

Aplicación de Lean Manufacturing en la industria automotriz

Application of Lean Manufacturing in the automotive Industry

Juan Felipe Bolaños Salas¹

juan.balanos00@usc.edu.co

Carolina Campo Banguero²

carolina.campo01@usc.edu.co

Jenny Isabel Ramírez Muñoz³

Jenny.ramirez04@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (1)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (2)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (3)

Resumen

Lean Manufacturing conocido con sus siglas LM, es una filosofía de trabajo que propone obtener mayores beneficios utilizando menos recursos. Ha sido aplicado en diferentes sectores de la industria manufacturera, su mayor desarrollo ha sido en el sector automotriz donde inicialmente se originó. Hoy en día en un mercado competitivo las empresas requieren plazos cortos de entrega, costos bajos y altos niveles de satisfacción de servicio al cliente. En este artículo se analizará la implementación y los resultados de diferentes empresas del sector automotriz que han aplicado la metodología LM para la mejora de sus procesos operativos. Para ello, se realiza la revisión de diferentes artículos y casos de estudios publicados acerca del LM y algunas de sus herramientas de mejora continua como lo son 5's, Kanban, Just in Time, VSM, Six Sigma, SMED y TPM. Obteniendo como resultado de esta investigación información y conocimiento de los logros más relevantes que se obtuvieron con su implementación.

Palabras Clave: Lean Manufacturing, empresa automotriz, herramientas Lean

Abstract

Lean Manufacturing known by its acronym LM is a work philosophy that proposes to obtain greater benefits using fewer resources. It has been applied in different sectors of the manufacturing industry; its greatest development has been in the automotive sector where it possibly originated. Today in a competitive market, companies controlled by short delivery times, low costs and high levels of customer service satisfaction. This article will analyze the implementation and results of different companies in the automotive sector that have applied the LM methodology to improve their operational processes. For this, the review of different articles and case studies published about LM and some of its tools for continuous improvement such as 5, Kanban, Just in Time, VSM, Six Sigma, SMED and TPM. Obtaining as a result of this investigation information and knowledge of the most relevant achievements that were obtained with its implementation.

Keywords: Lean Manufacturing, automotive company, Lean tools

1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial manufacturero ha sido uno de los mayores contribuyentes a la actividad económica mundial. Actualmente las empresas integradas a este sector se enfrentan cada vez más a demandas cambiantes y exigentes por el mercado actual. Por esta razón los sistemas productivos de estas empresas deben adaptarse a un proceso o metodología que les permita responder con mayor agilidad, rapidez y el menor coste posible a las exigencias de los clientes (Picalua, Martínez, Payares, Lambraño, Bayuelo & Patiño).

Una metodología que ayuda a las empresas a mejorar sus sistemas productivos es el LM, que se concentra en reducir los desperdicios en los procesos operativos y aumentar la productividad (Garay, Cicedo & Cadavid, 2009). Su origen viene del sistema de producción desarrollado por Taiichi Ohno en la empresa Toyota en los años 50 (Sánchez, Palacios & Prida, 2008). La implementación de este método ha generado un interés por los resultados que se han alcanzado en varias

compañías de distintos países del mundo y sectores industriales (Garay, Cicedo & Cadavid, 2009).

Para el logro del objetivo principal de LM se requiere tener una mirada general de cada proceso operativo e identificar las causas de desperdicio más significativas de la operación, también tener la comprensión de esta metodología y cada una de sus herramientas, que tienen un impacto en el desempeño global de la compañía, logrará importantes resultados de productividad (Padilla, 2010).

En el caso de la industria automotriz, la aplicación e implementación del LM ha ayudado en el crecimiento del desarrollo tecnológico, la disminución de costos y el aumento del nivel de satisfacción del servicio (Santos, Vieira & Balbinotti, 2015), donde juegan un papel muy importante en el mercado, debido a que muestran la habilidad para entregar más rápido el producto con características óptimas de calidad y precio, además de incrementar la flexibilidad y agilidad de la planta, reduciendo el exceso de inventario, desperdicios y tiempos muertos (Kumar & Abuthakeer, 2012).

Para ello, el artículo tiene como propósito mostrar el análisis del desempeño y características del sector automotriz aplicando la metodología para la mejora de sus procesos. La investigación consiste en la búsqueda de diferentes empresas del sector automotriz que hayan implementado LM, con el fin de estudiar sus herramientas y analizar diferentes casos de aplicación.

Por tal motivo la metodología del artículo se encuentra organizada de la siguiente forma: En la primera parte se presentará el marco conceptual del LM, es decir el concepto de LM, sus principios y herramientas de aplicación. En segundo lugar, se analizará 3 casos de aplicación donde se aplica la metodología LM o alguna de sus herramientas en el sector automotriz y, en tercer lugar, se presentará un caso de investigación en Malasia acerca de cómo las empresas Pymes perciben la implementación de LM en sus empresas.

Finalmente, se revelan los principales aprendizajes obtenidos en esta investigación, por ejemplo, el proceso de implementación y adaptación de LM, sus ventajas y desventajas, además de los beneficios que ha traído a las empresas. También hablaremos del conocimiento y experiencias adquiridas durante el curso de “Movilidad Académica – Lean Manufacturing”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

Para la consecución de la metodología del artículo se realiza una investigación descriptiva donde se presenta, en primer lugar el concepto de LM y todos su componentes, como lo son: sus principios y herramientas que permiten disminuir o eliminar diferentes tipos de desperdicio, en segundo lugar los casos de aplicación en empresas del sector automotriz (empresas ensambladoras y fabricantes de autopartes), y en tercer lugar se presenta un caso de estudio que se realizó en Malasia en el año 2013 donde se realiza una serie de encuestas a las empresas Pymes del País, acerca de la implementación de LM en sus empresas.

La recopilación de la información se realizó a través de la búsqueda de diferentes artículos de investigación y aplicación que se encontraron en las diferentes bases de datos académicas que nos suministra la universidad, como; Springer, Scopus, ScienceDirect, etc., bajo esta investigación se lograron encontrar 22 artículos de investigación y 5 de aplicación. Otras fuentes de investigación que utilizamos fueron revistas y comunidades científicas, repositorios de universidades y libros.

A continuación, se presenta un resumen general de la información más relevante y los resultados obtenidos de nuestra investigación.

Tabla 1. Fuentes de investigación

<p>Revistas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas & Telemática • Revista Virtual Pro • Revista Electrónica Ingeniería Primero • Procedia Manufacturing • Revista Raites • Chemical Engineering Research and Design • Journal of Operations & Production Management • Ciencia & Trabajo • Journal of Operations and Supply Chain Management • International Journal of Research in Engineering and Technology • International Journal of Automotive and Mechanical Engineering
<p>Eventos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management • XIX Congreso Nacional de ACEDE
<p>Comunidades Científicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Research Gate • EOI Escuela de Organización Industrial. • Instituto de Ingeniería, UABC. • Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín
<p>Libros</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Manufatura Enxuta Como Estratégia de Produção: a Chave para a Produção • Estructura en 5: una síntesis de la investigación sobre el diseño de la organización • Implantação do Kanban como base de um programa Just in Time: Uma proposta de metodologia para empresas industriais. • Sistema de Producción de Toyota: un enfoque integrado justo a tiempo

3. CONCEPTO DE LEAN MANUFACTURING Y SU APLICACIÓN

Lean Manufacturing se define como una filosofía enfocada en la reducción de desperdicios. Su concepto surge del sistema de producción Toyota por Taiichi Ohno, quien define a LM como una metodología conformada por un conjunto de principios y herramientas que ayudan a la identificación y eliminación de desperdicios, la mejora en la calidad y la reducción de tiempo y costos de un sistema de producción (Correa, 2007) (Melton, 2005).

Las técnicas de LM se están utilizando para optimizar los sistemas operativos con el fin de obtener tiempos de reacción más cortos, mejor calidad, costos más bajos eliminar desperdicios (actividades que no agregan valor a producto o servicio), mejorar la eficiencia del equipo de trabajo y sobre todo aumentar la satisfacción de servicio al cliente (Cuatrecasas & Olivellal, 2005).

Además de lograr estabilizar la demanda y evitar su variabilidad para ayudar a manejar con más facilidad la planeación de la producción, es decir cuando se tiene una demanda con poca variabilidad se logra tener un control de los procesos y un abastecimiento constante de las diferentes materias primas, para esto los datos se generan a partir de los pronósticos de ventas apoyados en el área de gestión de la demanda y así lograr realizar el plan maestro de planeación (Martínez & Pérez, 2001).

Los principios de LM son practicados por las industrias para lograr beneficios en cuanto a la mejora continua de sus procesos operativos; a continuación, se presenta el ciclo de los 5 principios lean: (Hernández & Vizán, 2013).

Figura 1. Los 5 principios de Lean Manufacturing.



Fuente: Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implantación (Hernández & Vizán, 2013).

- 1. Especificar valor para el cliente:** Dar al cliente lo que realmente espera del producto o servicio (calidad, servicio al cliente, tiempos cortos de entrega, etc.)
- 2. Identificar el flujo de valor:** Conocer en su totalidad los procesos operativos de la empresa, identificando aquellos productos o actividades que agreguen valor para el cliente.
- 3. Crear flujo continuo:** Realizar un proceso de producción continuo, es decir que los productos fluyan a través de los diferentes procesos.
- 4. Tirar desde el cliente:** Hacer lo que el cliente desea, cuando lo desea y como lo desea.
- 5. Buscar la perfección:** Realizar constantes avances para la mejora continua de los procesos operativos de la empresa. (Hernández & Vizán, 2013)

Estos principios que giran en torno a la mejora continua radican en la forma de potenciar lo que es realmente importante para el cliente y la eliminación del desperdicio; Taiichi Ohno identifica 7 clases principales de desperdicios: (Ohno, 1988).

Tabla 2. Los 7 desperdicios de Lean Manufacturing

Desperdicio	Descripción
Sobreproducción	Producir unidades de más según el tamaño de la orden de producción. Este desperdicio genera aumento en los inventarios y sobrecosto por consumo de materia prima, transporte y horas hombre pérdidas.

Espera	Es el tiempo que pierde un operario esperando a que una parte termine de ser procesada.
Transporte	Movimientos innecesarios al mover un producto de un lado a otro.
Sobreprocesamiento	Hacer cosas que el cliente no nota, por ejemplo, poner parte lujosas en lugares no visibles.
Inventarios	El exceso de inventario en cualquier área de la planta genera altos costos de almacenaje, largos tiempos de entrega y probablemente productos averiados.
Movimientos innecesarios	Movimientos innecesarios de los empleados debido al desorden o la mala clasificación en su puesto de trabajo.
Reprocesos	Productos defectuosos que deben ser desechados o reparados

Para estos 7 desperdicios, LM plantea soluciones basadas en un conjunto de herramientas que se pueden emplear en distintos momentos de la fase de ejecución de un proceso, ayudan a eliminar los desperdicios y tiempos improductivos, a mejorar el nivel de calidad de los productos y a reducir los costes. Algunas de estas herramientas son:

Tabla 3. Técnicas de Lean Manufacturing.

Técnicas	Descripción
5'S	Se centra en el orden y la limpieza que debe tener el puesto de trabajo de cada una de las personas, basado en la metodología japonesa: Seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke (Mintzberg, 1980)
Kanban	Se centra en el control de la producción mediante tarjetas de colores (Rojo, amarillo y verde).
Just in Time	Se centra en tener los productos en la fecha acordada y la cantidad acordada.

Six Sigma	Se centra en la parte de calidad que se debe tener para evitar reprocesos, tiempos y movimientos innecesarios, etc.
TPM (Total Productive Maintenance)	Se centra en programar y realizar mantenimientos preventivos a la maquinaria.
VSM (Value Stream Mapping)	Esta herramienta permite identificar todos aquellos desperdicios que no generen valor al producto final.
SMED (Single Minute Exchange of Die)	Por medio de esta herramienta se busca reducir los tiempos por alistamiento de las máquinas.

Fuente: Manufatura Enxuta Como Estratégia de Produção: a Chave para a Produção (Ferrari, 2018).

A continuación, se presenta una breve descripción del funcionamiento de algunas de las herramientas para el modelo de implementación:

5'S: Implementa la disciplina de orden y limpieza en los puestos de trabajo. Su orden de implementación es la siguiente; Seleccionar: tener solo lo que se necesita; Organizar: un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar; Limpiar: mantener el lugar de trabajo limpio antes y después de su utilización; Estandarizar: continuar constantemente con el proceso de las tres primeras "S"; y Disciplina: crear mecanismos de auditoria, seguimiento y mantenimiento de las 5'S (Cunha, 2012).

Las 5'S son de vital importancia en todos los puestos de trabajo y más aún en las zonas de la parte de producción ya que cualquier fallo en esta área puede verse representado en el producto final. Para lograr su aplicación es importante crear la idea de la importancia de tener un puesto de trabajo ordenado y limpio. Una planta de producción con la metodología 5'S logrará evitar confusiones en el proceso, accidentes de trabajo, daños en el producto y demás factores que puedan afectar el desarrollo normal de las tareas o actividades.

Kanban: Gestiona de manera visual la realización de determinados procesos y tareas (Peinado, 2000). Es un modelo que se utiliza para disminuir los inventarios que se encuentran consumiendo diferentes recursos sin necesidad. A partir del modelo Kanban se calculan los inventarios estrictamente necesarios, es decir solo contar con el stock de seguridad que permita tener un flujo constante de las partes necesarias para la producción, permitiendo el ahorro de los recursos destinados para los inventarios.

Just in Time: Produce y mueve la cantidad precisa de materiales en el momento justo en el que son requeridos (Monden, 2015). Just in time que se centra principalmente en la necesidad del cliente, debido a que la distribución del producto debe ser precisa en términos de tiempo y cantidad para así lograr satisfacer sus necesidades.

Six Sigma: Reduce y elimina los defectos o fallos en los procesos, disminuye la variabilidad basado en un análisis profundo de la causa por la cual sucedió cierto defecto o problema en el producto y, a partir del análisis se busca un plan de acción que ataque directamente el problema, todo esto basado en datos estadísticos (López, 2001).

TPM: Disminuye o elimina los tiempos perdidos a causa del mantenimiento de las maquinas a tiempo productivo (Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez & Estebané, 2017). El TPM es otra de las herramientas que permite tener una mejora notable, basados en programaciones de mantenimientos preventivos de la maquinaria y evitar tiempos perdidos por daño de maquinaria, además de alargar la vida útil de estas. Para lograr cumplir con esta herramienta se debe llevar un control de

la realización de los mantenimientos y llevar informes de cada máquina en los cuales se detallan: el problema, la ubicación del problema, la razón del problema y el posible plan de acción y así cada vez buscar disminuir la cantidad de paradas de producción por daños en la maquinaria.

VSM: Realiza los mapas globales del flujo del producto y la información, desde la recepción de la orden hasta la entrega del producto terminado (Miyake & Favaro, 2010). Para comenzar a mejorar la productividad mediante la identificación de desperdicios y su posterior eliminación basados en la implementación y principio de Lean Manufacturing, no hay mejor herramienta para esto que el VSM, ya que permite a la empresa tener una visión panorámica de todos los procesos e información que se requiera como; tiempo del ciclo, demanda diaria, nivel de inventarios, número de operarios, etc., todos estos datos con el fin de evaluar el funcionamiento del proceso.

SMED: Realiza los alistamientos para reducir el tiempo disponible de la producción. El SMED se debe aplicar en los tiempos de alistamiento de las máquinas, es decir en los llamados set UP; que es cuando se realiza algún cambio de molde de un producto o cuando se está realizando el despeje de línea por cambios en las ordenes de producción o cambios de productos, estos tiempos deben ser mínimos ya que pueden afectar la productividad de la máquina.

4. CASOS DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

4.1 Caso # 1: Aplicación de la herramienta SMED en una empresa de autopartes.

La agilidad y atención en las respuestas constituyen el eje de excelencia que se requiere para poder hacer parte del mercado automotriz actual como empresa competitiva. Este estudio de caso se implementa en una empresa de Portugal especializada en la manufactura de cables usados en la fabricación de automóviles, en la sección de montaje de puertas, asientos, ventanas y demás.

Para cumplir con estos requerimientos necesita reducir los tiempos de producción, entendiendo esto, el caso se desarrolla basado en la herramienta del sistema Lean Manufacturing SMED con el apoyo de otras herramientas.

El SMED como ya se mencionó anteriormente, busca reducir los tiempos en el alistamiento de máquinas. La mayoría de los tiempos de las actividades que se realizan en estos alistamientos se basan en el procesamiento y ajustes, preparación de materias primas, dispositivos de montaje, accesorios y otros, pero solo un 5 % de este tiempo se usa para quitar, arreglar troqueles y herramientas. La solución según Ferrari es reducir e incluso eliminar estos mini tiempos (Ferrari, 2015).

La metodología consiste en la revisión de los conceptos de algunos artículos científicos, en segundo lugar, realizar el mapeo de los procesos con el fin de identificar los tiempos para cada referencia, y así analizar los datos obtenidos y lograr identificar las áreas de mayor potencial para la implementación de las mejoras, y por último se definen las mejoras para ciertas áreas aplicando las herramientas del LM (SMED, 5'S y VSM) y analizar los resultados obtenidos.

Para el desarrollo del caso se usó la herramienta SMED, se evidenció que esta línea consta de 8 estaciones de trabajo, las cuales tienen capacidad de producir 15 referencias diferentes en la operación, esto genera que se realicen muchas configuraciones en los procesos. La producción inicia en la primera estación, y sigue una secuencia por las demás estaciones según la necesidad de cada referencia. Se debe saber que las estaciones 1, 3,4 y 5 se usan en todas las referencias, pero las demás estaciones se usan solo para algunas.

Como mejora al proceso se revisa las configuraciones posibles de las estaciones de trabajo, con lo cual se determina que la estación 5 es innecesaria en varias de las configuraciones por el tipo de molde que usa, al dejar la estación solo para operaciones necesarias se disminuyen los tiempos de configuraciones mejorando el Set Up de la producción en la estación 5, la cual pasó de 20 a 10 minutos de tiempo en cambio de molde.

Otra falencia que se evidenció fue la organización de las herramientas de configuración, la cual ocasionaba varios

problemas (ver Tabla 4). Como propuesta de mejora se implementa y aplica las 5'S. En este proceso se realizó una clasificación y marcación de las herramientas por colores, también se acomodaron en un sistema de apretar y enganchar buscando una forma más ágil que se acoplara según las necesidades de los operadores, además se le dio prioridad a las herramientas que requerían de uso rápido para que tuvieran mayor alcance, y se separaron por actividades externas.

Tabla 4. Problemas identificados

Problem	Description
Organization and identification of setup tools	The setup tools were not organized and the identification of the reference they belong to was not intuitive, thus resulting in a lengthy search process.
Tightening tools	The tools used require resorting to spanners, so that repeated turning actions were needed to clamp the components into position.
Connection hitching	Air hoses with thread connections
Availability of setup support tools	The spanners required to support setup were only in the possession of the tuning technicians.
Placement of fast-wearing components and setup support side-table	The fast-wearing components were only available in the components warehouse. There was no side-table to support setup.
Preparation of components and setup tools for the next stage of production	The line was stopped to prepare the next stage of production. The concept of external setup was not implemented.

Fuente: SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry (Rosa, Silva, Ferreira & Campilho, 2017).

Estas implementaciones consiguieron una mejora significativa en el manejo de los tiempos que los operarios destinaban en las actividades que dependían del uso de herramientas. Cabe enfatizar que se les dio capacitación sobre el nuevo sistema y su manejo, enfatizando por supuesto en la importancia y ventajas que este aportaba la a los tiempos de operación en el área de ensamble.

Como resultado se obtiene una reducción de los tiempos de configuraciones mediante la aplicación de SMED, se clasifican y marcan las herramientas de configuración por medio de las 5'S, reduciendo así los tiempos que los operadores gastaban cuando debían usarla. Por último, se capacitaron a los operadores sobre las nuevas implementaciones en las estaciones de trabajo.

Estas propuestas permitieron mejorar los tiempos en la detención de la línea en el proceso de configuración con una reducción de al menos el 58.3 % en la primera semana de implementación del nuevo sistema.

4.2 Caso #2: Aplicación de las herramientas del LM en la fabricación de productos electrónicos para automóviles.

El caso ilustra la metodología Lean para la mejora continua en la fabricación de productos electrónicos en la industria automotriz, ya que tiene grandes ventajas en cuanto a la rentabilidad que puede derivarse de su gestión. Para lograr esto se deben usar las herramientas de Lean Manufacturing, estas permiten la automatización de los procesos, y la reducción de desperdicios: (micro logística irregular, defectos, suministro de materiales y equipos, exceso de procesos, etc.), por medio de una producción ajustada dirigida a atender exclusivamente los requerimientos de los clientes. Esto les permite a las empresas ser más competitivas en el cumplimiento de las necesidades de los clientes, y a su vez conseguir mejorar sus resultados económicos.

La metodología del caso consiste en; calcular el tiempo Takt time para determinar el ciclo máximo de tiempo que se permite para fabricar un producto (radios de automóvil) y poder cumplir con la demanda, establecer objetivos planeados, es decir los tiempos nuevos de ciclos de línea adecuados Takt y revisar el contenido de las actividades de las estaciones de trabajo (ver Tabla 5).

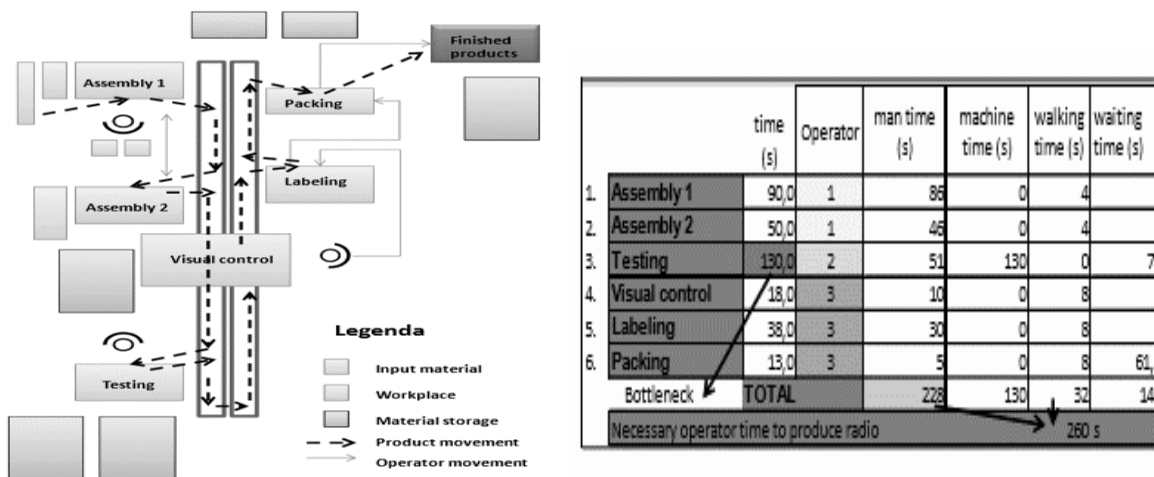
Tabla 5. Cálculo del tiempo Takt (T/T) y TC (C/T)

1. Available time	
Production	7 days
Shifts	2 per day
Hours pers shift	11 h (minus 1h lunch break)
Maintenance	4 h per week
TOTAL	150 h per week
2. Required line weekly capacity	
Call - offs	1500 Pcs/week
flexibility	15%
Need to produce	1725 Pcs/week
3. Customer Takt	
T/T = $\frac{\text{available time (seconds per week)}}{\text{required weekly capacity}}$	
T/T =	313 s / Pc
4. Planned C/T	
OEE =	80%
$p\ C/T = T/T * OEE$	
p C/T =	250 s / Pc

Fuente: Success Case–Study Lean Production in Electronics Manufacturing Workshop (Zhuravskaya, Michajlec & Mach, 2011).

De acuerdo a lo anterior, se revisa el estado y balance general actual de la línea, los operarios y sus actividades, además de los tiempos y movimientos de los procesos, para obtener el diagnóstico actual que les permitiría identificar las acciones de mejora (ver Figura 2).

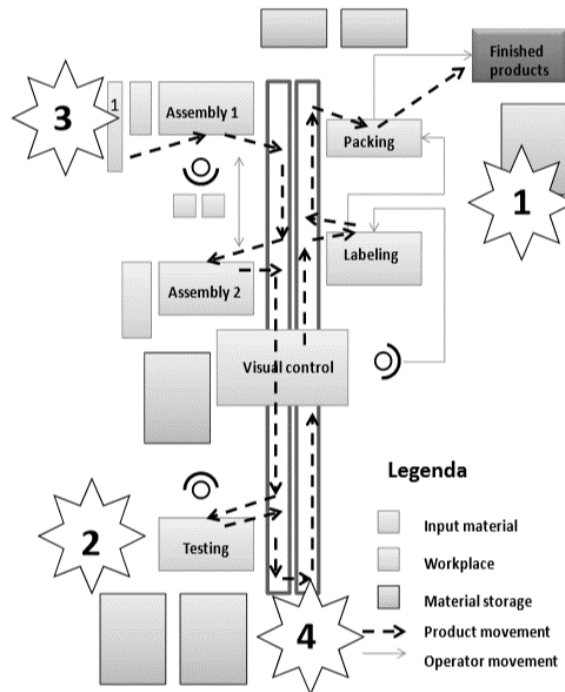
Figura 2. Equilibrio de la línea de producción.



Fuente: Success Case–Study Lean Production in Electronics Manufacturing Workshop (Zhuravskaya, Michajlec & Mach, 2011).

Después de operar la producción con estos cambios se identifican las actividades que generan residuos, como el número de operarios necesarios para ejecutar las actividades, reducción de movimientos tanto en los procesos, como en los operarios, y cargas de trabajo que pueden no ser necesarios. Según la filosofía Lean, a medida que la línea se hace más pequeña y se ajusta mejor ergonómicamente a las necesidades de los operadores, más pequeños son los requisitos de tiempo para desplazamiento que no agrega ningún valor, descubriendo también los operadores de sobrecarga, el tiempo de espera y otros potenciales dentro de la línea de montaje (ver Figura 3).

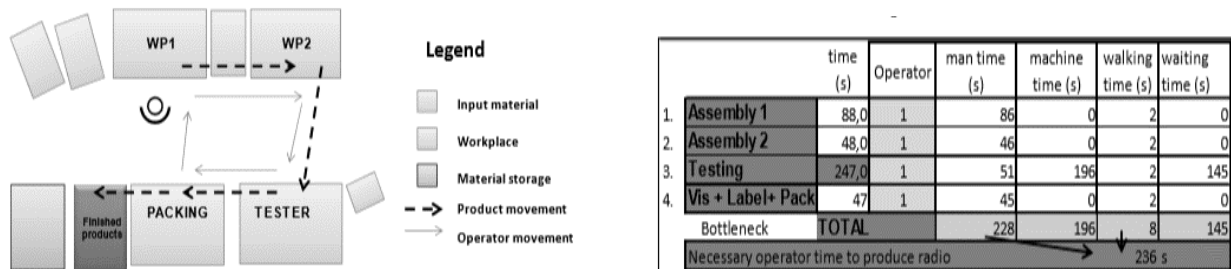
Figura 3. Equilibrio de la línea de producción con los residuos definidos.



Fuente: Success Case–Study Lean Production in Electronics Manufacturing Workshop (Zhuravskaya, Michajlec & Mach, 2011).

Con los desperdicios identificados (movimiento, esperando máquina, consumo de espacio y WIP en cinta transportadora). Para la implementación se establecen las mejoras en el nuevo sistema de producción para maximizar la eficiencia y flexibilidad de la línea, de una manera más suave y esbelta sin perder la eficiencia en el transporte, y tiempos de espera. La tasa de producción se puede ajustar por modelo de turno, estos escenarios de flexibilidad se pueden definir mediante una hoja de trabajo estandarizada, donde se indica qué hacer, dónde ir y cómo hacerlo según los operadores que estén en la línea, y sus actividades programadas (ver Figura 4).

Figura 4. Equilibrio de la línea de producción después de la implementación de LM.



Fuente: Success Case–Study Lean Production in Electronics Manufacturing Workshop (Zhuravskaya, Michajlec & Mach, 2011).

El informe del taller del estudio de caso se presentó a la gerencia de la empresa con la propuesta, que consistió en mejorar la optimización de la línea, crear plantillas de instrucciones y control de procesos, implementación de herramientas

y software más ágiles. También se recomendó tener un inventario de seguridad mientras se implementaban los cambios de mejora en la línea de producción, para así no tener incumplimiento con el cliente.

Como resultado se obtuvo un aumento en la producción de un 15%, esperando que la situación global del mercado específico mejore, además de que se espera que las mejoras implementadas en la empresa generen un impacto positivo y generen aumento en la demanda de los clientes.

De acuerdo con el autor, se concluye que el método de producción ajustada LM es muy efectivo para encontrar e implementar mejoras en gestión, competitividad internacional en el ámbito de la producción a nivel de electro tecnología. El autor enfatiza fuertemente en que para garantizar no es suficiente con el aprendizaje del método, o el uso de las herramientas como tal, también debemos entender el eje central de la producción ajustada, de acuerdo con las condiciones propias del proceso a la hora de trabajar con estas; de este modo se pueden considerar resultados muy buenos en las empresas, con respecto a calidad y rentabilidad.

Para los casos de aplicación 3 y 4 se presentan dos casos de estudios de empresas fabricantes de autopartes de la India que han logrado implementar el VSM en sus procesos operativos.

LEAR CORPORATION Y CAPARO LIMETED, son dos empresas ubicadas en India que se dedican a la fabricación y comercialización de autopartes (Sheth, Deshpande, Kardani, 2014).

4.3 Caso # 3: Aplicación de la herramienta VSM en LEAR CORPORATION.

India es un país ubicado en el sur de Asia, cuenta con una extensión de 3.287.273 Km² y una población de 1.372 millones de habitantes. En este país la industria automotriz se encuentra bien desarrollada en cuanto a empresa ensambladoras y fabricantes de autopartes (Aguirre, 2014).

Para el caso de LEAR CORPORATION, logro aplicar la herramienta VSM en uno de sus procesos operativos y en especial en una familia de productos seleccionada, para este caso los asientos de vehículo.

Después de seleccionar la familia de productos de mayor valor, se concentraron en la obtención de información y datos que se requieren para la elaboración del mapa del estado actual, los datos obtenidos don los siguientes:

Tabla 6. Matriz de tiempos por cada proceso

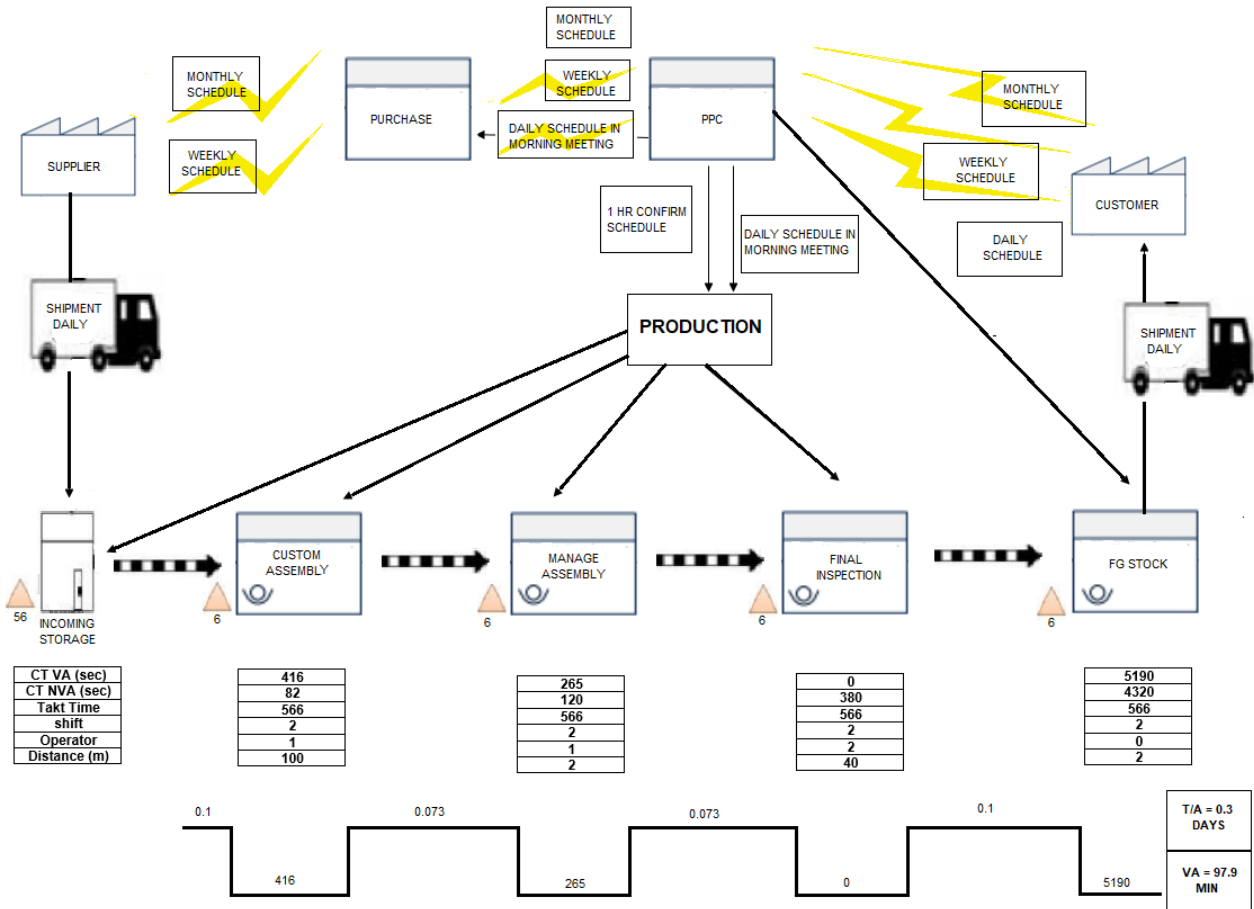
Process Name	Cycle Time (Value Added)	Operator
Cushion Assembly	416	1
Marriage Assembly	265	1
Final Inspection	0	2
FG stock	5190	0

Fuente: VSM: A case study of automotive industry (Sheth, Deshpande & Kardani, 2014).

Para el proceso del Ensamble del Cojín obtuvieron que el tiempo del ciclo era 416 minutos con un solo operador, para el Ensamble Completo el tiempo de ciclo es de 265 minutos para un solo operador, en la inspección final el tiempo ciclo añadido es 0 minutos, se entiende entonces que no se realiza a pesar de que el proceso está a cargo de 2 operadores y, por último, en el proceso de los inventarios en tiempo del ciclo es 5190 minutos y nadie se encuentra a cargo.

Teniendo en cuenta los datos anteriores y la demanda del cliente (1778 unidades), el VSM actual se realiza de la siguiente manera: (ver Figura 5). Cálculo del Takt Time: T/D , mapeo del flujo del proceso, mapeo del flujo del material, mapeo del flujo de la información y por último el dibujo de la línea de tiempo

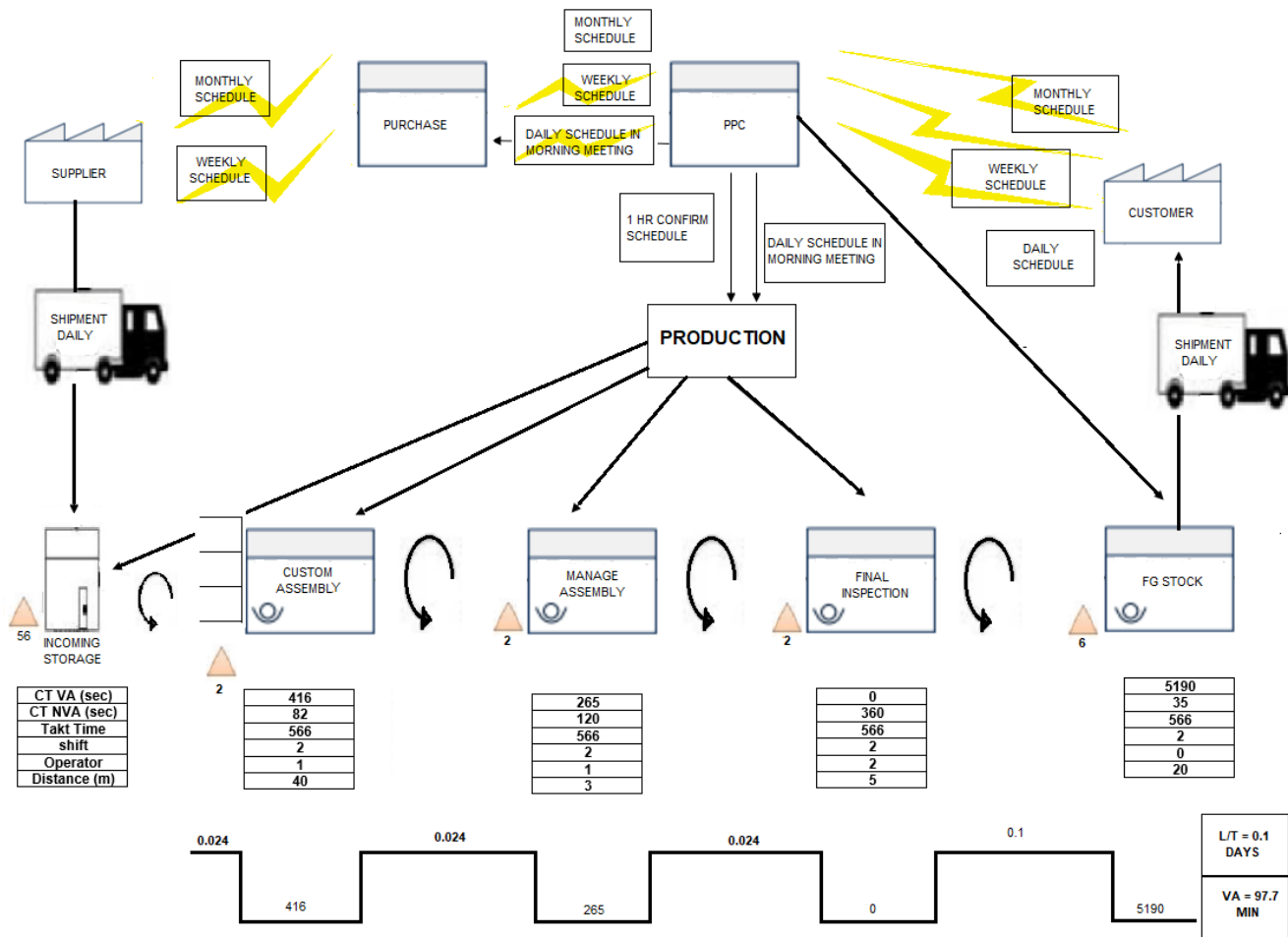
Figura 5. Mapa del flujo de valor actual



Fuente: VSM: A case study of automotive industry (Sheth, Deshpande & Kardani, 2014).

Analizando el mapa de estado actual, el tiempo de entrega y la cantidad del inventario es más alto entre los procesos. Por tal motivo proponen la utilización de supermercados entre los procesos para reducir el desperdicio de inventario de los componentes y la compilación de stock y, lograr realizarlo por encargo (ver Figura 6).

Figura 6. Mapa del flujo de valor futuro



Fuente: VSM: A case study of automotive industry (Sheth, Deshpande & Kardani, 2014).

Analizando el mapa del estado futuro se puede observar que la implementación del supermercado y el trabajo por medio de la estrategia Pull (tirar) permitió que redujera la cantidad de inventario entre los procesos.

Después de analizar los mapas de flujo de valor actual y futuro, y de aplicar la propuesta de mejora, que consiste en la utilización de supermercados en los puestos de trabajo se obtiene lo siguiente:

Tabla 7. Estado actual y futuro del VSM aplicado

Variable	Before	After	Improvement
Lead Time	0.3	0.1	66.7%
C/T NVA(sec)	802	597	25.6%
Distance(m)	145	68	53.1%

Fuente: VSM: A case study of automotive industry (Sheth, Deshpande & Kardani, 2014).

La cantidad de inventario disminuye, la distancia recorrida entre cada uno de los procesos también disminuye en un 53.1%, logrando así que el tiempo del ciclo disminuya en 0,1 día y el tiempo muerto en un 25.6%, logrando así que la efectividad de la producción aumentara en un 66.7%.

4.4 Caso # 4: Aplicación de la herramienta VSM en CAPARO LIMITED.

CAPARO LIMITED aplico VSM en el proceso de fabricación del piso de los vehículos, siendo este su familia de productos que agregan valor siendo la parte más crítica desde el punto de vista de la seguridad del cliente.

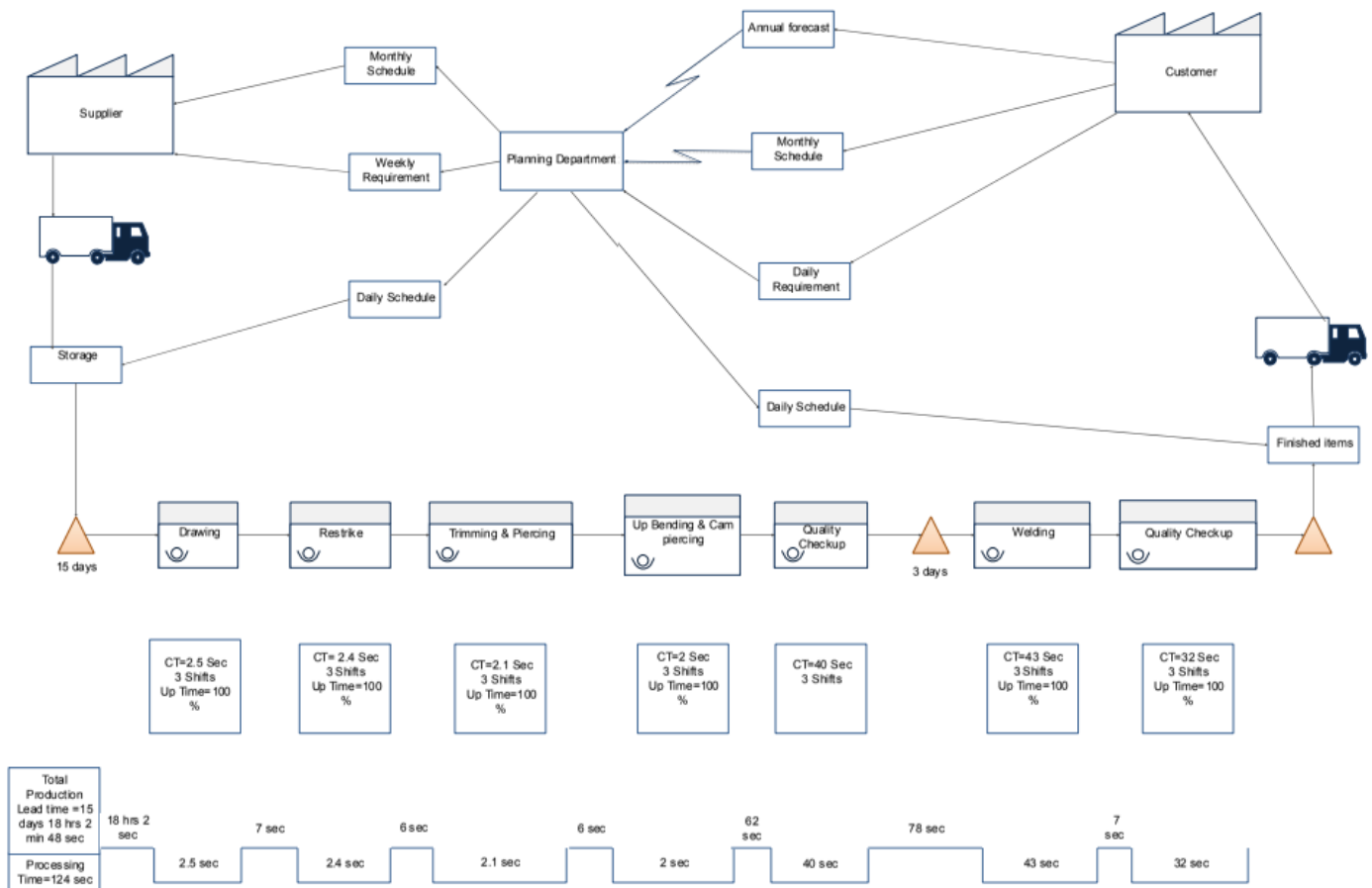
A continuación, se presentan los datos e información requerida para la elaboración del mapa del estado actual de este proceso: (ver Figura 7 y 8).

Figura 7. Datos del proceso de fabricación del piso de vehículos.

$$\begin{aligned}
 \text{Takt Time} &= \text{Available time} / \text{customer demand} \\
 &= 27 * 1320 * 60 / 50000 \\
 &= 42.7 \text{ sec.} \\
 \text{Number of shifts per day} &= 3, \\
 \text{Number of working days} &= 27 \\
 \text{Net working time per day} &= 1320 \text{ min.} \\
 \text{Demand for month} &= 50000 \\
 \text{Cycle time} &= 43 \text{ sec} \\
 \text{Lead time} &= 8 \text{ sec} \\
 \text{Production per day} &= 1320 * 60 / (43 + 8) = 1550 \text{ parts per day}
 \end{aligned}$$

Fuente: An Application of VSM In Automotive Industry: A Case Study (Belokar, Kumar & Kharb, 2012)

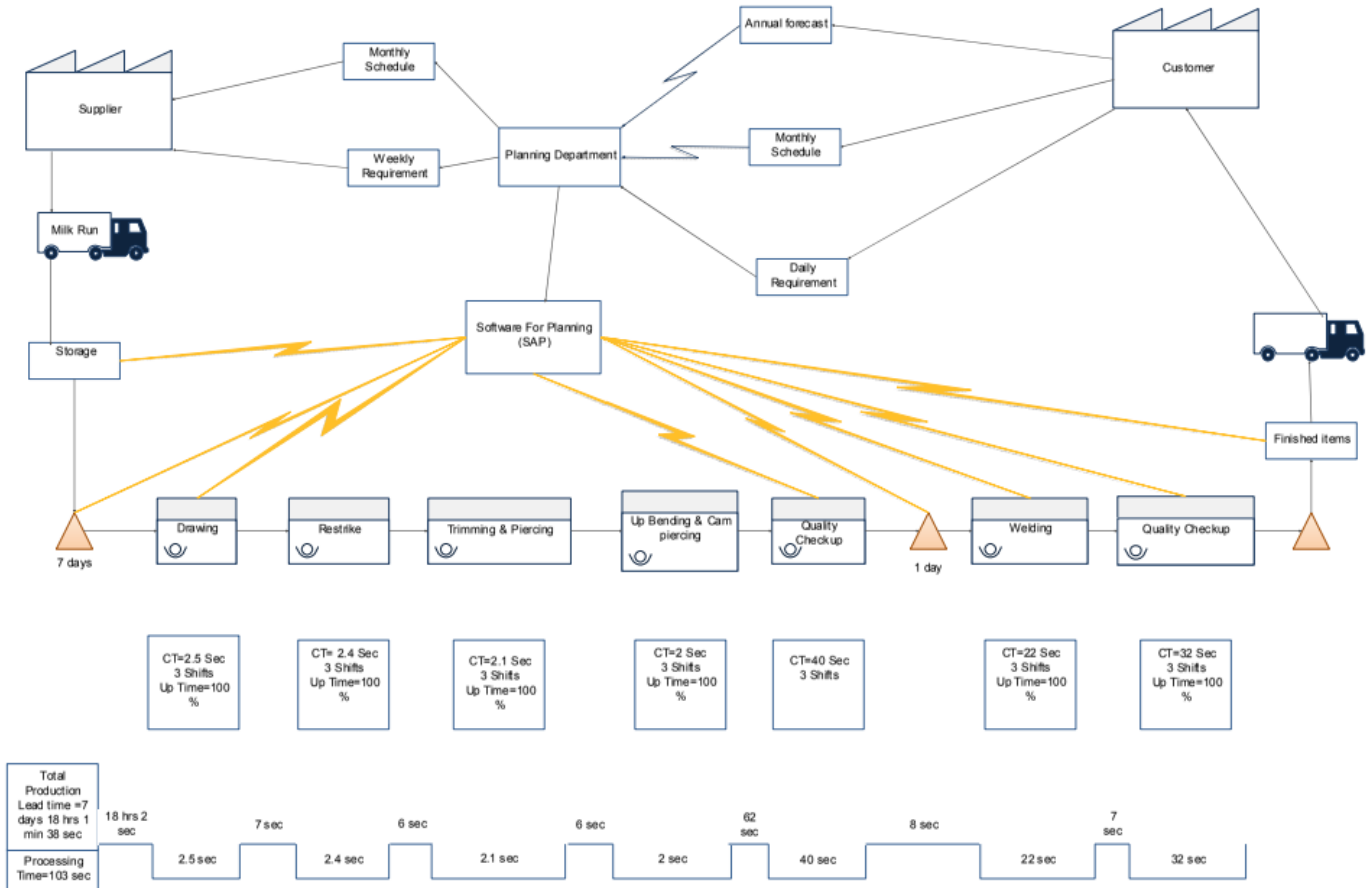
Figura 8. Mapa del flujo de valor actual



Fuente: An Application of VSM In Automotive Industry: A Case Study (Belokar, Kumar & Kharb, 2012)

Analizando el tiempo del ciclo del proceso de soldadura se observa que este excede el tiempo en comparación con el Takt time, por lo tanto, en este caso se propuso la adquisición de una nueva máquina de soldadura para mejorar la capacidad del proceso y satisfacer la demanda del cliente. (Ver Figura 9).

Figura 9. Mapa del flujo de valor futuro



Fuente: An Application of VSM In Automotive Industry: A Case Study (Belokar, Kumar & Kharb, 2012)

Con la nueva máquina de soldar, la mejora del diseño de operación de la planta y la implementación de un sistema para el control de inventarios, el proceso operativo ha logrado aumentar su efectividad en un 67%.

Para el caso de aplicación # 3, se presentaron 3 mejoras; la adquisición de una nueva máquina de soldadura, la implementación de un Software para el control de inventarios y el rediseño de la planta para disminuir tiempos y movimientos e innecesarios.

Los resultados obtenidos fueron positivos; el tiempo de ciclo de la nueva máquina de soldadura es de 22 segundos, esto permitió un aumento en la producción por día, es decir las unidades de fabricadas aumentaron en un total de 2600 unidades mejorando la productividad en un 67% (Belokar, Kumar & Kharb, 2012).

4.5 Caso 5: Aplicación de la herramienta SMED en la Ingeniería Mecánica de automóviles.

En el departamento de Ingeniería Mecánica del PSG College of Technology de Indica, se estudia y analizan como las herramientas del LM (5's, TPM, SMED y Six Sigma, VSM) pueden mejorar las empresas teniendo en cuenta la globalización de las industrias.

Mediante la aplicación del SMED en diferentes partes del proceso productivo de radiadores para vehículos se pudo identificar la reducción de tiempo presentes en el proceso.

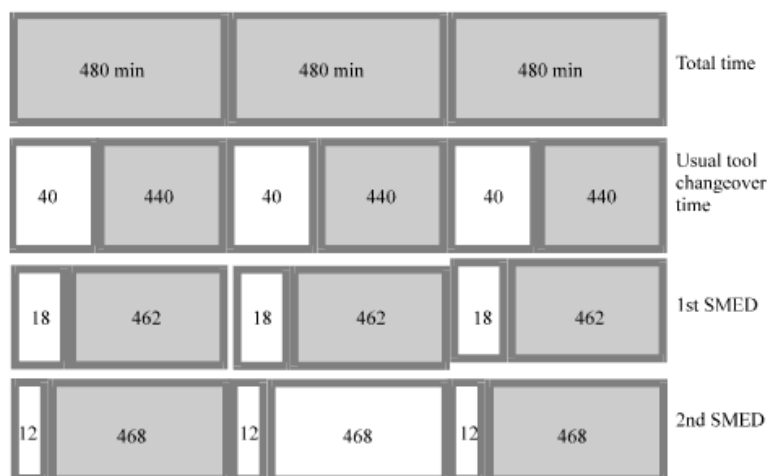
Tabla 8. Datos SMED

Process	Working time for 1 shift	Working time for 3 shifts (min)	No. of pieces produced per shift	No. of pieces produced in 3 shifts	No. of defects in 3 shift	Total no of pieces produced in 3 shifts
Normal Process	440	1320	30800	92400	200	92200
SMED 1	462	1386	32340	97020	200	96820
SMED 2	468	1404	32760	98280	200	98080

Fuente: Implementation of Lean Tools and Techniques in an Automotive Industry (Kumar & Abuthakeer, 2012)

Como resultado el tiempo se logra disminuir de 2.07 a 1.17 min, también se eliminó el tiempo de búsqueda de dados para la máquina de corte logrando así disminuir de 2.13 a 1.17 min. Con la implementación del SMED en el proceso en general se logró una gran reducción de tiempos en el tiempo de cambio de herramienta ya que antes de la aplicación el proceso tardaba 40 minutos en su realización y después de aplicar por primera vez el SMED se logra reducir a 18 minutos, después de lograr el tiempo de 18 minutos se decide aplicar de nuevo esta herramienta logrando así pasar de 18 minutos a 12 minutos. Permitiendo así lograr una mayor producción debido a que los tiempos que se reducen son tiempos usados para producir. (Ver Figura 10).

Figura 10. SMED después de la implementación.



Fuente: Implementation of Lean Tools and Techniques in an Automotive Industry (Kumar & Abuthakeer, 2012)

Con la implementación de esta herramienta y la reducción de tiempos se logra cumplir rápidamente con la demanda de los clientes, aumenta la motivación de los trabajadores y su seguridad y el sistema de operación que se realiza en el proceso. Se aclara que para lograr estos resultados es necesario el trabajo en equipo por parte del personal del taller y la gerencia.

4.6 Caso de estudio – Investigación en Malasia

Malasia es un país del continente asiático que cuenta con 329.847 km² y 27.000.000 de habitantes, cuenta con sectores muy productivos como la industria automotriz, electrónica y la construcción. En el sudeste asiático estas empresas generan más de 500 millones de vehículos, que hacen parte del 4% del PIB.

En Malasia las Pymes están conformadas con 5 a 150 empleados trabajando a tiempo completo. Para que estas empresas involucradas en la fabricación de componentes automotrices estén a la vanguardia de los fabricantes extranjeros de automóviles, estas deben implementar y practicar sistemas como el Lean Manufacturing que les permitan nivelar su producción, y nivel de calidad en sus procesos, para lograr excelencia en la fabricación y ser más competitivos (Rose, Deros

& Rahman, 2013).

Objetivos de la investigación:

- Investigar el nivel de comprensión que las Pyme tienen de las prácticas de LM.
- Conocer el alcance de la implementación de LM en sus organizaciones.

Metodología de la investigación:

La investigación se realiza mediante 70 cuestionarios realizados en empresas del sector automotriz. El cuestionario se divide en cinco partes, cada una relacionada a un área de interés, estas son:

- Antecedentes de los encuestados.
- Percepción, y nivel de práctica.
- Como se implementaron las prácticas de LM en sus organizaciones.
- De donde adquieren la información para dicha implementación.
- Se pregunta, con base en la experiencia real, los beneficios de la implementación de LM en sus organizaciones.

Análisis de resultados para el caso de investigación:

Tabla 9. SME Profiles

Descriptive		Freq.	%
Type of ownership	Malaysian	28	80.0
	Foreign	4	11.4
	Joint venture	3	8.6
Type of products	Metal	11	31.4
	Plastics	12	34.3
	Electronics	1	2.9
	Rubber	4	11.4
	Mechanical	2	5.7
	Others	5	14.3
No. of years established	< 5	5	14.3
	5 – 10 years	10	28.6
	>10 and <15	8	22.9
	> 15	12	34.3
No. of years implement lean (years)	< 3	21	60.0
	>3 and < 5	11	31.4
	> 5	3	8.6

Fuente: Lean manufacturing perceptions and actual practice among malaysian in automotive industry (Rose, Deros & Rahman, 2013).

Se detalla la ficha de las 70 encuestas realizadas a las empresas del sector automotriz. Se puede apreciar que el 80% de la muestra se realizó a empresas de Malasia. En el tipo de producto lo más representativos fueron el metal y plástico con 31.4% y 34.3 % respectivamente. En el tiempo de la implementación de Lean manufacturing, se puede evidenciar que el 60% de las empresas llevan menos de 3 años con la implementación, y solo el 8.6% tienen más de 5 años con el sistema implementado.

Tabla 10. Percepción vs practica de LM

LM practice	Perceived		Practiced	
	Mean	Rank	Mean	Rank
5S	4.800	1	3.943	1
Continuous improvement (Kaizen)	4.714	2	3.914	2
Reduce machine set up time	4.714	3	3.686	7
Standardisation of operation	4.600	4	3.886	3
Improvement team activities	4.543	5	3.657	8
Plan Do Check Action (PDCA)	4.543	6	3.857	4
Visual control – Display charts	4.514	7	3.686	5
Preventive maintenance program	4.486	8	3.486	10
Kanban	4.429	9	3.029	14
Multifunction/multiskilling employees	4.400	10	3.686	6
Quality circle	4.400	11	3.400	12
Statistical process control (SPC)	4.371	12	3.457	11
Value stream mapping (VSM)	4.343	13	3.600	9
TAKT time	4.314	14	3.286	13

Fuente: Lean manufacturing perceptions and actual practice among malaysian in automotive industry (Rose, Deros & Rahman, 2013).

Se analizaron y compararon 14 prácticas de Lean Manufacturing de acuerdo a la percepción y practica de los encuestados. Las 3 herramientas que cuentan con mejor percepción de parte de los encuestados son las 5S, mejora continua y tiempo reducido de configuración de la máquina, sin embargo, en la práctica sólo las 2 primeras tienen una buena calificación en la práctica, ya que el tiempo reducido de configuración de la máquina en la práctica se califica en el puesto séptimo.

Los resultados apuntan a que las empresas se inclinan por las herramientas que le brindan una oportunidad en la reducción de costos, y que además se prestan para implementar con más agilidad y rapidez en la práctica. También se evidencia que herramientas como Kanban, el Takt time, VSM, Statistical process control, terminan en las últimas posiciones tanto en la percepción como en la práctica. Los autores atribuyen estos resultados al hecho de que como son Pymes, la cantidad de empleados son bajas, estos administradores prefieren no arriesgarse en procesos más complejos o robustos para su administración y control.

5. CONCLUSIÓN

En general, LM más que una regla de implementación para la mejora de un proceso es una filosofía direccionada hacia el cambio y mejora continua, es una herramienta que nos permite centrarnos en realizar actividades que agreguen valor en los procesos operativos, eliminando cualquier tipo de desperdicios (costos, procesos, personal, tiempo y espacio) que no generen valor al producto final.

Estos desperdicios se presentan frecuentemente en las empresas de diferentes lugares y diferentes líneas de negocio, por lo tanto, la implementación adecuada de cada estrategia del LM permitirá encontrar diversas soluciones basadas en sus herramientas para la disminución o eliminación de dichos problemas. Se debe tener en cuenta que LM no solo depende de la implementación sino también de la adaptación de la metodología, es decir, se requiere del compromiso de todos aquellos colaboradores de la empresa, desde la alta gerencia hasta los empleados operativos, ya que LM funciona como una “cultura” donde el compromiso de todos facilitará la obtención de los resultados.

Además, las técnicas de LM no tienen un orden estricto de aplicación, para ello existen algunas recomendaciones de orden de aplicación, pero en función de su objetivo, cada una tiene la manera de adecuarse a otra ya implementada. Estas

bien definidas representan bajos costos en su implementación y la mejora en el proceso será contundente.

El LM puede ser aplicado en las empresas por diversos motivos, uno de ellos a causa de una crisis donde requieran de una reducción de costos, o se aplique por iniciativa como proyecto de mejora continua para los procesos operativos de la empresa. Cabe aclarar que la implementación de LM requiere de una inversión de capital y tiempo debido al cambio en la forma de trabajo que se pueda generar, por esta razón hay ocasiones donde esta metodología no es efectiva en su implementación.

Como se mencionó anteriormente, el LM es una cultura que permite a las empresas realizar una reorganización para la mejora de sus procesos. Para lograr esta mejora es de vital importancia tener una comunicación efectiva, fluida y clara para así poder hacer llegar el mensaje a todas las personas que forman parte de la empresa, logrando un trabajo en conjunto donde todos tengan claro el objetivo y los pasos que se deben seguir para lograr llegar a la meta. El LM también debe ser visto como una oportunidad de mejoramiento continuo, por lo cual al momento de lograr la aplicación y puesta en marcha se debe seguir trabajando en ella para lograr mejorar cada vez más los procesos, buscando beneficios para la empresa, los empleados y sobre todo los clientes.

5.1 Conclusión Movilidad Académica – Lean Manufacturing

En las visitas realizadas a las empresas ZEN S.A. e INTELBRAS se logró evidenciar la aplicación del LM como casos de aprendizaje para nosotros. Estas empresas a pesar de ser dos líneas de negocios bastante diferentes lograron la implementación y adaptación del método LM, donde se evidencia la aplicación de diferentes herramientas; por ejemplo, una de ellas son las 5S donde se observaba que todos los puestos de trabajo tenían lo necesario, organizado y limpio, otra herramienta aplicada era el modelo KANBAN donde mediante tarjetas de colores (Rojo, amarillo y verde) lograban controlar su producción, el TPM y el LAYOUT también fueron bastantes enfatizadas en ambas empresas.

Para la adaptación de la metodología, nos explicaban que todas las herramientas del LM se le dieron a conocer a los empleados mediante capacitaciones de LM, y la presencia de tableros o “puntos de información” ubicados en cada línea de trabajo donde se retroalimenta toda la información acerca del plan de producción, la productividad con su respectiva meta, los costos de la planta, indicadores de accidentalidad, OEE y demás, recordando a los empleados la cultura Lean para el cumplimiento de objetivos.

Ambas empresas separan sus áreas de trabajo por medio de células para mantener y mejorar cada vez más los indicadores de productividad, para ello realizan constantes auditorías internas donde analizan los resultados y determinan que herramientas o requisitos se están cumpliendo y cuáles no, con el fin de tener un mejoramiento continuo en sus procesos.

En conclusión, el curso ha sido de gran interés con referencia al tema de la Metodología Lean Manufacturing. Gracias a los temas vistos y prácticas que se han realizado durante el curso, además de los casos de estudio, ejercicios desarrollados y visitas académicas, nos han ayudado a fomentar una base más amplia y clara acerca de esta metodología.

6. REFERENCIAS

- Picalua, L. M. L., Martínez, C. I. C., Payares, D. A. L., Lambraño, D., Bayuelo, D. M. S., & Patiño, S. J. Value Stream Mapping, herramienta para identificar desperdicios en un proceso. Value Stream Mapping, tool to identify waste in a process.
- Garay, J. A. D., Cicedo, P. F., & Cadavid, L. R. (2009). Aplicación de herramientas de pensamiento sistémico para el aprendizaje de Lean Manufacturing. *Sistemas & Telemática*, 7(14), 109-144.
- Sánchez, T., Palacios, A., & Prida, B. (2008, September). Conocimiento, aplicación y resultados de las técnicas de Lean manufacturing en las empresas españolas. In *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp. 1027-1036).
- Padilla, L. (2010). Lean manufacturing manufactura esbelta/ágil. *Revista Electrónica Ingeniería Primero ISSN*, 2076, 3166.
- Santos, Z. G., Vieira, L., & Balbinotti, G. (2015). Lean Manufacturing and ergonomic working conditions in the automotive industry. *Procedia manufacturing*, 3, 5947-5954.
- Kumar, B. S., & Abuthakeer, S. S. (2012). Implementation of lean tools and techniques in an automotive industry. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, 12(10), 1032-3037.
- Correa, F. G. (2007). Manufactura esbelta (lean manufacturing). Principales herramientas. *Revista Raites*, 1(2), 85-112.
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical engineering research and design*, 83(6), 662-673.
- Cuatrecasas Arbós, L., & Olivella Nadal, J. (2005, September). Metodología para la implantación del lean management en una empresa industrial independiente y de tamaño medio. In *XIX Congreso Nacional de ACEDE* (pp. 1-28).
- Martínez, A., & Pérez, M. (2001). Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(11), 1433-1452.
- Hernández, J. y Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: EOI Escuela de Organización Industrial.
- Ohno, T., (1988), *Toyota Production System*, Productivity Press, Portland, OR.
- Mintzberg, H. (1980). Estructura en 5: una síntesis de la investigación sobre el diseño de la organización. *Ciencias de la gestión*, 26 (3), 322-341.
- Ferrari, D. (2018). *Manufatura Enxuta Como Estratégia de Produção: a Chave para a Produção*. São Paulo: Gen Atlas.
- Cunha, O. M. C. (2012). *Implementação da metodologia 5S e análise de Tempos e Métodos numa linha de montagem de carroçarias* (Master's thesis).
- Peinado, J. (2000). *Implantação do kanban como base de um programa Just in Time: Uma proposta de metodologia para empresas industriais*.
- Monden, Y. (2015). *Sistema de producción de Toyota: un enfoque integrado justo a tiempo*. Bookman Publisher.
- López, G. (2001). *Metodología six-sigma: calidad industrial*. Artículo consultado en EBSCO, Baja California, México, Investigador del instituto de Ingeniería, UABC.
- Tapia Coronado, J., Escobedo Portillo, T., Barrón López, E., Martínez Moreno, G., & Estebané Ortega, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia & trabajo*, 19(60), 171-178.
- Miyake, D. I., Junior, A. S. T., & Favaro, C. (2010). Supply chain mapping initiatives in the Brazilian automotive industry: challenges and opportunities. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 3(1), 78-97.

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Campilho, R. D. S. G. (2017). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 13, 1034-1042.

Zhuravskaya, O., Michajlec, M., & Mach, P. (2011, May). Success case-study Lean production in electronics manufacturing workshop. In *Proceedings of the 2011 34th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)* (pp. 234-240). IEEE.

Sheth, P. P., Deshpande, V. A., & Kardani, H. R. (2014). Value stream mapping: A case study of automotive industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(1), 310-314.

Aguirre Alvarez, Y. A. (2014). Análisis de las herramientas Lean Manufacturing para la eliminación de desperdicios en las Pymes (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

Belokar, R. M., Kumar, V., & Kharb, S. S. (2012). An application of value stream mapping in automotive industry: a case study. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 1(2), 152-157.

Kumar, B. S., & Abuthakeer, S. S. (2012). Implementation of lean tools and techniques in an automotive industry. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, 12(10), 1032-3037.

Rose, A. N. M., Deros, B. M., & Ab Rahman, M. N. (2013). Lean manufacturing perceptions and actual practice among malaysian sme's in automotive industry. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 7, 820.