●				
8	Arrumado de las láminas en la clasificación correspondiente	●				
9	Apagado de la maquina lijadora	●				

Figura 24: Cursograma Analítico: Lijado y Seleccionado *Fuente: Elaboración propia*

15, en el cual se establece que el proceso productivo inicia con el pedido de materiales y culmina con el almacenamiento de producto final; del mismo modo se pueden identificar los proveedores, entradas, salidas y clientes de cada actividad, lo cual conlleva no sólo a conocer el proceso y su entorno, sino que también devela las oportunidades de mejora para la compañía.

P	E	P	S	U
PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	USUARIOS
- Supervisor de planta	- Inventario de bodega de producto terminado - Reporte diario de Supervisor de planta	Pedido de insumos	- Orden de pedido	- Proceso de recepción de materia prima - Persona natural con permiso de explotación del recurso
- Persona natural transportista - Persona natural con permiso de explotación del recurso	- Vehículo cargado - Orden de pedido	Recepción de materia prima	- Trozas - Remisión	- Proceso de torneado - Supervisor de planta
- Proceso de Recepción de materia prima - Supervisor de planta (para herramientas) - Cuarto de herramientas	- Notificación de llegada de materia prima - Materia prima seleccionada (trozas) - Motosierras	Torneado	- Chapas exteriores húmedas - Chapas interiores húmedas - Bagazo - Inventario de material desenvuelto	- Proceso de secado - Cliente externo que usa el bagazo para sus actividades - Supervisor de planta
- Proceso de torneado	- Chapas húmedas - Inventario de chapas - Carreta	Secado	- Chapas interiores y exteriores secas - Chapas interiores con quiebres en los bordes	- Proceso de alistamiento del material
- Proceso de secado - Bodega de insumos	- Chapas interiores y exteriores secas - Chapas interiores con rajaduras - Cinta de enmascarar	Alistamiento del material	- Chapas interiores con medida estándar - Chapas exteriores encintadas - Bagazo	- Proceso de prensado - Cliente externo que usa el bagazo para sus actividades - Depósito de residuos
- Proceso de alistamiento del material - Bodega de insumos	- Chapas interiores con medida estándar - Bache - Máquina de engomado - Chapas exteriores encintadas - Prensa	Prensado	- Lámina de 4mm sin resanar - Bagazo - Bache sobrante	- Proceso de escuadrado - Depósito de residuos - Cliente externo que usa el bagazo para sus actividades
- Proceso de prensado - Bodega de insumos	- Resane - Lámina de 4mm sin resanar	Resanado	- Lámina resanada - Resane sobrante	- Proceso de escuadrado - Depósito de residuos
- Proceso de resanado - Bodega de insumos	- Resane - Lámina de 4mm sin escuadrar	Escuadrado	- Lámina de 4mm sin lijarse - Lámina de 4mm resanada - Bagazo	- Proceso de lijado - Caldera de la prensa
- Proceso de escuadrado	- Lámina de 4mm sin lijarse	Lijado	- Lámina de 4mm - Cisco	- Supervisor de planta - Cliente externo que usa el cisco para sus actividades
- Proceso de lijado	- Lámina de 4mm - Carretas	Almacenamiento de producto final	- Producto listo para despachar - Informe de inventario	- Supervisor de planta

Figura 15: PEPSU (SIPOC) del proceso de producción de láminas de 4mm. *Fuente: elaboración propia.*

En el PEPSU de la compañía es posible identificar que la bodega de insumos es un proveedor recurrente de algunas actividades del proceso y a pesar de ello se encuentra ubicada retirada de las estaciones de trabajo; del mismo modo es visible la importancia del supervisor de planta dentro del proceso ya que interviene, al menos, en cuatro de los diez procesos presentes en el diagrama; es también inevitable la presencia de bagazo a lo largo del proceso productivo, por lo cual se hace necesario una intervención para reducir su participación; más aspectos identificados con esta herramienta son presentados en la siguiente sección.

6.4.1. Identificación de desperdicios

Durante la etapa de reconocimiento se pueden hallar las principales mudas o desperdicios del proceso productivo, y a medida que se va avanzando en la construcción

de los diagramas de cada proceso van surgiendo los desperdicios de cada actividad del proceso.

Desperdicios del proceso						
Proceso	Número	Situación	Clasificación	Frecuencia	Medición de desperdicio	Unidad de medida
Recepción de materia prima	1	El arribo de la materia prima no es el adecuado, ya que en ocasiones los operarios deben esperar hasta una hora para que el camión con mercancía llegue.	Tiempos de espera innecesarios	Semanal	0 min - 60 min	Tiempo
Torneado	2	Las cuchillas sufren averías por el tipo de madera o porque se desgasta.	Tiempos de espera innecesarios	Quincenal	50 min - 60 min	Tiempo
	3	Para proceder a desenvolver el material útil se debe calibrar la cuchilla, estando la máquina en movimiento, proceso en el cual se alcanza a perder material utilizable.	Defectos y remanufactura	Diario	0,5% - 1%	Material en proceso
Secado	4	La carreta de transporte no tiene una posición fija, por lo cual los trabajadores deben recorrer grandes distancias para encontrarla.	Movimientos innecesarios	Diario	20 min - 25 min	Tiempo
	5	Las ondulaciones de las chapas interiores y las rajaduras de las chapas exteriores son elevadas debido a que se extiende una cantidad de chapas superior a la capacidad de las estanterías y/o porque las dejan secando más tiempo del necesario.	Defectos y remanufactura	Diario	25% - 30%*	Material en proceso
Alistamiento del material	6	Cuando se realiza el transporte de material se pueden dañar las chapas debido al sobrecargue de las mismas.	Defectos y remanufactura	Diario	2% - 3%	Material en proceso
	7	Se detiene el proceso de encintado de chapa exterior por falta de cinta de enmascarar.	Tiempos de espera innecesarios	Semanal	20 min - 30 min	Tiempo
	8	Una de las dos zonas de alistamiento está ubicada lejos de la zona de prensado.	Transporte	Diario	80 m	Metros
	9	En las guillotinas se pierden un porcentaje de las chapas interiores que llegan al proceso.	Defectos y remanufactura	Diario	3% - 5%	Material en proceso
Prensado	10	Las láminas pueden salir del proceso con montaña o huecos, esto debido a la acomodación que se realice antes de que ingresen a la prensadora.	Defectos y remanufactura	Diario	5% - 7%	Material en proceso
	11	Transportar el material ocasiona daños en algunas láminas.	Defectos y remanufactura	Diario	0,5% - 1%	Material en proceso
Resanado	12	Incertidumbre al momento de preparar la mezcla necesaria para realizar actividad debido a que no se tiene establecido una dosificación adecuada por lámina, lo cual genera resane sobrante.	N/A	Diario	N/A	Resane
Escuadrado	13	La lámina puede resultar con bordes desviados.	Defectos y remanufactura	Diario	6%	Material en proceso
Lijado y seleccionado	14	Averías en la máquina de lijado, la cual oscila siempre en una y dos horas de tiempo de espera para continuar el proceso.	Tiempos de espera innecesarios	Semanal	60 min - 120 min	Tiempo
	15	Algunas láminas necesitan ser lijadas más de una vez debido a la preparación de la máquina o al estado de las lijas.	Reprocesos	Diario	10% - 12%	Material en proceso
	16	Debido a las montañas o huecos del proceso anterior pueden generar daños en la lámina.	Defectos y remanufactura	Diario	1,5% - 2%	Material en proceso
Almacenamiento de producto final	17	Las láminas se almacenan sin un orden o procedimiento adecuado, para despachar determinadas láminas deben hacerse algunos	Movimientos innecesarios	Diario	90 min - 120 min	Tiempo

Figura 16: Desperdicios del proceso de producción de láminas de 4mm por actividad.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 16 se aprecian todos los desperdicios del proceso productivo acompañados de su frecuencia, esta frecuencia fue establecida basados en la observación de cada proceso y el acompañamiento del Supervisor de planta para la validación de los mismos, incluye también una medición según el tipo de desperdicio, calculada con base

en la cantidad de inventario resultante de cada etapa, esta medición será utilizada en la construcción del VSM actual. La frecuencia está basada en los registros que se tienen en la compañía en los últimos tres meses y para su medición se hizo de acuerdo a la repercusión en el proceso; de la siguiente manera:

- **Movimientos innecesarios:** medidos en minutos y es el tiempo que los colaboradores pierden en desplazamientos que no agregan valor al producto.
- **Defectos y remanufactura:** se refiere al porcentaje de la producción que será clasificado según su impacto en la calidad. Para el caso del desperdicio 5 se tiene que además del tiempo que se empleará en el siguiente proceso, el material sufre una resequedad que lo clasifica como Tipo B.
- **Tiempos de espera innecesarios:** expresado en minutos, es la cantidad de tiempo que una actividad debe esperar por falta de insumos o falla en la maquinaria.
- **Transporte:** el cual es expresado en términos de distancias (metros), la cual se debe recorrer sin justificación válida.
- **Reprocesos:** expresada en porcentaje, indica la cantidad de producto a la que se le debe realizar nuevamente la actividad. Este defecto tiene una repercusión proporcional en la calidad del producto final, es decir, si se reprocesa el 10 % de producto, ese mismo porcentaje se clasificará como Tipo B.
- **N/A:** Este desperdicio no se clasifica en alguno de los descritos en la literatura referente, sin embargo hace que se desperdicie material que es útil en el proceso, por lo cual debería estar controlado o monitoreado.

La medición de los desperdicios es resultado de la observación de cada proceso, actividad en la cual es posible estimar la proporción de materiales que entran y salen del proceso según los requerimientos óptimos para la obtención de un producto de clasificación A. En la figura 16, los desperdicios se evidencian mayormente en defectos y remanufactura, los cuales disminuyen el total de láminas de buena calidad obtenidas del proceso; otros desperdicios como los tiempos de espera, movimientos innecesarios y transporte tienen su repercusión en desplazamientos y tiempos de ejecución de sus actividades durante el proceso productivo.

6.4.2. Selección de herramientas Lean

En la tabla 17 se presentan las herramientas Lean Manufacturing aplicables a los desperdicios identificados en la sección anterior.

Herramientas Lean Manufacturing aplicables a los desperdicios			
Proceso	Situación de desperdicio	Número	Herramienta de solución
Recepción de materia prima	Arribo tardío de materia prima	1	N/A
Torneado	Avería de cuchillas	2	TPM
	Calibración de la cuchilla en tornos	3	Estandarización
Secado	Desplazamientos en busca de carretas	4	5S
	Ondulación y rajaduras en las chapas	5	Estandarización
Alistamiento del material	Daño por transporte de material	6	Estandarización
	Agotamiento de cinta de enmascarar	7	5S
	Zona alistamiento lejos de estación de prensado	8	Distribución en planta
	Corte impreciso en guillotinas	9	Estandarización
Prensado	Imperfecciones por acomodación de las láminas	10	Estandarización
	Transporte de material ocasiona daños en la lámina	11	Estandarización
Resanado	Producción excesiva de bache	12	Estandarización
Escuadrado	Bordes desviados en láminas por imperfecciones del prensado	13	<i>Muda Solucionada</i>
Lijado y seleccionado	Maquinaria averiada	14	TPM
	Láminas reprocesadas	15	N/A
	Láminas defectuosas por imperfecciones del prensado	16	<i>Muda Solucionada</i>
Almacenamiento de producto final	Disposición inadecuada de producto	17	5S

Figura 17: Desperdicios del proceso de producción de láminas de 4mm. *Fuente: elaboración propia.*

Basándonos en que lo primero que se debe hacer para la adopción de la filosofía Lean es *Organizar la casa* (Rivera Cadavid, 2013), se propone que una de las herramientas a considerar para la mejora de los procesos de la compañía será el programa de 5S y teniendo en cuenta que una gran proporción de los desperdicios identificados se clasifican como defectos y remanufactura del material, se considera la *Estandarización* como una acción Lean aplicable para mejorar la calidad del proceso productivo (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013). Como se puede apreciar en la figura 17, como herramienta de solución se menciona *Muda Solucionada*, se debe aclarar que en este punto no se ha intervenido el proceso productivo, puesto que estas situaciones de desperdicio se solucionan al aplicar las herramientas de solución propuestas para el proceso de prensado por lo cual no se intervienen de manera directa.

Del mismo modo se identifican movimientos innecesarios y tiempos perdidos en transporte hacia zonas distantes, por lo cual una de las propuestas sería diseñar nuevamente el layout de la compañía, ajustándolo a los requerimientos del proceso; es por este

motivo que una de las herramientas consideradas sería *Distribución en planta*. Finalmente se analizan los tiempos de espera debido al mal funcionamiento de la maquinaria o las averías que las mismas presentan, para este caso el Lean propone implementar TPM para controlar este desperdicio.

Sin embargo, la compañía caso de estudio no dispone de los recursos necesarios para la implantación de todas las herramientas mencionadas, por lo cual surge la necesidad de hacer una priorización de las técnicas aplicables, siendo la dirección de la compañía quien las determine.

Se hace uso de la metodología AHP para decidir cual de las herramientas serán consideradas. Se escoge entonces como equipo decisorio a la Dirección de la compañía y al Supervisor de planta, donde las alternativas del análisis son las referenciadas en la tabla 17 y con los encargados de llevar el análisis se establece que los criterios a tener en cuenta son:

- Aceptación de la compañía: aspecto fundamental para la adopción de la filosofía Lean, ya que se debe tener en cuenta el nivel de compromiso de la organización con las posibles propuestas que resulten del presente análisis, de este modo se garantiza que si una herramienta tiene el visto bueno de la dirección de la compañía, pues su aplicación y futura implantación están garantizadas.
- Impacto cultural: tiene en cuenta a los colaboradores; se refiere a las implicaciones en el ámbito actitudinal de las personas, visto desde los cambios positivos que se podrían percibir en el comportamiento de las personas y cómo ese cambio afectaría el desempeño laboral.
- Impacto en la calidad: este criterio considera la repercusión de la herramienta en el producto como tal, enfocado en el desempeño que puede tener cada proceso tras intervenir los desperdicios que comprometen la calidad del producto.

Una vez llevado a cabo el proceso de jerarquía analítica se obtiene como resultado que las técnicas del Lean Manufacturing que se tendrán en cuenta en el presente trabajo serán *Estandarización* y *5S*. Los soportes del proceso se presentan en el archivo anexo *AHP - Selección de desperdicios* y en la 18 se muestra los resultados finales del análisis.

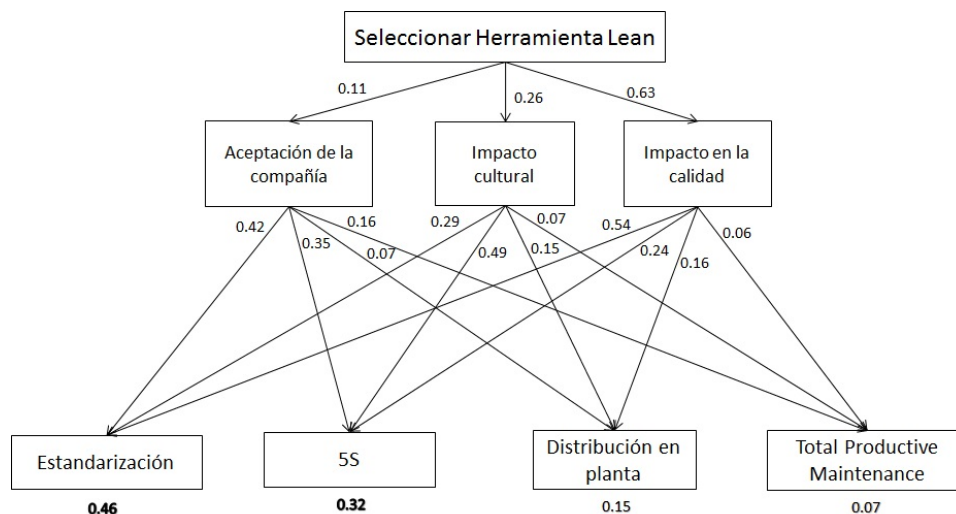


Figura 18: Proceso de jerarquía analítica. *Fuente: elaboración propia.*

6.5. Estudio de tiempos del proceso productivo

El estudio de tiempos realizado al proceso de fabricación de láminas de triplex de 4mm se realizó creando elementos de trabajo, en los cuales se tomaron las actividades que se encuentran directamente relacionadas y se agruparon en dichos elementos. Los tiempos se toman basados en un ciclo de trabajo y se hace la conversión del material procesado al número de láminas que se fabricarían con la cantidad de material que acaba de pasar por el proceso, en la tabla 6.1 se muestran las equivalencias en láminas para cada elemento de trabajo y su ciclo establecido:

Las actividades relacionadas en cada elemento de trabajo se pueden observar en el anexo B, tabla B.1. Esta agrupación de las actividades se realiza con el fin de calcular adecuadamente los tiempos de ciclo para cada proceso, debido a que el proceso productivo como tal de una lámina de 4mm no es ítem por ítem, sino que en cada proceso se puede procesar material que generaría más de una lámina; un ejemplo claro de esto se evidencia en el prensado, proceso del cual salen cinco (5) láminas por ciclo. Es por eso que los tiempos tomados en cada cada elemento de trabajo son divididos por la cantidad de láminas equivalentes, para obtener el tiempo resultante del proceso por unidad de producto esperado final.

Adicionalmente, debe aclararse que el proceso de secado descrito en el presente documento debe ser dividido en dos elementos de trabajo, esto debido a que dentro

Elemento de trabajo	Ciclo de trabajo estudiado	Láminas equivalentes
Torneado	Desde el momento en que se realiza la medición del diámetro de la troza hasta que se termina de torneear cada troza	15
Secado I	Desde que se busca la carreta para recoger la chapas hasta que se extienden todas las chapas	200
Secado II	Desde que se recogen las chapas ya secas hasta que se llevan al almacenamiento de material seco	300
Alistamiento de material	Desde que el operario de alistamiento recoge las chapas hasta que las entrega ya listas al proceso de prensado	10
Prensado	Desde que se ingresan las chapas interiores a la engomadora hasta que se prensan las cinco láminas de cada ciclo	5
Resanado	Desde que se extraen las láminas de la prensa hasta que se dejan listas para ser resanadas	5
Escuadrado	Desde que se empiezan a acomodar las 10 láminas hasta que se arruman para ser enviadas al lijado	10
Lijado y seleccionado	Desde que se ingresa la lámina a lijar hasta que el operario la transporta a la zona de producto terminado	1

Tabla 6.1: Elementos de trabajo estudiados y láminas equivalentes en cada elemento.
Fuente: *Elaboración propia*

de esta actividad existe un tiempo de espera prolongado, el cual afecta el tiempo de ciclo del proceso y no permite realizar un análisis veraz de los indicadores del VSM, este tiempo puede ser considerado como un inventario de materia prima en proceso y es el tiempo que duran las chapas interiores y exteriores en secarse una vez extendidas. El primer elemento de trabajo fue llamado “Secado I” y comprende las actividades relacionadas con el manejo de material húmedo. El segundo elemento de trabajo fue llamado “Secado II” y comprende las actividades relacionadas con el manejo de material ya seco.

Se establece entonces una prueba piloto de cinco muestras (5) a cada elemento del trabajo, luego por medio de las ecuaciones 4.5, 4.7 y 4.6 se calcula el número de

ciclos necesarios para cada elemento de trabajo con la ecuación 4.3. En la figura 6.2 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas piloto, de las cuales fue necesario calcular el promedio y desviación de los datos. Como se puede apreciar los tamaños de muestra obtenidos para los elementos de trabajo de Secado I y Secado II son elevados debido a que los tiempos de ciclo por lámina en estos elementos de trabajo son bajos, por tanto se recurre a la generación de datos aleatorios por medio de la herramienta de Excel “Análisis de datos” para la estimación de los tiempos de ciclo de estos elementos de trabajo, para ello se calcula la media y desviación de los datos con las ecuaciones 4.8 y 4.9, respectivamente, los tiempos de ciclo de cada elemento de trabajo se calcula promediando los datos obtenidos del estudio de tiempos con la ecuación 4.8 y estos valores son consignados en el VSM actual.

Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Desviación estándar	n
Torneado	0,593min	0,048min	9
Secado I	0,153min	0,032min	57
Secado II	0,043min	0,009min	60
Alistamiento de material	0,944min	0,031min	2
Prensado	0,528min	0,050min	12
Resanado	0,406min	0,034min	10
Escuadrado	0,157min	0,014min	12
Lijado y seleccionado	0,252min	0,015min	5

Tabla 6.2: Tiempos de ciclo para cada elemento de trabajo en la prueba piloto y tamaño de la muestra n para cada uno *Fuente: Elaboración propia*

Para la toma de muestra definitiva se utiliza el tamaño de n más grande de los elementos de trabajo, excluyendo los de los elementos de trabajo Secado I y Secado II, estas muestras son tabuladas en los formatos de estudio de tiempos por elemento de trabajo que se presentan en el anexo C, tablas C.1, C.2, C.3, C.4, C.5, C.6. Los datos generados correspondientes a los elementos de trabajo del Secado I y Secado II se encuentran tabulados en el archivo de Excel anexo con nombre “Anexo - Estudio de tiempos”.

Los tiempos de ciclo obtenidos para cada uno de los elemento de trabajo se presentan en la tabla 6.3.

Elemento de trabajo	TC [min]
Torneado	0,588
Secado I	0,152
Secado II	0,043
Alistamiento de material	0,934
Prensado	0,535
Resanado	0,408
Escuadrado	0,167
Lijado y seleccionado	0,256

Tabla 6.3: Tiempos de ciclo obtenidos para cada elemento de trabajo

6.6. Mapa de estado actual

Para la construcción del estado actual se tienen en cuenta los elementos de trabajo descritos anteriormente para el proceso de producción de láminas de triplex de $4mm$, según datos históricos de despacho se obtiene una demanda mensual de 16867 láminas, que dividido sobre 24, los días efectivos de trabajo de un mes, se obtiene la demanda diaria para este periodo de tiempo.

$$\text{Demanda diaria} = \frac{16867 \text{ láminas/mes}}{24 \text{ días/mes}} = 702,79 \text{ láminas/día}$$

Esta fue la demanda diaria tomada para el cálculo de la ecuación 4.1. Para este cálculo se tiene en cuenta una jornada de trabajo de $8hrs$ y se convierte a minutos que es equivalente a $480mins$, por lo que el takt time obtenido fue el siguiente:

$$\text{Takt time} = \frac{480 \text{ minutos/día}}{702,79 \text{ láminas/día}} = 0,68 \text{ minutos/lámina}$$

Adicionalmente se presenta como indicador el OEE (Eficiencia general de los equipos) para los procesos en los cuales se utilizan máquinas, con el fin de conocer el estado actual de estos procesos en términos de eficiencia operativa. Para ello se aplica la ecuación 4.2 para la cual, con base en lo establecido por (Muluh Cheh, 2014), cada factor se procede a calcular de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de producción planeado} - \text{Tiempo de paradas no programado}}{\text{Tiempo de producción planeado}} \quad (6.1)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Láminas fabricadas}}{\text{Total de láminas esperadas}} \quad (6.2)$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Total de láminas producidas} - \text{Láminas defectuosas}}{\text{Total de láminas producidas}} \quad (6.3)$$

El cálculo del rendimiento y de la calidad para el proceso productivo estudiado viene dado por los datos que se han tomado previamente, pero los valores tenidos en cuenta para la estimación de calidad se presentan en sección de anexos, apéndice A para mayor claridad. En el caso de la disponibilidad es necesario entrar a mirar los ciclos promedio de paradas de cada máquina, la información base para el cálculo de estos indicadores se presenta de igual manera en la sección de anexos, apéndice A. Los valores de eficiencia general de los equipos para cada proceso se presentan en la tabla 6.4.

	Torneado	Prensado	Escuadrado	Lijado
Disponibilidad	87,1 %	100 %	83,3 %	93,5 %
Rendimiento	100 %	100 %	100 %	100 %
Calidad	99,5 %	94,5 %	94 %	88,5 %
OEE	86,65 %	94,5 %	78,33 %	82,78 %

Tabla 6.4: Eficiencia general de los equipos. *Fuente: elaboración propia.*

Aspectos que deben recalcar de la tabla anterior son el 100 % en la disponibilidad del prensado y el hecho de que todos los rendimientos son 100 %. En cuanto a la disponibilidad del proceso de prensado se debe esclarecer que esto es posible ya que la máquina tiene un tiempo de arranque de una hora, debido a los requerimientos caloríficos del proceso, pero este tiempo no se considera ya que el celador de la compañía se encarga de encenderla antes de que comience el turno de trabajo y la máquina es apagada cuando se termina el mismo. Por otro lado, el número de piezas esperadas son 600 debido a que histórica y empíricamente se ha definido ésta capacidad teniendo en cuenta las capacidades de las máquinas y los colaboradores en la jornada laboral de ocho horas, por ello el rendimiento es siempre del 100 %, ya que cuando se alcanza esta cantidad de material procesada en cada estación la operación se detiene, lo cual

siempre sucede dentro del horario laboral; la estimación es idónea teniendo en cuenta los principios del Lean Manufacturing.

Dentro del mapeo de la cadena de valor se tienen en cuenta distintos almacenamientos que se encuentra entre los procesos y que agregan lead time al proceso, en este caso se consideran los inventarios promedio observados en cada uno de los puntos durante la visita que se realiza a la planta, estos datos son datos aproximados obtenidos gracias a la experiencia del supervisor de la planta, dichos datos se presentan a continuación:

Inventario en proceso	Inv. Observado [lám]	Demanda de inv. [lám/día]
Material Húmedo	600	2800
Material Seco	3000	515
Material Preparado	100	673
Producto resanado	300	720
Producto escuadrado	300	1875
Producto terminado	15000	702.79

Tabla 6.5: Inventario observado y demanda de inventario en cada uno de los inventarios de producto en proceso y producto terminado *Fuente: elaboración propia*

Además de los inventarios observados, en la tabla 6.5 también se incluye la demanda de inventario que tiene cada uno de estos, esta demanda se toma como la capacidad diaria de producción del proceso al cual antecede cada inventario, es decir, para el inventario en proceso del material húmedo la demanda de inventario es la capacidad del proceso de secado I. La capacidad diaria de producción se calcula dividiendo el tiempo de trabajo que tienen por turno en cada proceso entre el tiempo de ciclo del mismo, tal como se puede observar en la ecuación:

$$\text{Capacidad de producción}_{[item]} = \frac{\text{tiempo de trabajo}_{[min]}}{\text{tiempo de ciclo}_{[min/item]}}$$

Para el caso del inventario de producto terminado su demanda es equivalente a la demanda del cliente. En los procesos de prensado y escuadrado se comparten los operarios por tanto el turno se divide de la siguiente forma: 6 horas para las labores de prensado y 2 para las labores de escuadrado.

Todos los valores mencionados en esta sección forman parte de las entradas del sistema modelado en Microsoft Visio con su complemento eVSM. Los valores presentados

son calculados por el software, ingresando los datos de cada variable considerada y validando su congruencia con los datos reales, para que esto sea posible es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Un día laboral equivale a 8 horas
- La semana consta de 5 días.
- Los colaboradores por estación deben estar establecidos.
- Las equivalencias entre los viajes de trozas a ítems se establecen como 1 viaje es igual a 40 trozas aproximadamente y de cada una de estas se obtiene el material necesario para 15 láminas.
- Demandas de inventario de cada subproceso.
- Demanda diaria de producto.
- Los tiempos de ciclo de cada subproceso.
- El porcentaje de OEE en los subprocesos que aplica.

Con los datos ingresados en el modelo, eVSM realiza los cálculos necesarios y se obtienen:

- Los lead time de cada subproceso y el del proceso en general.
- El takt time del proceso general.
- El tiempo de ciclo total.
- La demanda efectiva o semanal.

También se pueden generar posterior al modelado diferentes gráficos comparativos de los resultados obtenidos. El VSM actual se puede observar en las figuras 19 y 20.



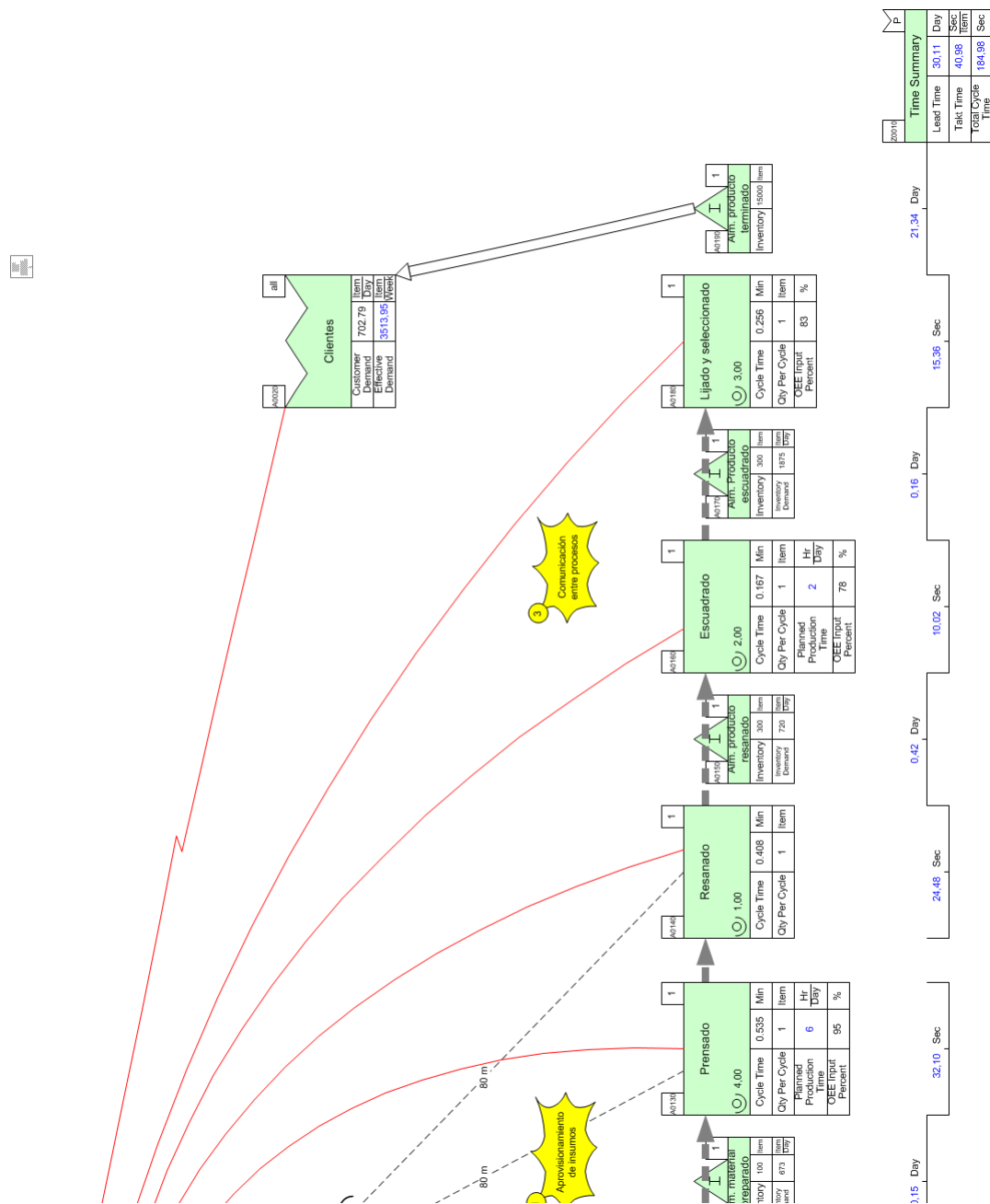


Figura 20: VSM actual, parte 2. Fuente: elaboración propia.

Basados en la decisión de proponer sólo medidas alcanzables para la compañía, nos planteamos las siguientes preguntas: ¿Qué debemos hacer con lo que tenemos? ¿Qué se necesita mejorar en esta etapa del proceso? Como lo proponen (Rother y Shook, 1999) en *Learning to see*, y con ayuda de la figura se puede ver que el alistamiento de materiales es el único proceso que no está respondiendo a la demanda de los clientes,

pero eso no quiere decir que no hayan cosas que no se deban mejorar en otros procesos.

En cuanto a los eventos kaizen, con la información recolectada se logran identificar tres (3):

Aprovisionamiento de insumos: En el proceso de torneado en su etapa final hay una actividad que consiste en la división de las chapas en las secciones requeridas para el secado, esta actividad es realizada con la ayuda de una motosierra de combustión que se encuentra almacenada en el cuarto de herramientas junto con la gasolina que usa, este cuarto de herramientas se encuentra alejado de la zona de torneado e implica un recorrido largo para poder usar la máquina. De igual manera en los procesos de alistamiento de material, prensado y resanado se necesitan insumos que se encuentran ubicados la bodega de insumos que igualmente se encuentra alejada de las zonas de trabajo. Este evento kaizen se considera aplicable debido a que el movimiento de los insumos necesarios para estas labores no implica una inversión elevada para la compañía.

Tiempos de espera prolongados en el secado: En el proceso de secado se evidencia que el secado del material se esta realizando con tiempos superiores a los necesarios, por lo que las chapas interiores y exteriores presentan mayor número de rajaduras y ondulaciones las cuales deben ser solucionadas en el proceso de alistamiento de material, haciendo que el tiempo de ciclo de este último se incremente por no tener una medida de control para estos defectos que se presentan en el proceso.

Falta de comunicación entre los procesos: Se puede observar que no existe comunicación entre los procesos y no se informa al proceso anterior los errores que están cometiendo y por lo tanto el error se sigue repitiendo afectando la calidad final del producto.

Además de los eventos kaizen identificados se evidencia que es necesario implementar el programa 5S's, pilar fundamental de la filosofía lean (Rivera Cadavid, 2013) (Hernández Matías y Vizán Idolpe, 2013), el cual genera un estado de orden en cada puesto de trabajo. Los impactos de la implementación de este programa se verían en los siguientes procesos:

- **Secado:** ya no se desperdiciaría tiempo buscando la carreta debido que esta ya tendría un ubicación predeterminada.

- **Torneado, alistamiento de materiales y prensado:** al cada colaborador ser responsable y estar comprometido con el programa 5S's, se puede hacer responsable de los insumos necesarios para la ejecución de sus labores, eliminando así los desplazamientos hacia el cuarto de herramientas y la bodega de insumos.
- **Almacenamiento de producto final:** la disposición del material sigue un orden apropiado, dando la impresión de organización pre-establecida para el producto final, lo cual tendría implicaciones en el despacho de producto a los clientes.

Otra técnica Lean Manufacturing aplicable al proceso es la estandarización, son evidentes los impactos positivos que tiene esta herramienta en la compañía, a continuación se presentan las mejoras en los procesos estudiados:

- **Torneado:** la calibración de la cuchilla no se realiza cuando la máquina está en movimiento, por esto se pretende eliminar este desperdicio de material.
- **Alistamiento del material:** el transporte de material tiene en cuenta la capacidad de las láminas, también se establecen valores fijos para el interior, de tal modo que se maximice su utilización. De igual manera, por el evento kaizen en la actividad de secado, el tiempo que toma esta actividad se disminuye, debido a que los tiempos para preparar cada material es menor.
- **Resanado:** al saber cuanto resane se necesita para el material que se va a procesar, no se generarán desperdicios de material.

6.7. Modelado del mapa de estado futuro

Con los eventos kaizen identificados, la consideración del programa 5S y estableciendo un trabajo estándar en cada actividad del proceso productivo, se propone un modelo de VSM futuro que será comparado con el modelo del VSM actual.

Para llevar a cabo el modelado del VSM futuro se establecen entonces las siguientes modificaciones al VSM actual, que serán aplicadas al modelo en el software eVSM para la posterior obtención de los indicadores de validación de la propuesta:

- Se hace necesaria la creación de centros de transporte entre el proveedor y recepción de materia prima y almacenamiento de producto final y los clientes, de este modo se garantiza la entrada y salida de material durante el proceso.

- Se trasladan la bodega de insumos y el cuarto de herramientas del mapa, siendo ubicados cerca de las estaciones de trabajo, con el fin de eliminar las distancias de desplazamiento en el diagrama; cabe recalcar que esta modificación es posible debido a los tamaños de los recursos que deben ser desplazados.
- La disponibilidad del proceso de escuadrado no se verá modificada debido a que el tiempo de arranque de la máquina será el mismo.
- No se intervienen las disponibilidades de las estaciones de Torneado o Lijado ya que, como se mencionó en apartados anteriores, no se tendrán en cuenta mejoras que involucren TPM o distribución en planta.
- El reproceso del proceso de Lijado se sigue considerando del 10 %.
- Se representan los flujos de información ideales entre procesos y entes de la compañía.
- Se ajustan los tiempos de ciclo de los procesos afectados por las modificaciones propuestas.

Con lo mencionado anteriormente es posible entonces modelar el VSM futuro presentado en las figuras 21 y 22.

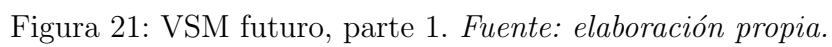
6.8. Validación de la propuesta

6.8.1. OEE por proceso

En la tabla 6.6 se presentan los resultados obtenidos al modelar el VSM futuro considerando los cambios mencionados anteriormente.

	Torneado	Prensado	Escuadrado	Lijado
Disponibilidad	87,08 %	100 %	83,3 %	93,5 %
Rendimiento	100 %	100 %	100 %	100 %
Calidad	100 %	100 %	100 %	100 %
OEE	87,08 %	100 %	83,3 %	84,19 %

Tabla 6.6: Eficiencia general de los equipos para el proceso futuro. *Fuente: elaboración propia.*



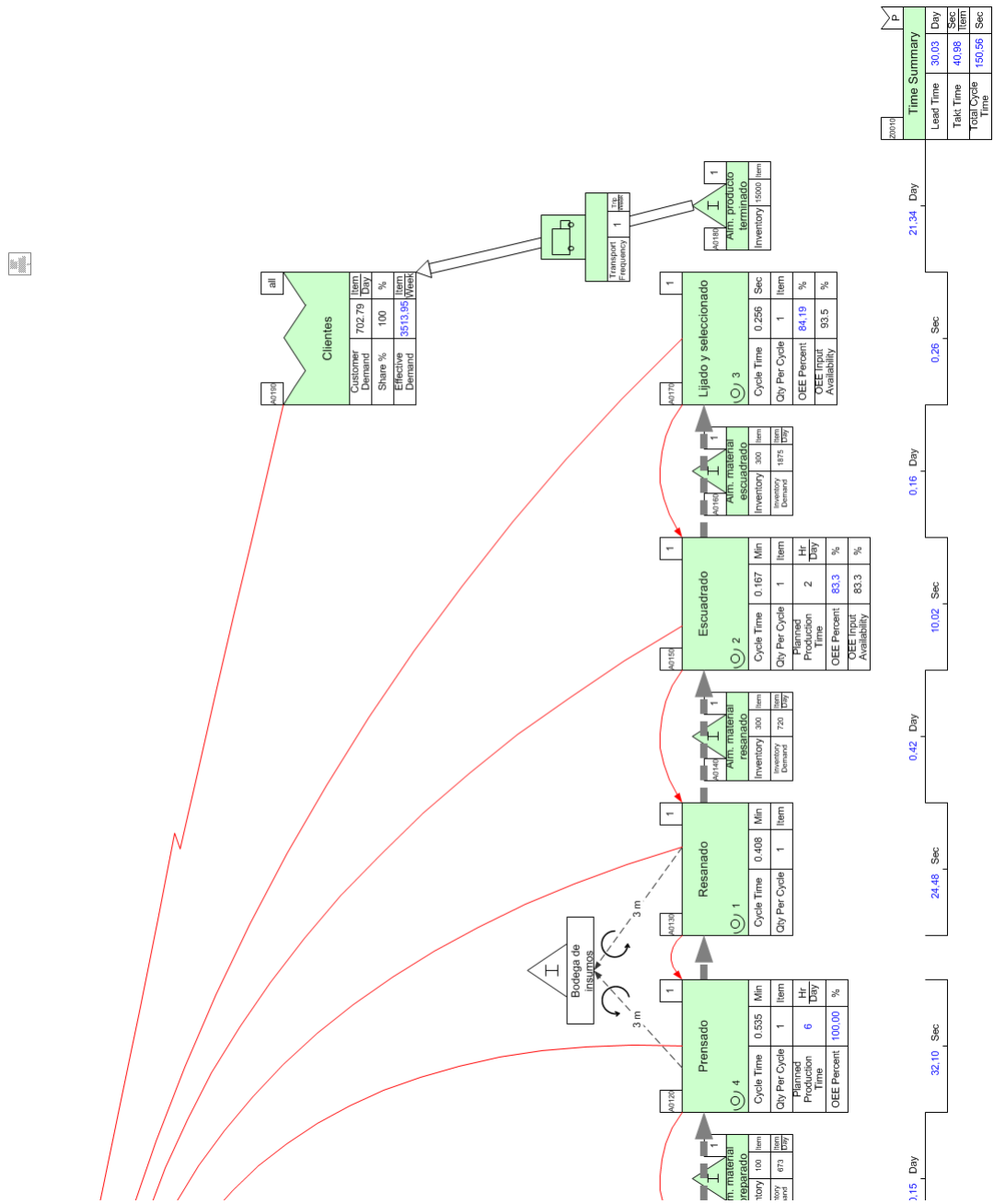


Figura 22: VSM futuro, parte 2. Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la situación inicial, las mejoras propuestas afectan directamente la calidad del producto a lo largo del proceso productivo, estos cambios en las actividades de los procesos son confirmadas por el software, el cual refleja cambios significativos en las eficiencias generales de los equipos, donde las variaciones son del 0,43, 5,5, 4,97 y 1,41 puntos porcentuales en los procesos de Torneado, Prensado, Escuadrado y Lijado respectivamente.

6.8.2. Lead time y tiempos de ciclo

Los principales cambios que se generan en el VSM futuro están relacionados con la eliminación de tiempos de recorrido por la ubicación de bodegas de insumo cerca a la estación correspondiente, para los procesos de Torneado, Alistamiento de materiales y Prensado, apropiando así a los colaboradores y haciéndolos responsables de esta nueva zona. A pesar de que la mayoría de los procesos disminuyen su tiempo de ciclo con las mejoras propuestas, el proceso de Escuadrado lo incrementa, ya que la estandarización elimina los defectos de producto pero requiere un procedimiento más largo del que se tiene actualmente.

Por su parte los lead time durante el proceso se mantienen estables del mapa actual al futuro, solamente cambia el correspondiente a la espera en el secado debido a la estandarización del proceso, este pasa de ser de 1 día de espera en el secado a 0,92 días que es aproximadamente 22 horas.

Inventario en proceso	Lead Time Actual [días]
Material Húmedo	0,21
Espera Secado	1,00
Material Seco	5,83
Material Preparado	0,15
Producto resanado	0,42
Producto escuadrado	0,16
Producto terminado	21,34

Tabla 6.7: Lead time agregado por cada almacenamiento a lo largo del proceso en el VSM Actual. *Fuente: elaboración propia*

Inventario en proceso	Lead Time Futuro [días]
Material Húmedo	0,21
Espera Secado	0,92
Material Seco	5,83
Material Preparado	0,15
Producto resanado	0,42
Producto escuadrado	0,16
Producto terminado	21,34

Tabla 6.8: Lead time agregado por cada almacenamiento a lo largo del proceso en el VSM Futuro. *Fuente: elaboración propia*

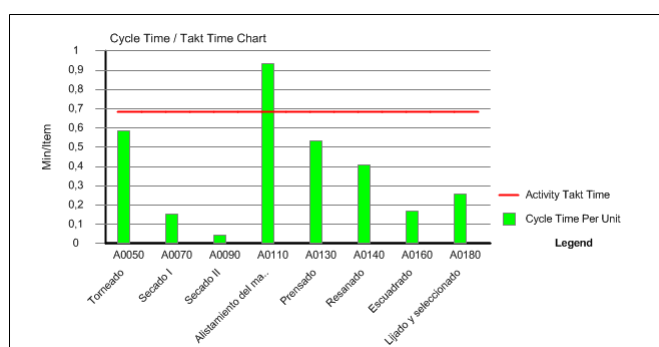


Figura 23: Takt Time vs Tiempo de ciclo Actual

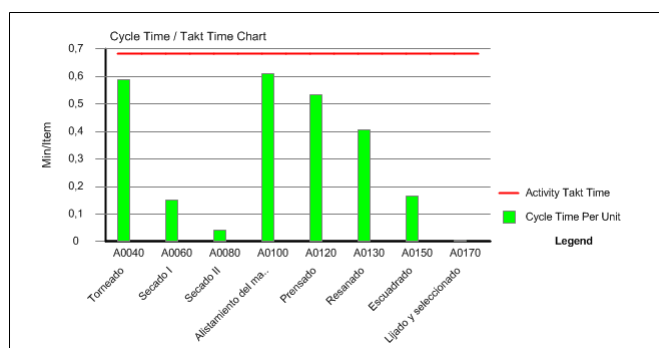


Figura 24: Takt Time vs Tiempo de ciclo Futuro

Los cambios propuestos tienen repercusión en los tiempos de ciclo de dos elementos de trabajo: el torneado y el alistamiento de material, los demás elementos de trabajo quedan con los tiempos de ciclo del mapa actual, a continuación se presentan los tiempos de ciclo que se tienen en cuenta en el VSM futuro.

Como se puede observar los cambios se presentaron en los procesos de torneado,

Elemento de trabajo	TC [min]
Torneado	0,590
Secado I	0,152
Secado II	0,043
Alistamiento de material	0,610
Prensado	0,535
Resanado	0,408
Escuadrado	0,167
Lijado y seleccionado	0,256

Tabla 6.9: Tiempos de ciclo esperados para cada elemento de trabajo luego de la aplicación de las propuestas

aumentando el tiempo de ciclo en $0,002min$ y en el proceso de Alistamiento de material el cual se reduce $0,310min$, que es reducido específicamente en la actividad del encintado. Esta reducción se obtiene dado que con las propuestas para el proceso de secado se espera que el 25 % de las láminas procesadas en el proceso de alistamiento de material, las cuales están necesitando un tiempo mayor a las demás, ahora requieran un tiempo muy similar al que se necesita para alistar las láminas normalmente.

6.8.3. Calidad del producto

En la tabla 6.10 se presentan los porcentajes de clasificaciones de producto halladas en la construcción del VSM actual y los porcentajes de clasificación esperada al adoptarse las propuestas presentada en el VSM futuro.

	Calidad de la lámina		
VSM	Tipo A	Tipo B	Tipo C
2014	60 %	30 %	10 %
2015	47 %	35 %	18 %
2016	20 %	40 %	40 %
Actual	54 %	35 %	11 %
Futuro	90 %	10 %	0 %

Tabla 6.10: Clasificación porcentual de la producción de láminas de triplex de $4mm$ en VSM actual y VSM futuro. *Fuente: elaboración propia.*

Los datos presentados en la tabla anterior surgen de la identificación de las actividades que repercuten en la calidad del producto final, los valores estimados para la calidad actual son el resultado de la identificación de los desperdicios en la figura 16 y presentados en la sección 6.6; del mismo modo, la estimación de la calidad futura de las láminas, es la esperada al intervenir el proceso productivo y la eliminación de los desperdicios, como se presenta en la sección 6.7.

6.9. Plan de mejoramiento

En esta sección se presentan cinco planes de acción acorde las propuestas definidas en la parte final de la sección 6.6, teniendo en cuenta que algunas de las propuestas se encuentran relacionadas y por lo tanto se establece un mismo plan de acción para ellas. En estos planes de acción se definen las actividades a realizar en cada caso, los responsables, el para qué y los tiempos de implementación de cada propuesta, tal como se describió en el capítulo 5.

6.9.1. Plan de acción: Mejora de la comunicación interna

¿Qué se debe hacer?: Con el fin de mejorar los procesos de comunicación existentes en la compañía se propone conformar un grupo de líderes, el cual constará de una persona de cada área y el supervisor de planta.

¿Cómo se debe hacer?: Identificando y seleccionando de cada área a una persona comprometida con la empresa, la cual tenga buenas relaciones con sus compañeros y sea una figura que difunda el sentido de pertenencia esperado con la compañía, los cuales serán líderes de comunicación de cada proceso. Una vez seleccionados los colaboradores para el cargo se puede hacer uso de la tecnología para hacer más eficiente la comunicación, por ejemplo un servicio de mensajería instantánea como Whatsapp, el cual está al alcance de los colaboradores; del mismo modo se pueden crear carteleros o tableros informativos en zonas estratégicas de cada área, para que allí se comparta información del proceso día a día.

¿Quien lo debe hacer?: Escoger a estos líderes debe ser una labor del supervisor de planta, el cual es parte inherente de cada uno de los procesos y conoce las principales

características con las que debe contar un líder. Puede tomarse la decisión basado en la experiencia, conocimiento, actitud y disposición de los colaboradores, esto con el fin de no ser injusto en esta selección ya que si la elección es llevada a cabo sin criterios se puede alterar el clima laboral.

¿Para qué se debe hacer?: Es necesario contar con este equipo de líderes, conformado por un integrante de cada eslabón del procesos productivo, ya que cada líder será el puente de comunicación entre la dirección y el resto de colaboradores. La principal intención de esta propuesta va enfocada a que los colaboradores sientan que la compañía está interesada en ellos más que por el desempeño de sus labores, sino que también son tenidos en cuenta; en pocas palabras sería desarrollar la comunicación efectiva entre todas las partes involucradas, lo cual incrementa el compromiso y sentido de pertenencia de los colaboradores.

¿Cuánto tiempo se tiene para realizar la implementación?: Al ser esta una de las principales propuestas, y al mismo tiempo ser el pilar para la consecución de los planes de acción restantes, se espera que la implementación de este plan de acción sea en el momento que la compañía recibe la propuesta.

6.9.2. Plan de acción: Programa 5S

¿Qué se debe hacer?: Implementar el programa japonés 5S, el cual es una de las bases para la implantación de la filosofía Lean en un compañía, del mismo modo, es una de las técnicas seleccionadas para mejorar el proceso caso de estudio.

¿Cómo se debe hacer?: En la tabla 6.11 se presenta de manera general las actividades que involucra la implementación de esta herramienta.

Actividades Programa 5S		
Etapa	Actividades	Tiempo
Promoción	1. Conocer las 5S; 2. Conocer el estado de cada área de trabajo	02/04/2018-06/04/2018
Capacitación y entrenamientos	Seminarios taller donde participan todos los colaboradores	09/04/2018-13/04/2018
Implementación	Durante cada semana se trabaja una S diferente	16/04/2018-18/05/2018
Seguimiento	Cada líder consolida la información obtenida por área y se presenta informe semanal	A partir del 21/05/2018

Tabla 6.11: Planificación de programa 5s. *Fuente: elaboración propia*

¿Quién lo debe hacer?: El responsable de que se lleve a cabo este plan de acción será el supervisor de planta, persona con suficiente experiencia y habilidad para garantizar la adopción del programa 5S.

Inicialmente se deben involucrar los colaboradores, pero esta fase de *Promoción* debe ir por cuenta de cada colaborador. La tarea es que cada cual debe llevar información sobre las 5S, no debe ser académica, puede ser información consultada en Google, el objetivo es que por su propia cuenta se enteren del programa y una vez consultada esta información que identifiquen en sus áreas de trabajo en qué pueden mejorar si adoptan algunas de las palabras del programa.

La etapa de *Capacitación y entrenamientos* va más allá del conocimiento de la técnica, se pretende que se adopte la filosofía de las 5S, es por ello que es fundamental evaluar a los colaboradores una vez terminen las jornadas de capacitación, ya que estas evaluaciones quedan como evidencia de las actividades y contribuyen a la interiorización del estilo de vida que se desea compartir; adicionalmente se debe solicitar a cada colaborador que haga un comparativo entre cada una de las S del programa y el estado actual de su área de trabajo, para ir más allá se puede solicitar a cada uno una relación de las 5S con su estilo de vida personal.

Seguido será necesario que cada área *Implemente* una S por semana con la ayuda del supervisor de planta, quien posteriormente llevará un *Seguimiento* de los puestos de trabajo por medio de listas de chequeo sencillas que verifiquen que cada una de las S está siendo llevada a cabo, para garantizar la continuidad del programa.

¿Para qué se debe hacer?: El fin del programa es que la cultura de orden y aseo no sea un conocimiento, debe ser algo que no se puede olvidar ni haya necesidad de recordarlo. Es llevar la cultura más allá del área de trabajo, es que pase a otras áreas y sea un ejemplo a seguir, incluso se pretende que el programa trascienda y sea adoptado en los hogares de los colaboradores.

¿Cuánto tiempo se tiene para realizar la implementación?: A partir de la fecha propuesta, se espera que la adopción esté completa para el 26 de febrero de 2018.

6.9.3. Plan de acción: Aprovisionamiento de insumos

¿Qué se debe hacer?: Reducir las distancias a recorrer entre las zonas de trabajo y los lugares de almacenamiento de los insumos requeridos en cada proceso.

¿Cómo se debe hacer?: Para reducir las distancias se planea ubicar un armario en cada área de trabajo en el cual se ubicarán los insumos necesarios para cada proceso como se muestra en la tabla 6.12:

Área de trabajo	Insumos y equipos a ubicar en cada armario
Torneado	Motosierra Gasolina Herramientas necesarias para el normal funcionamiento del torno
Alistamiento de material	Cinta de enmascarar
Prensado	Harina de trigo Acelerante (catalizador) Resina
Resanado	Colbón Colorantes minerales

Tabla 6.12: Insumos y equipos que deben estar ubicados en los armarios de cada área de trabajo

Al ubicar estas nuevas zonas de almacenaje de los insumos se designa un responsable de cada área, el cual se encargará de administrar debidamente los insumos y de crear

conciencia entre los colaboradores para que se consuma lo necesario y no se desperdicie nada. Otra responsabilidad del encargado de cada armario será la de llevar un inventario de cada insumo y de solicitar al supervisor de planta se reponga lo necesario una vez el inventario llegue a un nivel que debe ser determinado dependiendo del tiempo que se demore en ser repuesto cada insumo, o estableciendo dos días en la semana en los cuales se deba dejar en los máximos niveles el inventario de los armarios, con el fin de evitar agotados.

¿Quién lo debe hacer?: Los encargados de llevar a cabo estas actividades serán el supervisor de planta junto con los líderes de cada proceso y los designados para ser responsables de los insumos almacenados en cada armario.

¿Para qué se debe hacer?: Con la implementación de los armarios se busca tener siempre a la mano los insumos necesarios para llevar a cabo las labores de cada proceso de manera ininterrumpida. También se busca reducir los tiempos de espera generados por la búsqueda de los insumos, especialmente en los procesos de torneado y alistamiento de material.

¿Cuánto tiempo se tiene para realizar la implementación?: Se prevee que la implementación de esta propuesta se lleve a cabo de uno a dos meses después de la presentación de la propuesta a la empresa caso de estudio.

6.9.4. Plan de acción: Tiempos de espera en el secado

¿Qué se debe hacer?: Implementar el uso de un equipo medidor de humedad que permita conocer exactamente el momento en que deba ser recogido el material seco.

¿Cómo se debe hacer?: En primer lugar se realiza un proceso de investigación en el cual se determinan los porcentajes de humedad, dependiendo del tipo de madera y del tipo de chapas (interiores o exteriores) que están extendidas, en determinado momento para así conocer precisamente cuando pueden ser recogidas. Una vez establecidos los tiempos de recolección, se incluye dentro del procedimiento de secado los tiempos aproximados de recogida del producto para garantizar que el proceso siga de manera rigurosa esta propuesta.

¿Quién lo debe hacer?: La persona encargada de realizar el estudio para determinar los niveles de humedad a partir del cual pueden ser recogidas tanto las chapas

interiores como exteriores es el supervisor de planta, de allí en adelante quien toma la responsabilidad de llevar a cabo la actividad de verificar la humedad del material que está en proceso de secado es el líder de secado, el cual debe registrar en un formato de recolección de mercancía el nivel de humedad ambiente al momento de recoger el material. Si hay algún inconveniente de calidad en una fase posterior del proceso de producción se pueda revisar si el proceso de secado tuvo alguna implicación.

¿Para qué se debe hacer?: La implementación del medidor de humedad ayuda a reducir el tiempo de secado, evita que el material se dañe por rajaduras y ondulaciones provocadas por estar tiempo de más extendidas y también se reduce el tiempo que debe emplear un colaborador del área de alistamiento de material en preparar las chapas, ya que al reducirse las rajaduras y ondulaciones se va a alistar más material en el mismo tiempo.

¿Cuánto tiempo se tiene para realizar la implementación?: Se plantea que esta propuesta sea implementada tres meses, contados a partir de la presentación del proyecto a la empresa caso de estudio, se tiene en cuenta que la empresa debe realizar la inversión en el equipo y capacitar al personal en el uso del mismo.

6.9.5. Plan de acción: Estandarización de procesos

¿Qué se debe hacer?: Establecer cuales serán los procesos productivos de la compañía que deben ser intervenidos, de tal manera que se garantice la adecuada manera de llevar a cabo cada proceso y mejorar la calidad de los mismos.

¿Cómo se debe hacer?: Por medio de la caracterización de procesos, diagramas de flujo y el análisis del entorno (PEPSU), se obtiene la base para la propuesta de estandarización en cada proceso productivo de la compañía, por medio de reuniones entre los equipos de trabajo de cada área y el supervisor de planta.

¿Quién lo debe hacer?: Debe ser propuesto por el Supervisor de planta, el cual cuenta con toda la información presentada en el presente proyecto, y ayudado por los colaboradores de cada área, tiene la responsabilidad de plantear y asegurar que se ejecuten las modificaciones que sufriría cada proceso conforme pase el tiempo.

¿Para qué se debe hacer?: Con una adecuada ejecución de las actividades que componen el proceso productivo, se corrigen los desperdicios que se presentan por trans-

porte, defectos en el producto, reprocesos, tiempo de espera innecesario y de movimientos innecesarios, garantizando una mejora en la calidad del producto final, fortaleciendo de igual manera el entrenamiento a los nuevos colaboradores, ya que con una guía así de detallada en sus funciones evita las implicaciones en calidad por falta de conocimiento.

¿Cuánto tiempo se tiene para realizar la implementación?: Basados en el cronograma presentado para la implementación de programa 5S, se establece que las fechas de inicio de las reuniones de cada área serán a partir del veintiuno de mayo, esperando que las propuestas estén aprobadas y ejecutándose durante la primera semana de junio del presente año.

Capítulo 7

Conclusiones

1. La elaboración de diagramas para cada actividad llevada a cabo en el proceso de fabricación de láminas de 4mm y la aplicación de la herramienta SIPOC, permiten una caracterización holística del proceso de producción, lo cual facilita identificar y clasificar las actividades que no están agregando valor y los desperdicios del proceso.
2. La revisión bibliográfica brinda las bases suficientes para conocer la aplicabilidad de cada una de las técnicas de la filosofía Lean y complementando esta actividad con una herramienta de decisión que considera los principales puntos a intervenir teniendo en cuenta el nivel de compromiso de la compañía, es posible eliminar los problemas y/o desperdicios identificados en el actual proceso de producción.
3. Modelando el estado actual y futuro de la compañía por medio del software eVSM es posible hacer una comparación de los principales indicadores del proceso productivo de láminas de 4mm, validando los beneficios resultantes en la calidad por medio de la aplicación de herramientas Lean. Entre dichos beneficios de la aplicación de las herramientas Lean se pueden encontrar los siguientes:
 - El lead time agregado por la espera en el proceso de secado ha sido reducido en un 8 %, pasado de 1 día a 0,92 día.
 - La eficiencia general de los equipos en el proceso de torneado llega al tope máximo del 100 %.
 - La mejora más significativa en eficiencia general entre los procesos se encuentra en el proceso de escuadrado con una variación porcentual que va del 78,33 % al 83,3 %, que impacta directamente la calidad del producto.

- El tiempo de ciclo del proceso de alistamiento de material se reduce en 34,68 %, pasando de 0,934min ha 0,610min, lo cual clasifica el proceso por debajo del takt time.
4. El plan de mejoramiento tiene en cuenta las mejoras requeridas del proceso, fraccionando los impactos que tendría su aplicación total en cinco planes de acción, los cuales garantizan que el proceso de producción de la compañía cuente con las mejoras requeridas en el presente trabajo siempre y cuando sean ejecutados.
 5. El enfoque principal del presente trabajo de grado es hacia la parte cultural de la compañía, y no sólo de los colaboradores sino también de los administrativos, ya que éstos son los primeros pasos para la implementación del Lean Manufacturing; sin embargo, la ausencia de planeación estratégica, táctica y operativa devela la oportunidad de intervenir otros aspectos de la compañía.

La ausencia de planeación estratégica y de producción no se tiene en cuenta en este trabajo puesto que éste va enfocado al primer paso de la implementación del Lean Manufacturing que se aplica en el entorno cultural de la empresa, sin embargo este problema puede dar inicio a una nueva investigación.

Capítulo 8

Recomendaciones

- Resulta de vital importancia intervenir lo más pronto posible el proceso de alistamiento de material, ya que de no hacerlo pronto se puede ver perjudicado el nivel de servicio de la compañía.
- La propuesta presentada en este documento debe ser considerada por la dirección, aunque más importante que ello es fundamental que se eleve el compromiso con la implementación de la filosofía Lean, llevando a cabo los planes de acción propuestos y de este modo se podrá fortalecer la relación empresa/trabajador, mejorar continuamente los procesos y garantizar un producto de calidad a los clientes; estaría lista para no sólo permanecer en el mercado sino abarcar un mayor porcentaje del mismo.
- Adoptar un estado preventivo ante los problemas, con la ayuda del Lean Manufacturing es posible permanecer en un estado preventivo ante los principales errores en la parte productiva de la compañía, por lo cual no se debe esperar a la manifestación de los síntomas sino intervenir sus orígenes.

Bibliografía

- Barcia, K. y De-Loor, C. (2007). Metodología para mejorar un proceso de ensamble aplicando el mapeo de la cadena de valor (vsm). *Revista Tecnológica ESPOL*, 20: 31–38.
- Becerra Fernández, Mauricio y Rodriguez Yee, Ricardo (2017). Selección de alternativas para el suministro de gas natural en colombia empleando el proceso analítico jerárquico. *Ingeniería*, 2: 190–210.
- Bruno, Gerard Bruno Toskano (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. Lima, Perú.
- Conner, Gary (2009). *Lean Manufacturing for the Small Shop*. Society of Manufacturing Engineers, Estados Unidos de América.
- Cruz, Sandra y Cáceres, Alejandro (2015). *Propuesta de mejora en una empresa metalmeccánica por medio de la herramienta value stream mapping. (Tesis de pregrado)*. Universidad del Valle, Buga, Valle, Colombia.
- Faisal, Mohammed (2016). Simulation modeling and analysis of value stream mapping for the implementation of lean manufacturing in labour intensive small an medum sized enterprises. *International conference on electrical, electronics and optimization techniques*, 16: 3567–3569.
- Fawaz A., Abdulmalek, Jayant Rajgopal (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107: 223–236.
- Garza, Jose Arturo, Vikas, Kumar, Sariya, Chaikittisilp, y Tan, Kim Hua (2018). The effect of lena methods and toold on the environmental performace of manufacturing process. *International Journal of Production Economics*, 200: 170–180.

- Gaspersz, V. y Fontana, A. (2007). Lean six sigma for manufacturing and service industries. *PT Gramedia Pustaka Utama*.
- Gutiérrez Pulido, Humberto y Salazar, Román de la Vara (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. The Mc Graw-Hill, México.
- Hernández Matías, Juan Carlos y Vizán Idolpe, Antonio (2013). *Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implantación*. Fundación EOI, Madrid, España.
- Hobbs, Dennis P. (2004). *Lean manufacturing implementation: a complete execution manual for any size manufacturer*. J.Ross Publishing, Estados Unidos.
- Kanawaty, George (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra, Suiza.
- Maarof, Mohd Ghazali y Mahmud, Fatimah (2016). A review of contributing factors and challenges in implementing kaizen in small and medium enterprises. *Procedia Economics and Finance*, 35: 522 – 531.
- Maldonado Villalva, Guillermo (2008). *Herramientas y técnicas Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad. (Tesis de pregrado)*. Universidad Autónoma, Estado de Hidalgo.
- Moore, Ron (2007). *Selecting the right manufacturing improvement tools*. Butterworth-Heinemann, Burlington.
- Muluh Cheh, Keegan (2014). *Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) within different sectors in different Swedish industries. (Tesis de maestría)*. Mälardalen University, Eskilstuna, Suecia.
- Nash A., Mark y Poling R., Sheila (2008). *Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes*. Taylor and Francis Group, LLC, New York.
- Paredes Rodríguez, Andrés Mauricio (2017). Aplicación de la herramienta value stream mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio. *Ingeniería y tecnología*, 13.
- Plenert, Gerhard (2007). *Reinventing Lean Introducing Lean Management into the Supply Chain*. Butterworth-Heinemann, USA.

- Porter, Michael (2003). *Ser Competitivos*. Ediciones Deusto, Barcelona, España.
- Puvanasvaran, Perumal, Megat, Hamdan, Hong, Tan Sai, y Mohd.Razali, Muhamad (2009). The roles of communication process for an effective lean manufacturing implementation. *Industrial Engineering and Management*, 2: 128–152.
- Rivera Cadavid, Leonardo (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de lean manufacturing. *Heurística*, 15: 91–106.
- Rother, Mike y Shook, John (1999). *Learning to see : value stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute, MA, Estados Unidos.
- Sabel, Charles y Zeitlin, Jonathan (1985). Historical alternatives to mass production: Politics, markets and technology in nineteenth-century industrialization. *Past and Present*, 108: 133–176.
- Sharmaa, Kshitij Mohan y Latab, Surabhi (2018). Effectuation of lean tool “5s” on materials and work space efficiency in a copper wire drawing micro-scale industry in india. *Materials Today: Proceedings*, 5: 4678–4683.
- Veres, Cristina, Marian, Liviu, Moica, Sorina, y Al-AkelP, Karam (2018). Case study concerning 5s method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, 22: 900–905.
- White, R., Pearson J. y Wilson, J. (1999). Jit manufacturing: A survey of implementations in small and large us manufacturers. *Management Science*, 45: 1–15.
- Womack, James P. (1996). The psychology of lean production. *Applied Psychology*, 45: 119–122.
- Womack, James P., Jones, Daniel T., y Roos, Daniel (1990). *The Machine that Changed the World*. Collier Macmillan Canada Inc, New York, EE.UU.
- Zhang, Wenwu (2011). *Intelligent energy field manufacturing: interdisciplinary process innovations*. CRC Press, New York.

Apéndice A

Estimación de la disponibilidad, rendimiento y calidad

Disponibilidad: el cálculo se realiza basados en la tabla de desperdicios 16, la cual nos provee los tiempos de espera en las estaciones de trabajo, por otro lado, el Supervisor de planta propuso que para los tiempos de alistamiento, ya que las actividades son repetitivas y los colaboradores tienen empíricamente instaurados estos tiempos, éstos se estimaran de la siguiente manera:

- **Torneado:** el proceso consta de cinco minutos para arranque de la máquina, actividad que se hace dos veces al día, se demora aproximadamente un minuto instalando la troza a ser torneada (son 40 trozas por día) y finalmente, teniendo en cuenta las averías de la máquina se destinaron doce minutos de cada día, para así no omitir este tiempo en el cálculo del promedio diario. Se tiene entonces que el tiempo de paradas no programadas para esta actividad son sesenta y dos minutos, de un total de cuatrocientos ochenta disponibles.
- **Prensado:** debido a la intervención del celador para tener esta máquina preparada cuando vaya a iniciar la jornada laboral, se considera que la disponibilidad del prensado es 100 %.
- **Escuadrado:** la actividad como tal de escuadrado se realiza a lo largo y ancho de las láminas, con el fin de que salgan con las medidas estándar, la particularidad de esta operación es que la máquina es peligrosa, ésta debe encenderse cada vez que se vaya a realizar un corte y el tiempo que toma este arranque es de diez segundos. Se sabe que los cortes son realizados a grupos de láminas (10 láminas por grupo)

y son dos. Ahora si se deben procesar seiscientas láminas, el tiempo de arranque total sería de $20 \text{ segundos} * 60 \text{ grupos} = 1200s$. En síntesis son 20 minutos de tiempos muertos para una actividad de dos horas como lo es el escuadrado.

- **Lijado:** siendo un proceso de ocho horas, los tiempos muertos son debidos a inspección de la máquina, acomodación de las lijas y averías. La inspección es una actividad que toma diez minutos, la acomodación es de tres minutos y las averías se presentan semanalmente con una duración de una hora y treinta minutos, por lo cual este tiempo es distribuido en cada día de la semana para hallar el valor de disponibilidad. Es por esto que los tiempos muertos de este proceso son: 10 de inspección, 3 de acomodación y 18 de averías; para un total de treinta y un minutos.

Calidad: basados en las observaciones a cada proceso y registrados en la tabla 16 se aprecia que cada proceso tiene un porcentaje estimado de láminas que no cumplen con los requerimientos de calidad del proceso productivo; la medición del desperdicio corresponde a rangos de afectación a la calidad del producto, rangos de los cuales se considera el limite inferior. Estos porcentajes se presentan a continuación:

- **Torneado:** debido a la calibración de la cuchilla con la máquina en movimiento el material se desenvuelve con montañas en ocasiones en la misma lámina. El impacto es por lo general un 0,5 % del material torneado.
- **Prensado:** de las 600 láminas producidas diariamente se pierden alrededor de 30 láminas en el ingreso a las máquina y otras 6 se averían en el transporte al resanado.
- **Escuadrado:** hay un margen de error del 6 %, es decir que 36 láminas pueden terminar con cortes que involucran un clasificación diferente a la A en términos de calidad.
- **Lijado:** tanto el estado de las lijas como la ubicación de las mismas en la máquina hacen que la calidad del producto no sea la óptima, ya que en repetidas ocasiones la lámina queda con altibajos que hacen que sean clasificadas como categoria B, lo que le sucede aproximadamente a 60 láminas de las procesadas diariamente. Adicional a ello durante el proceso de prensado quedan huecos o montañas que en ocasiones no comprometen la calidad de las láminas, pero alrededor de 9 de éstas láminas no cumplen los estándares de calidad necesarios para su clasificación A.

Apéndice B

Actividades asociadas con su elemento de trabajo correspondiente

Actividades	Elemento de trabajo
Pedido de materiales Recepción de la materia prima Definición del destino de cada troza	N/A
Medición del diámetro de cada troza Llevar la troza al torno de chapa o de interior, según se ha definido Preparación de la troza para ser ubicada en el torno Ubicación de la troza en el torno Torneado de la troza Extensión de la lámina obtenida del torneado División de las chapas interiores y exteriores en secciones según el caso Almacenamiento en zona de material húmedo	Torneado
Búsqueda de la carreta para transportar las chapas a los patios de secado Cargue de las chapas en la carreta	Secado I
Continúa en la siguiente página	

Actividades	Elemento de trabajo
Transporte del material a zona de secado Extender las láminas en zona de secado	
Espera hasta que el material esté completamente seco	N/A
Recoger el material seco de las estanterías Transporte de los materiales a zona de material seco	Secado II
Transporte de las chapas exteriores a zona de encintado Encintado de las chapas exteriores Transporte de las chapas interiores a la zona de recorte Corte de bordes a las chapas interiores Transporte de las chapas interiores y exteriores preparadas a la zona de prensado	Alistamiento de material
Recogida de los materiales para preparar el bache Preparación del bache Llenado de la bandeja de la engomadora Engomado de chapas interiores Armado de la lámina con las chapas exteriores e interiores Ingreso de las láminas armadas a la prensa Prensado de las láminas	Prensado
Retirar las láminas de la prensa Preparación de la resane Resanado de las láminas Ubicación de las láminas en arrumes	Resanado
Escuadrado de las láminas Transporte de las láminas de la zona de escuadrado a la zona de lijado	Escuadrado
Inspección de la lijadora en busca de defectos Encendido de la máquina lijadora	Lijado y Seleccionado
Continúa en la siguiente página	

Actividades	Elemento de trabajo
Lijado de la lámina Inspección del estado de la lámina al salir de la lijadora Clasificación del producto final Transporte de las láminas a zona de producto terminado	Lijado y Seleccionado
Almacenamiento en zona de producto terminado Despacho de materiales	N/A
Fin de la tabla	

Tabla B.1: Actividades asociadas a sus elementos de trabajo. *Fuente: Elaboración propia*

Apéndice C

Formatos de estudio de tiempos por elementos de trabajo

Estudio de tiempos por elemento de trabajo			
Elemento de trabajo estudiado: Torneado			
Láminas equivalentes: 15 láminas			
Muestra	Tiempo [min:seg]	Tiempo [min]	TC [min/lámina]
1	8:22,81	8,38	0,56
2	9:38,42	9,64	0,64
3	9:33,09	9,55	0,64
4	8:01,28	8,02	0,53
5	8:35,40	8,59	0,57
6	9:12,61	9,21	0,61
7	8:16,25	8,27	0,55
8	9:59,47	9,99	0,67
9	9:01,25	9,02	0,6
10	8:14,41	8,24	0,55
11	8:02,42	8,04	0,54
12	8:58,22	8,97	0,6
TC promedio:			0,588

Tabla C.1: Muestra de tiempos para el proceso de Torneado. *Fuente: elaboración propia.*

Estudio de tiempos por elemento de trabajo			
Elemento de trabajo estudiado: Alistamiento de material			
Láminas equivalentes: 1 lámina			
Muestra	Tiempo [min:seg]	Tiempo[min]	TC [min/lámina]
1	00:58,24	0,97	0,97
2	00:57,07	0,95	0,95
3	00:55,22	0,92	0,92
4	00:58,23	0,97	0,97
5	00:57,09	0,95	0,95
6	00:56,40	0,94	0,94
7	00:52,86	0,88	0,88
8	00:56,45	0,94	0,94
9	00:54,65	0,91	0,91
10	00:58,21	0,97	0,97
11	00:52,20	0,87	0,87
12	00:56,47	0,94	0,94
TC promedio:			0,934

Tabla C.2: Muestra de tiempos para el proceso de Alistamiento de material. *Fuente: elaboración propia.*

Estudio de tiempos por elemento de trabajo			
Elemento de trabajo estudiado: Prensado			
Láminas equivalentes: 5 láminas			
Muestra	Tiempo [min:seg]	Tiempo [min]	TC [min/lámina]
1	02:36,61	2,61	0,52
2	03:04,86	3,08	0,62
3	02:32,43	2,54	0,51
4	02:43,86	2,73	0,55
5	02:37,88	2,63	0,53
6	02:51,02	2,85	0,57
7	02:55,85	2,93	0,59
8	02:31,21	2,52	0,5
9	02:34,86	2,58	0,52
10	02:24,68	2,41	0,48
11	02:28,29	2,47	0,49
12	02:41,40	2,69	0,54
TC promedio:			0,535

Tabla C.3: Muestra de tiempos para el proceso de Prensado. *Fuente: elaboración propia.*

Estudio de tiempos por elemento de trabajo			
Elemento de trabajo estudiado: Resanado			
Láminas equivalentes: 5 láminas			
Muestra	Tiempo [min:seg]	Tiempo [min]	TC [min/lámina]
1	01:55,21	1,92	0,38
2	02:13,24	2,22	0,44
3	01:59,43	1,99	0,4
4	01:53,45	1,89	0,38
5	02:07,78	2,13	0,43
6	02:06,56	2,11	0,42
7	02:10,24	2,17	0,43
8	01:53,42	1,89	0,38
9	01:48,01	1,8	0,36
10	02:04,85	2,08	0,42
11	02:01,21	2,02	0,4
12	02:13,87	2,23	0,45
TC promedio:			0,408

Tabla C.4: Muestra de tiempos para el proceso de Resanado. *Fuente: elaboración propia.*

Estudio de tiempos por elemento de trabajo			
Elemento de trabajo estudiado: Escuadrado			
Láminas equivalentes: 10 láminas			
Muestra	Tiempo [min:seg]	Tiempo [min]	TC [min/lámina]
1	01:32,71	1,55	0,16
2	01:43,86	1,73	0,17
3	01:44,82	1,75	0,18
4	01:32,64	1,54	0,15
5	01:47,94	1,8	0,18
6	01:33,18	1,55	0,16
7	01:41,63	1,7	0,17
8	01:34,92	1,58	0,16
9	01:25,59	1,43	0,14
10	01:45,48	1,76	0,18
11	01:44,82	1,75	0,18
12	01:39,30	1,66	0,17
TC promedio:			0,167

Tabla C.5: Muestra de tiempos para el proceso de Escuadrado. *Fuente: elaboración propia.*

Estudio de tiempos por elemento de trabajo			
Elemento de trabajo estudiado: Lijado y seleccionado			
Láminas equivalentes: 1 lámina			
Muestra	Tiempo en [min:seg]	Tiempo en [min]	TC [min/lámina]
1	00:15,84	0,26	0,26
2	00:16,32	0,27	0,27
3	00:16,52	0,28	0,28
4	00:14,63	0,24	0,24
5	00:14,94	0,25	0,25
6	00:13,56	0,23	0,23
7	00:15,61	0,26	0,26
8	00:16,37	0,27	0,27
9	00:14,7	0,25	0,25
10	00:14,93	0,25	0,25
11	00:15,01	0,25	0,25
12	00:15,71	0,26	0,26
TC promedio:			0,256

Tabla C.6: Muestra de tiempos para el proceso de Lijado y seleccionado. *Fuente: elaboración propia.*