

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**MARCO TEÓRICO PARA DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE  
MEJORA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE POSTES Y VIGAS EN  
UNA EMPRESA METALMECÁNICA EMPLEANDO HERRAMIENTAS  
DE LEAN MANUFACTURING**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de BACHILLER EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**AUTOR**

Nathalie Alexandra Bruno Toledo

**ASESOR:**

Mery Roxana León Perfecto

Lima, Noviembre, 2020

## Resumen

Hoy en día, la metodología Lean Manufacturing es una de las más conocidas en el rubro industrial, principalmente por su búsqueda constante de eliminar desperdicios y por sus antecedentes, de ser la metodología aplicada por Toyota. Esta metodología contiene variedad de métodos a aplicar (cuyos conceptos son presentados en el primer capítulo), cada cual con un objetivo específico diferente, algunos de estos métodos son: VSM, 5S, SMED, TPM, Kanban, entre otros. En ocasiones se piensa que Lean solo es aplicable a empresas grandes y constituidas, sin embargo, en el presente trabajo de investigación se busca verificar, detallar y analizar la aplicación de las herramientas Lean Manufacturing en distintas empresas manufactureras, de diversos tamaños y rubros. La mayoría de empresas aquí presentadas son de Latinoamérica, de un tamaño mediano que desarrollaron por primera vez una metodología Lean; por lo general estas fueron aplicadas en un área específica, con el compromiso de ir expandiendo la aplicación en todas las áreas de la empresa. Los métodos más aplicados fueron el VSM, 5S y SMED. Sin duda la implementación realizada en cada uno de los casos, no hubiera sido posible sin el apoyo de la gerencia para la capacitación de los operarios en la metodología que se iban a implementar, con lo cual se obtuvo resultados que reflejaban mejorías en los tiempos de operación, un ambiente de trabajo más amigable y una mejora en la calidad del producto final.

## Tabla de contenidos

Índice de tablas .....	v
Índice de figuras.....	vi
Capítulo 1. Marco Teórico.....	1
1.1.    Herramientas de diagnóstico de procesos .....	1
1.1.1.    Diagrama de Pareto.....	1
1.1.2.    Diagrama de causa y efecto.....	3
1.1.3.    VSM.....	4
1.1.4.    DOP .....	6
1.1.5.    DAP .....	7
1.1.6.    Diagrama de recorrido .....	8
1.2.    Modelo de mejora de procesos aplicables al caso.....	9
1.2.1.    5S.....	10
1.2.2.    Kanban.....	12
1.2.3.    TPM .....	14
1.2.4.    Jidoka .....	18
1.2.5.    Poka-yoke .....	19
1.2.6.    Control visual.....	20
1.2.7.    SMED .....	21
Capítulo 2. Contenido de la investigación .....	23
2.1.    Mejora del proceso operacional utilizando VSM en una industria metal mecánica .....	23
2.1.1.    Situación actual.....	23
2.1.2.    Metodología .....	24
2.2.    Aplicación de 5S y TPM en una empresa metalmecánica en Colombia .....	27
2.2.1.    Antecedentes .....	27
2.2.2.    Aplicación de la metodología.....	27
2.2.3.    Consideraciones finales.....	30

2.3.	Implementación de 5s en la producción de puertas de madera .....	30
2.3.1.	Recolección de datos.....	30
2.3.2.	Implementación de 5S.....	31
2.4.	Aplicación de herramientas de Lean Manufacturing en la producción de puertas enrollables .....	32
2.4.1.	Situación actual y problemática .....	33
2.4.2.	Metodología .....	33
2.5.	Aplicación del sistema Lean en la fabricación de bobinas de aire acondicionado .....	35
2.5.1.	Descripción de la empresa .....	35
2.5.2.	Proceso productivo.....	36
2.5.3.	Implementación.....	36
2.6.	Aplicación de SMED en una empresa de artículos de plástico .....	37
2.6.1.	Metodología a usar.....	38
2.7.	Implementación de SMED y poka-yoke en la producción de filtros de aire.....	40
2.7.1.	Situación actual .....	40
2.7.2.	Objetivos.....	41
2.7.3.	Metodología .....	41
2.8.	Inconvenientes del poka-yoke en la industria electrónica - automotriz .....	42
2.8.1.	Revisión de los casos .....	42
2.9.	Implementación de poka-yoke en la industria automotriz .....	44
2.9.1.	Principal problema .....	44
2.9.2.	Implementación.....	44
2.9.3.	Pruebas realizadas .....	45
2.10.	Revisión de la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en algunas empresas colombianas .....	45
2.10.1.	Antecedentes .....	45
2.10.2.	Metodología .....	46
Capítulo 3. Análisis de la investigación.....		48
3.1.	Sector .....	48

3.2. Origen .....	48
3.3. Estado .....	48
3.4. Herramientas aplicadas .....	49
3.4.1. VSM.....	49
3.4.2. 5S .....	50
3.4.3. TPM .....	50
3.4.4. Poka-yoke .....	51
3.4.5. SMED .....	52
Conclusiones .....	53
Bibliografía .....	55



## Índice de tablas

Tabla 1 Análisis de datos – Diagrama de Pareto .....	2
Tabla 2 Simbología del diagrama de análisis de proceso .....	7
Tabla 3 Kanban de componentes .....	26
Tabla 4 Desperdicios y herramientas .....	34
Tabla 5 Herramientas Lean .....	47



## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de Pareto .....	2
Figura 2. Diagrama de causa y efecto .....	4
Figura 3. Mapa de flujo de valor.....	5
Figura 4. Diagrama de operaciones del proceso .....	6
Figura 5. Diagrama de análisis de proceso .....	8
Figura 6. Diagrama de recorrido.....	9
Figura 7. Kanban de transporte.....	13
Figura 8. Uso de contenedores.....	14
Figura 9. Cálculo del OEE .....	17
Figura 10. Poka-yoke.....	20
Figura 11. Ejes de la estación de ensamble.....	44

## Capítulo 1. Marco Teórico

En este capítulo, se describirán los principios teóricos básicos relacionados a la investigación realizada, para un mejor entendimiento de las herramientas y metodologías que abarcan los casos de estudio posteriormente presentados.

### 1.1. Herramientas de diagnóstico de procesos

A continuación se presentan herramientas aplicables al caso con las cuales obtener información propia de los procesos y precisar las variables que intervienen.

#### 1.1.1. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, o también conocido como el diagrama ABC, es una gráfica de barras verticales, las cuales buscan simbolizar la importancia de algunas de las causas de una problemática, ante otras, con el fin de determinar a cuál de todas se le debe conceder prioridad. Ante cualquier tipo de problemática pueden hallarse una gran variedad de causas que la originan, entre ellas no todas son lo suficientemente relevantes, pues según el análisis de Vilfredo Pareto el 80% de las causas son de poca importancia y solo el 20% restante es importante, de ahí nace el principio de 80-20. Incluso cuando se busca dar solución a una problemática no se puede atacar todas las causas a la vez, debido principalmente a factores como el tiempo y el dinero, por ello el uso de este diagrama es bastante beneficioso cuando se tiene varias causas o fenómenos que ocasionen una problemática. Según D'Alessio (2002) para la elaboración del diagrama lo primero a realizar será hacer una lista de los distintos fenómenos que se quiera investigar, luego de ello se deberá hacer una recolección de datos en la que se identifique el número de ocurrencias que tienen dichos fenómenos en un determinado tiempo. Cuando ya se haya tomado una cantidad suficiente de datos se pasará a realizar un cuadro como el siguiente:

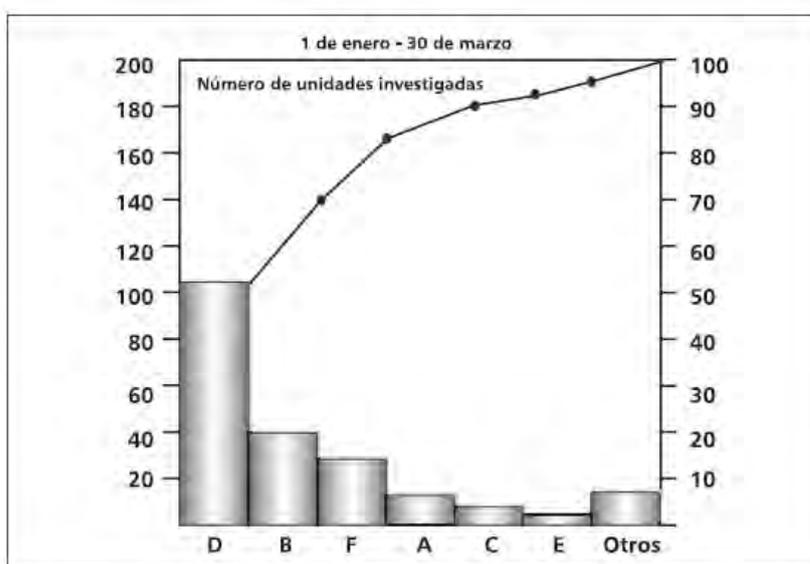
Tabla 1

*Análisis de datos – Diagrama de Pareto*

TIPO DE DEFECTO	NÚMERO DE DEFECTOS	TOTAL ACUMULADO	COMPOSICIÓN PORCENTUAL	PORCENTAJE ACUMULADO
Tensión D	104	104	52	52
Rayado B	42	146	21	73
Burbuja F	20	166	10	83
Fractura A	10	176	5	88
Mancha C	6	182	3	91
Rajadura E	4	186	2	93
Otros	14	200	7	100
Total	200	---	100	---

*Nota.* Tomado de “Administración y dirección de la producción: Enfoque estratégico y de calidad”, por D'Alessio, 2002.

Como se puede notar en este caso, el autor identificó el número de defectos de un producto, en la tabla se presentan los tipos de defectos ordenados de mayor a menor según la cantidad de veces que se dio cada fenómeno, de igual forma se presenta el total acumulado y el porcentaje acumulado de cada defecto.



*Figura 1.* Diagrama de Pareto

*Tomado de “Administración y dirección de la producción: Enfoque estratégico y de calidad”, por D'Alessio, 2002.*

Con la información obtenida de la tabla 1 finalmente se logra elaborar el diagrama de Pareto, puesto a que las barras verticales representan el total acumulado de observaciones de cada fenómeno, además de ello a la derecha del diagrama se deberá presentar un eje que muestre el porcentaje acumulado al cual hace referencia la curva acumulada, ambos permiten el fácil reconocimiento de los fenómenos que abarcan el 80% de los fenómenos que se buscan atacar.

### 1.1.2. Diagrama de causa y efecto

Una de las herramientas más usadas en el diagnóstico de procesos, busca relacionar uno de los principales problemas que atraviesa una organización con sus posibles causas para lo cual será necesario hacer uso del pensamiento creativo y conocimiento a detalle del proceso. El diagrama de causa y efecto es también conocido como diagrama de espina de pescado, dado que en lo que sería la cabeza del pescado se coloca el principal problema de desempeño, en las espinas estructurales se colocan las categorías más importantes de las posibles causas planteadas y en las espinas menores que se desligan de las estructurales, se colocan las causas probables específicas. Según Krajewski, Malhotra y Ritzman (2013), su realización consta de identificar todas las posibles causas del problema, las cuales se agrupan en categorías ya sean referentes al personal, máquinas, materiales y procesos. Por ejemplo en la categoría de materiales se puede desligar retrasos en la entrega, material con mala calidad, lotes de entrega muy grandes, etc. Luego se deberá investigar las causas identificadas e ir actualizando, pues con el tiempo se irán evidenciando nuevas causas. Con ello se busca prestar la atención debida a los principales factores que afectan la calidad del producto. A modo de ejemplo Krajewski et al. (2013) presentan el siguiente diagrama de causa y efecto elaborado para reconocer las causas de retrasos en la salida de vuelos.

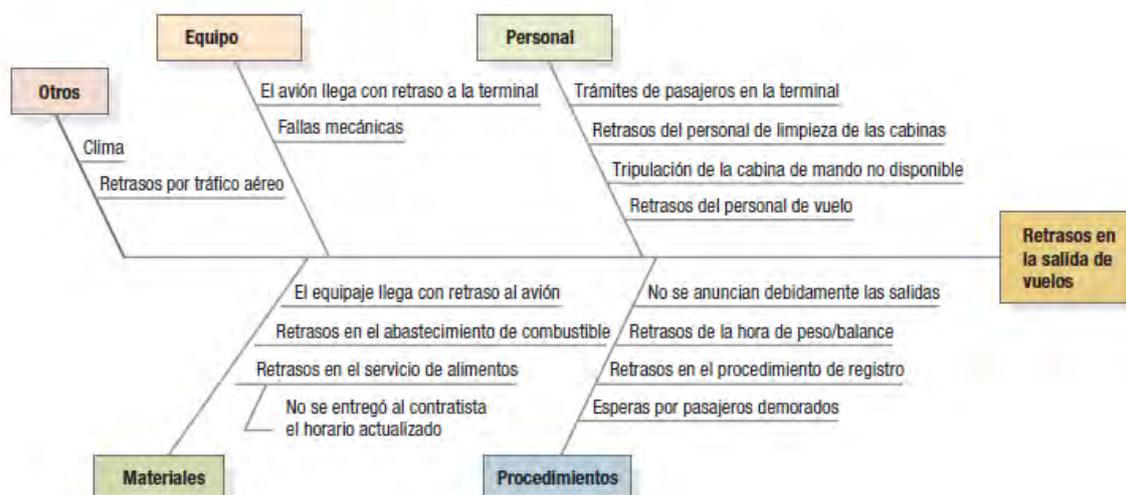
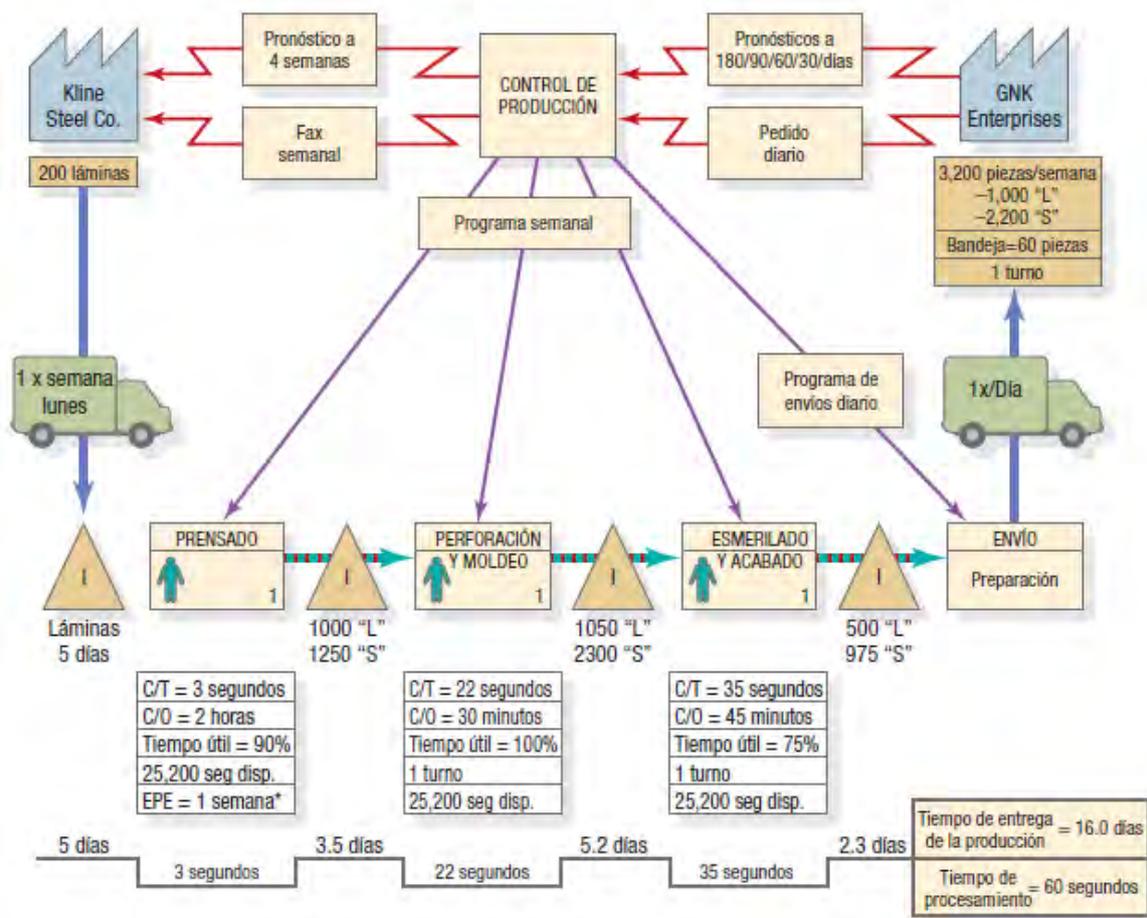


Figura 2. Diagrama de causa y efecto

Tomado de "Administración de operaciones: Procesos y cadena de suministro", por Krajewski et al., 2013.

### 1.1.3. VSM

Un mapa de flujo de valor o *Value Stream Mapping* es usado para eliminar desperdicios y reducir aquellas operaciones que no agregan valor ya que permite visualizar de manera gráfica todo el proceso de producción desde la recepción de la materia prima hasta la entrega del producto terminado y como, a través de ello, circulan materiales e información. Elaborar dicho mapa consta de un diagrama del estado actual, otro del estado futuro y un plan de implementación. Lo primero a realizar sería elegir una familia de productos en la cual se va trabajar, con ello se dibuja un mapa del estado actual del proceso de producción empezando desde el cliente y registrando los tiempos que toma cada proceso. La información que se requiere son datos relacionados con cada proceso, como por ejemplo: tiempos de ciclo (C/T), tiempos de preparación o cambio (C/O), tiempo útil (tiempo de máquinas disponible), tamaño de los lotes de producción, número de operarios en cada proceso, tamaño del lote de producción, tiempo de trabajo y tasa de desperdicio. Incluso se hace uso de íconos para representar el flujo de materiales, operarios e información.



\* EPE = 1 significa todas las partes, todas las semanas.

Figura 3. Mapa de flujo de valor

Tomado de "Administración de operaciones: Procesos y cadena de suministro", por Krajewski et al., 2013.

Luego de realizado el mapa del estado actual se hace uso de principios tales como nivelación de cargas de trabajo, programación *pull/push*, tarjetas *kanban*, entre otras para con ello elaborar un mapa del estado futuro de todo el proceso ya optimizado y eficiente, con lo cual se logra identificar las causas del desperdicio y de qué manera eliminarlo. Como último paso se plantea preparar y hacer uso de un plan de implementación para llegar al estado futuro planteado, dicho plan es una guía para la implementación de un sistema esbelto el cual se va modificando de a poco mientras la implementación va avanzando, y al alcanzar el estado futuro se elabora un nuevo mapa del estado futuro, con lo cual se busca a su vez la mejora continua del proceso.

### 1.1.4. DOP

Según la Oficina Internacional Del Trabajo (1996), el diagrama de operaciones del proceso es una representación gráfica de las actividades incluidas a lo largo del proceso de producción, desde el ingreso del material hasta la obtención del producto final, en las cuales se detalla el orden en que se dan y los materiales que ingresan. El propósito es manifestar claramente la secuencia del proceso y conocer cada actividad de forma sistemática. Entre los tipos de actividades se tiene:

- Operación: modificación en alguna de las características de un objeto
- Inspección: el objeto es examinado para verificar la calidad del mismo
- Actividad combinada: cuando se da más de una actividad a la vez

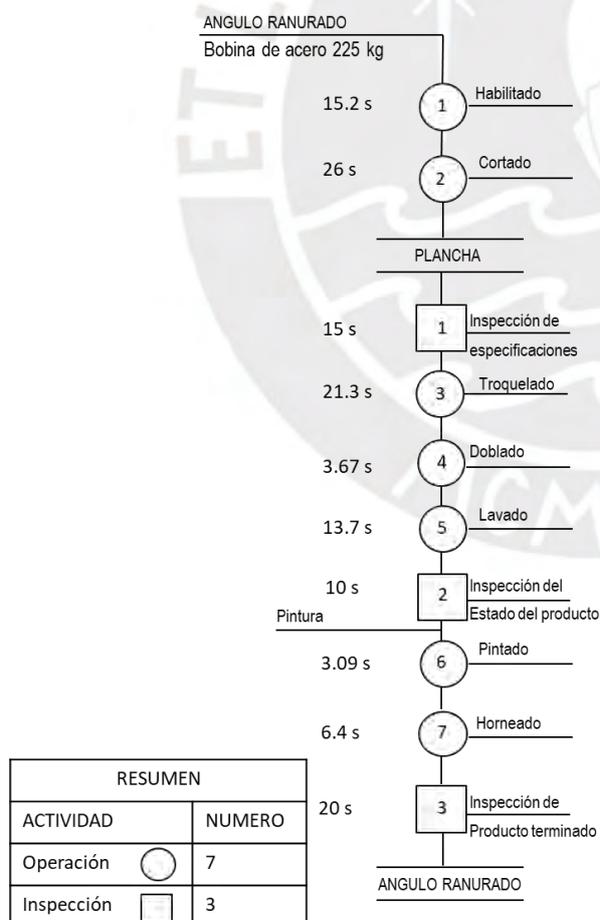


Figura 4. Diagrama de operaciones del proceso

Elaboración propia

### 1.1.5. DAP

Según la Oficina Internacional Del Trabajo (1996), el diagrama de análisis de proceso es una versión más detallada del diagrama de operaciones, por lo que se adicionan las siguientes actividades:

- Demora: tiempo de espera antes de pasar a la siguiente actividad
- Transporte: el objeto es transportado de un lugar a otro sin realizar algún otro cambio
- Almacenaje: la retención del objeto

A continuación se muestra una tabla con la simbología de los tipos de actividades a usar en la realización de un diagrama de análisis de proceso.

Tabla 2

*Simbología del diagrama de análisis de proceso*

Actividad	Simbología
Operación	
Transporte	
Demora	
Almacenaje	
Inspección	
Actividad combinada	

*Nota.* Tomado de “Introducción al estudio del trabajo”, por Oficina Internacional del Trabajo, 1996.

El desarrollo de este diagrama permitirá conocer con mayor detalle el proceso de fabricación, de manera que se pueda analizar cada proceso y reconocer tiempos de retraso,



se tiene el material hasta la obtención del producto final. Es de gran ayuda para identificar aquellas áreas más congestionadas, la existencia de cruces que ocasionen demoras y el flujo en general. Se muestra un ejemplo en la figura 6.

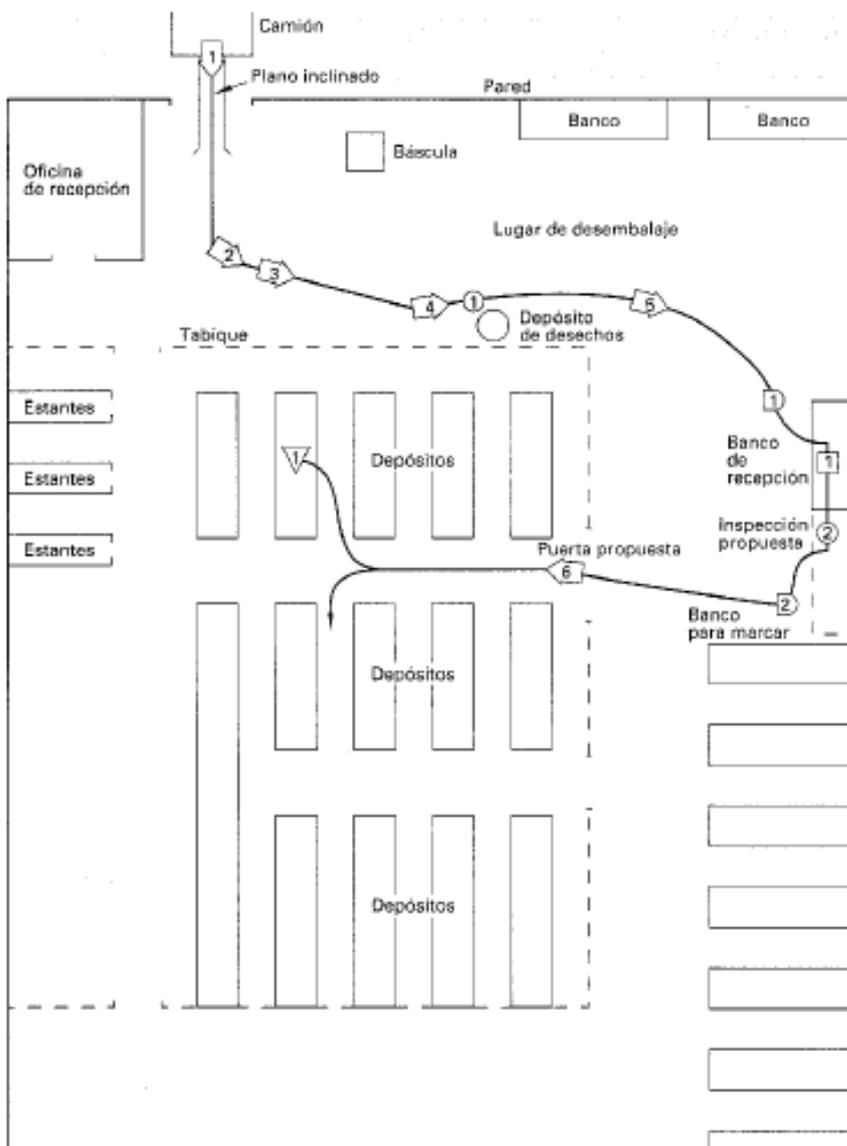


Figura 6. Diagrama de recorrido

Tomado de "Introducción al estudio del trabajo", por Oficina Internacional del Trabajo, 1996.

## 1.2. Modelo de mejora de procesos aplicables al caso

Dado que el informe está basado en la metodología *Lean manufacturing*, se brindará el detalle de modelos concernientes a este. *Lean manufacturing* o manufactura esbelta es el

sistema de producción de Toyota, que busca hacer más con menos recursos, siempre que se entregue al cliente lo que desea.

### 1.2.1. 5S

Metodología enfocada en el orden y la limpieza de las distintas áreas de cualquier tipo de empresa, sin embargo es más aplicada en empresas de producción que en las de servicios.

Entre sus ventajas encontramos:

- Alta simplicidad en su realización.
- Alto impacto en un corto plazo.
- Permitir la visualización y aplicación de nuevas mejoras.
- Facilita la comunicación.
- Incrementa la calidad del producto.
- Brinda mayor seguridad a los colaboradores.

Funciona a través de 5 principios básicos, que vienen a ser los pasos a seguir. Se le denominó 5S debido a cinco palabras escritas en japonés que empiezan con la letra “s”, las cuales son: *Seiri* (eliminar), *seiton* (ordenar), *seiso* (limpieza), *seiketsu* (estandarizar) y *shitsuke* (disciplina). A continuación se detallará el proceso a seguir:

- Eliminar (*Seiri*)

Consiste en observar todos los elementos presentes en el área de trabajo de alguna operación, posteriormente se deben clasificar estos elementos determinando si son realmente necesarios en el proceso, evaluando la finalidad y frecuencia de uso. Con ello se logrará evitar obstaculizaciones, pues se dispondrá de mayor espacio libre que permita identificar y

transportar objetos con mayor facilidad, lo cual generará una mejor realización del proceso además de evitar accidentes.

- Ordenar (*Seiton*)

Ahora que se tiene únicamente los elementos necesarios para cada operación se procede a organizarlos para facilitar la búsqueda y devolución de estos a sus respectivos lugares. Para llevarlo a cabo será necesario delimitar la zona de trabajo de cada operación, designar el lugar donde se van a almacenar los objetos, dando un lugar específico para cada objeto o cada tipo de objetos y se deberá evitar tener objetos del mismo tipo almacenado en diferentes zonas. El principal beneficio obtenido de la organización realizada será la rápida localización de objetos, lo cual hará que el proceso sea más rápido, dado que de manera inconsciente el operario aprenderá la posición que tiene cada elemento, y por consiguiente se tendrá mejoras en la productividad, además de mayor seguridad.

- Limpieza e inspección (*Seiso*)

Este principio busca dar la importancia al hecho de limpiar e inspeccionar el ambiente de trabajo para eliminar los defectos que este traiga consigo, no solo a los productos sino también a los equipos. Según esto, se debe considerar la limpieza como una inspección más del proceso, que debe ser realizada continuamente identificando y eliminando las causas que originan la suciedad. Con lo cual se podrá otorgar mayor vida útil a los equipos y máquinas usadas en el proceso, reducir la frecuencia de reparaciones y mitigar la ocurrencia de accidentes.

- Estandarizar (*Seiketsu*)

Ahora que se ha realizado los 3 pasos anteriores deberá asegurarse el cumplimiento de estos continuamente para lo cual se debe definir un método o la forma en que estos pasos se van a realizar, por ejemplo definir de qué forma se va organizar los elementos, en qué lugar irá

cada cosa, en donde se va realizar la limpieza y en qué momentos se va realizar la inspección. Dado que se está tratando de dejar una base de cómo realizar la metodología, esto deberá quedar registrado de alguna forma, ya sea en un documento, infografía, afiche o en donde mejor se acomode, el fin es no olvidar lo acordado.

- **Disciplina (*Shitsuke*)**

El objetivo de este último paso es volver un hábito a la realización de los anteriores pasos, tomándolo siempre en cuenta como parte de una rutina diaria. Consiste simplemente en acatar lo ya definido anteriormente, aplicando correctamente los estándares definidos para la metodología, teniendo auto disciplina pues cada uno es responsable de su área de trabajo. En ocasiones a manera de control se pueden realizar auditorías que verifiquen el cumplimiento. Aquí juega un papel importante el autocontrol de cada miembro de la organización, por lo cual puede ser uno de los pasos más difíciles si no se cuenta con el apoyo necesario.

### **1.2.2. Kanban**

Consta de un sistema de control y programación sincronizada de la producción haciendo uso de tarjetas denominadas kanban, esta sincronización viene desde los proveedores hasta el montaje final. Las tarjetas son adheridas a contenedores, los cuales almacenan lotes de productos de tamaño estándar, y actúan como una señal para indicar la información necesaria de las órdenes de fabricación tales como el código de la pieza a fabricar, el centro de trabajo del cual procede, lugar de fabricación, la cantidad a producir y el lugar de almacenamiento de los elementos producidos. Se tienen 2 tipos de kanban:

- **Kanban de producción:** aquel que brinda la información de qué y cuánto se debe producir para el siguiente proceso.
- **Kanban de transporte:** aquel que brinda la información de qué y cuanto material se retirará del anterior proceso. En la figura 7 se muestra el formato que tiene un kanban de transporte.

Kanban de transporte		
Código:		
Descripción:		
Automóvil:		
Cap. Caja	Tipo Caja	Kanban N°

De:
A:

Figura 7. Kanban de transporte

Tomado de "Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad", por Rajadell y Sanchez, 2010.

Es aplicada para regular los flujos justo a tiempo mediante un dispositivo de señalización. Es la herramienta ideal para el control de la información y regulación del transporte de materiales. Se usa principalmente para prevenir la sobreproducción, brindar instrucciones específicas y servir como herramienta de control para supervisores de tal manera que puedan reconocer si la producción va de acorde a lo planeado. Y para determinar el número de kanbans se hace uso de la siguiente fórmula. Sin embargo este número resultante podrá ser modificado, será cuestión de ir probando hasta hallar el que mejor se ajuste.

*N° de kanbans*

$$= \frac{(\text{Consumo medio diario} * \text{duración del stock deseado}) + \text{stock en curso}}{\text{Cantidad de piezas en el contenedor}}$$

Para ilustrar mejor el funcionamiento, Rajadell y Sanchez (2010) plantean el siguiente ejemplo: Se tiene dos estaciones de trabajo A y B, entre ellos se tienen 3 recuadros que representan los kanbans, que contienen 4 productos cada uno. El operario A deberá producir 4 unidades para completar cada uno de los contenedores que el operario B deje vacíos, es decir que una vez que el operario B consume un lote de 4 unidades se genera una orden de producción para el operario A. Por el contrario mientras los 3 contenedores se encuentran llenos, la estación de trabajo A se encontrará paralizada. En la figura 8 se hace referencia a lo mencionado.

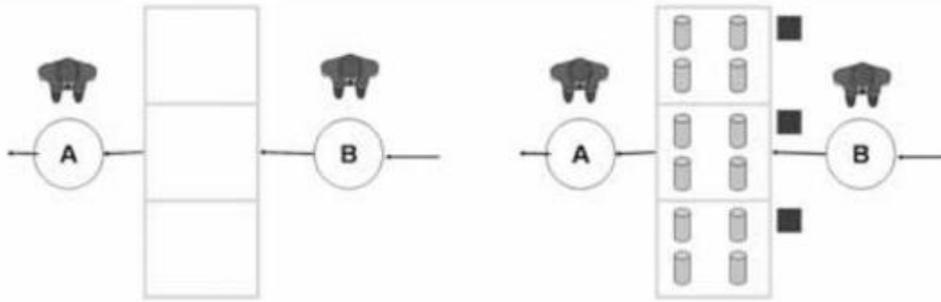


Figura 8. Uso de contenedores

Tomado de “Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad”, por Rajadell et al., 2010.

### 1.2.3. TPM

El mantenimiento productivo total o *total productive maintenance* consiste en asegurar que las máquinas y equipos se encuentren en condiciones óptimas y en la capacidad de producir elementos con la calidad deseada en un tiempo establecido. Para lo cual será necesario involucrar en la implantación del TPM a todas las áreas que intervengan de alguna u otra forma con las maquinarias o equipos, Es importante reconocer que la conservación de los activos de la empresa es responsabilidad de todos. Este sistema de mantenimiento planteado tiene como objetivo maximizar la eficacia de los equipos de la empresa, a través de la disminución del tiempo que se desperdicia debido a reparaciones, preparación u otros ajustes. Lo cual a su vez representaría una mejoría en la fiabilidad de las máquinas, equipos e instalaciones. Para esto es importante reconocer la existencia de los siguientes tipos de mantenimiento, planteados por Rajadell et al. (2010):

- Mantenimiento planificado

Es aquel que se realiza cada determinado tiempo a través de una programación previa acordada por las áreas interesadas. Este mantenimiento realizado por técnicos especialistas busca corregir, prevenir y predecir cualquier desperfecto que se pueda suscitar. Para lo cual también será imprescindible llevar un registro de los mantenimientos realizados desde la

adquisición del equipo hasta la actualidad, con lo cual se pueda identificar el estado del equipo, cuantas reparaciones ha tenido y de qué tipo.

- Mantenimiento preventivo

Paradas programadas para inspeccionar detalladamente y sustituir piezas desgastadas, además esta inspección puede causar desajustes en el proceso que a su vez puede paralizar la producción por un periodo prolongado. A diferencia del tipo de mantenimiento presentado anteriormente, en este no se tiene un intervalo fijo de las paradas a realizar por mantenimiento sino que son de acuerdo a un análisis de rendimiento de la máquina.

- Mantenimiento predictivo

Consiste en la detección y diagnóstico de desperfectos antes de que se produzcan, pues como sabemos las averías no se dan de golpe sino que antes de ello muestran síntomas que indican la existencia de un problema. Es usado mayormente cuando las reparaciones son bastante costosas o representan una pérdida grande en caso de no ser atendida a tiempo, por lo cual convendría pasar del mantenimiento periódico al predictivo.

Rajadell et al. (2010) mencionan que el TPM se basa en 2 pilares: el mantenimiento autónomo y el proceso fiable, cada uno con 4 pasos a seguir. Para llevar a cabo el mantenimiento autónomo se debe seguir los siguientes pasos:

- i. Volver a situar la línea a su estado inicial

Un equipo recién comprado generalmente se encuentra en las mejores condiciones posibles, por lo cual la meta de este paso será devolver el equipo a este estado, en donde la limpieza será importante para la detección de algún defecto, por lo cual la limpieza deberá ser profunda, no solo superficial.

- ii. Eliminar fuentes de suciedad y zonas de difícil acceso

Las fuentes de suciedad pueden representar el origen de un mal funcionamiento, por lo cual será necesaria una pronta detección de estas fuentes. Se puede hacer uso de los 5 porqués en donde no solo se podrán encontrar las causas sino las posibles soluciones a los desperfectos. Por otra parte las zonas de difícil acceso no permiten una correcta limpieza, sino que la limita y puede ocultar serios problemas. En estos casos se plantea situar el equipo en otras áreas, colocar sistemas de aspiración de polvo, protectores para las partes de la máquina que se encuentren expuestas, definir estándares de limpieza y mantener todo ello a lo largo del tiempo.

iii. Aprender a inspeccionar el equipo

No siempre se puede contar con un especialista, dentro de la organización, que conozca a detalle cada máquina; por lo cual será necesario instruir a los operarios encargados para el conocimiento del funcionamiento de las máquinas que manejan diariamente. Este aprendizaje deberá ser progresivo. En primera instancia constará de únicamente inspeccionar, lubricar y diagnosticar. En una segunda fase se brindará la confianza al operario para poder tomar acción y realizar algún cambio de los elementos pertenecientes al equipo, estos cambios deberán ser únicamente manuales sin uso de herramientas. Recién en el último nivel se podrá realizar cambios con herramientas especializadas, ya sean llaves, destornilladores u otros.

iv. Mejora continua

En este paso se otorga autonomía a cada uno de los operarios para la ejecución de los pasos anteriores, deberán hacerse cargo de las máquinas, y proponer mejoras para un óptimo funcionamiento.

Para el proceso fiable se siguen los siguientes pasos:

i. Implantación de un buen indicador (OEE)

Se sabe que mejorar la eficiencia de la máquina trae consigo la eficiencia de la línea de producción, por lo cual será importante medir la eficiencia de los equipos a través de un indicador,

el indicador planteado para el TPM es el índice de operatividad efectiva del equipo, conocido como OEE (*overall equipment efficiency*), el cual sigue la siguiente formula:

$$OEE \text{ (eficiencia global de equipos productivos)} = D * E * C$$

En donde:

D: coeficiente de disponibilidad del equipo

E: eficiencia

C: coeficiente de calidad

Para ilustrar mejor la obtención de estos coeficientes, Rajadell et al. (2010) brindan el siguiente diagrama:

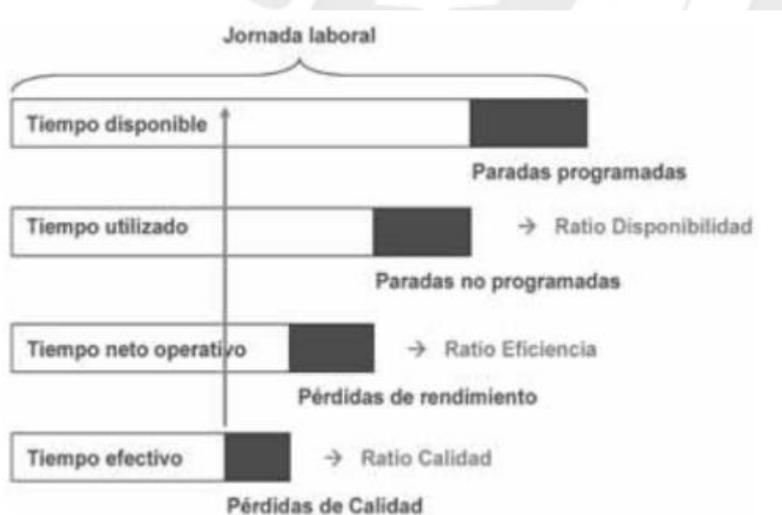


Figura 9. Cálculo del OEE

Tomado de "Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad", por Rajadell et al., 2010.

Luego de obtener el valor del OEE, se procede a interpretar el valor de este. Por ejemplo si se obtiene un OEE del 60%, quiere decir que la máquina ha producido 60 productos buenos cuando podría haber producido 100 productos buenos.

- ii. Aplicar PDCA para eliminar los desajustes

Ahora que se maneja un indicador, habrá que dar seguimiento a este, evaluando su estabilidad a lo largo del tiempo, para de esta manera observar las consecuencias de alguna modificación realizada en la máquina o en la forma en que esta se maneja, para una mejora en la eficiencia. Para ello se hace uso de la herramienta PDCA, que consta de 3 pasos:

- P (*plan*): planificar una acción, designar un responsable y un periodo de tiempo
- D (*do*): realizar la acción
- C (*check*): verificar si el resultado ha sido el esperado
- A (*act*): asegurar que las mejoras realizadas se perpetúen en el tiempo

iii. Mejorar en nivel de OEE

En este punto también se hará uso de la herramienta PDCA, elaborando un plan de acción con miras a un mejor resultado del OEE, siendo disciplinados y de ser necesario se pueden realizar auditorías que verifiquen el cumplimiento

iv. Mantener el nivel de OEE

Normalizar el estado renovado de todas las operaciones, conservando las condiciones actuales constantes a lo largo del tiempo.

#### 1.2.4. Jidoka

Este sistema tiene un enfoque al aseguramiento de la calidad en la fuente. Chase, Jacobs y Aquilano (2009) afirman: “Calidad en la fuente significa hacer bien las cosas desde la primera vez y cuando algo sale mal, detener de inmediato el proceso” (p.407). Para ello será necesaria la autonomía y sentido de responsabilidad del operador para corregir el error lo más pronto posible y no dejar pasar productos de mala calidad. *Jidoka* (*automation with a human touch*) o sistema de control autónomo de defectos es el nombre que toma esta herramienta que tiene como principio otorgar autoridad a los operarios para poder realizar paradas de máquina si algo

va mal, este poder brindado requiere de responsabilidad y autonomía en su labor. El objetivo es evitar que piezas defectuosas continúen en el proceso productivo y que el problema se siga arrastrando en toda la línea. Para lo cual cada operario tomará el rol de inspector, con miras no solo a detectar defectos sino también buscar prevenirlos. Las causas que originan el defecto, se deberán encontrar al momento en que se detecta el problema, pues no se debe esperar mucho tiempo para tomar acción, la mejoría debe realizarse de inmediato.

En *jidoka* también se menciona el concepto de MAQ o matriz de auto calidad, que es una herramienta de soporte en donde se establece a la calidad aspecto clave, limitarse a entregar únicamente productos buenos. Consta de un indicador gráfico donde se muestra la frecuencia de ocurrencia de defectos, la zona en donde se origina y en donde es detectado. Otro principio importante es el respeto por el producto, el cual involucra una gestión visual, sobre todo para mantener el producto en perfecto estado, identificando riesgos o peligros que se pueda tener alrededor del producto o el proceso.

#### 1.2.5. Poka-yoke

En *jidoka* es común hablar del *poka-yoke* o sistema de auto inspección, que tiene como funciones básicas: parar, controlar y avisar. Se caracteriza por su simplicidad y alta eficacia. Existen diversos ejemplos en la industria, tales como sensores de lectura que verifiquen el cumplimiento de cierta característica del producto que puede pasar desapercibida por el operario y esta a su vez active una alarma para dar aviso de un error. Otro ejemplo que de seguro más de uno ha hecho uso, son los cables de conexión de computadoras o consolas, las cuales tienen colores distintos para colocarlos en orificios de los respectivos colores, definitivamente un *poka-yoke* bastante útil.



Figura 10. Poka-yoke

Tomado de “Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad”, por Rajadell et al., 2010.

### 1.2.6. Control visual

Control visual o también conocido como Andon, es un elemento también perteneciente al principio *Jidoka*, que se encarga principalmente de detectar errores o fallas durante la producción y generar un aviso o señal con el fin de comunicar el problema a los operarios. Estas señales son generalmente visuales, sin embargo también pueden ser auditivas o de texto. Entre sus principales ventajas está facilitar la comunicación, el flujo de ideas además de brindar la posibilidad de analizar determinada situación, con lo cual se puede lograr mejoras en la calidad, reducir costos y tiempos. Además de ello, Socconini (2008) presenta los siguientes tipos de control visual:

- Alarmas: usada para situaciones urgentes
- Lámparas y torretas: usadas para brindar información del estado de los equipos a través de señales de colores, cada uno con un significado diferente. Por ejemplo, el color azul se refiere a los materiales, el color rojo para problemas de calidad o accidentes, el amarillo para problemas de mantenimiento y el verde para indicar que todo se encuentra trabajando con normalidad.

- Marcas en el piso: Al igual que las lámparas también se usan colores específicos para cada caso, principalmente para delimitar ciertos espacios

Por otro lado, según Hernández y Vizán (2013) existen diversos ejemplos de control visual, sin embargo no todos son aplicables a cualquier organización, sino que va de acorde a las necesidades; algunos de ellos son:

- Marcas sobre el suelo.
- Marcas sobre técnicas y estándares.
- Instrucciones de operación.
- Identificación de stocks.
- Identificación de reprocesos.
- Indicadores de productividad.
- Señales de monitorización de máquinas.

### 1.2.7. SMED

SMED (*Single Minute Exchange of Die*) es una metodología que busca reducir el tiempo de cambio de herramienta a menos de 10 minutos. Según Rajadell et al. (2010) cuando se habla de tiempo de cambio, nos referimos a cambiar utillajes y herramientas, parámetros, piezas a ensamblar o cualquier preparación previa a la fabricación. Como beneficio principal se tiene que la máquina o equipo tendrá un menor tiempo de respuesta ante los cambios de productos, es decir que permite una producción flexible. Hernández et al. (2013) plantean las siguientes fases para la implementación de esta herramienta:

- Fase 1: Diferenciación de la preparación interna y externa

Se entiende como preparación interna a las actividades que se realizan cuando la máquina se encuentra detenida, y la preparación externa ocurre mientras la máquina está encendida. En esta fase se deberá listar las actividades de preparación y separarlas en internas o externas. Posterior a ello se debe intentar convertir las actividades internas en externas.

- Fase 2: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de operaciones

En esta fase, se deberá optimizar las actividades internas que no pudieron convertirse en externas, a través de estudios centrados en las operaciones.

- Fase 3: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora del equipo

Aquí se busca diseñar o implementar dispositivos en las máquinas o incluso modificar la estructura de la misma, con el fin de reducir el tiempo de actividades internas.

- Fase 4: Preparación cero

Lo ideal sería que el tiempo total de preparación sea cero, por lo que se deben centrar esfuerzos para reducir el tiempo todo lo posible, y permitir que la producción sea flexible, es decir que las mejoras planteadas puedan ser aplicables para productos de la misma familia.

## Capítulo 2. Contenido de la investigación

A continuación se presentan estudios realizados en diversos países, en los cuales se ha hecho uso de la metodología *Lean Manufacturing* para mejorar la productividad en empresas manufactureras.

### 2.1. Mejora del proceso operacional utilizando VSM en una industria metal mecánica

El presente estudio corresponde a la implementación del mapa de flujo del valor en conjunto con otros modelos para la mejoría de una empresa metalmecánica de Brasil, desarrollado por Leite Giavina, Syntia Lemos, Gislaine Lapasini y Edwin Cardoza (2017).

#### 2.1.1. Situación actual

El estudio realizado fue en una empresa del sector metalmecánico, fabricante de bombas de agua, hidrolavadoras y pequeños aerogeneradores, ubicado en Paraná, Brasil y está constituido por aproximadamente 100 empleados. La estrategia de la compañía es basar su producción en el pronóstico de la demanda, la cual se actualiza mensualmente, con lo cual se realiza la planificación de la producción y las órdenes de compra para materias primas y artículos a ensamblar. La empresa demanda materias primas tanto nacionales como importadas, provenientes de China. En cuanto a los proveedores nacionales el tiempo de entrega varía según cada proveedor, generalmente de 5 a 30 días, en el caso del proveedor extranjero la entrega es en 120 días, por lo cual los pedidos son realizados cada 6 meses. Para proveedores nacionales se maneja una curva ABC de la materia prima a necesitar, para las materias primas A y B se realizan pedidos quincenalmente y para las de categoría C mensualmente. El producto es distribuido alrededor de Sudamérica a través de camiones; para destinos más lejanos, la distribución se realiza en camiones hasta el puerto de Santos y posteriormente en barcos.

La gerencia de la compañía identificó oportunidades de mejora durante el análisis interno de planificación estratégica para 2015, donde se decidió impulsar el incremento de la productividad, disminuyendo el índice de rechazos, facilitando el mantenimiento de los equipos, mejorando la programación de producción, disminuir el tiempo de entrega y los costos de inventario. Finalmente, ante tantas propuestas, se redujo a 4 objetivos:

- Impulsar la producción.
- Disminuir el tiempo de espera.
- Reducir el tiempo para el cambio de equipos.
- Aumentar el tiempo operativo disponible.

### **2.1.2. Metodología**

Luego de conocer los objetivos, se procedió a la elección de una familia de productos para la realización del estudio. Para lo cual se evaluaron las ventas realizadas en los últimos 6 meses anteriores al inicio del proyecto. Tras la evaluación se determinó que la familia de hidrolavadoras eran los productos más vendidos. Dicha familia, posee más de 15 productos, por lo cual optaron por escoger un representante de la familia, dando como resultado a HL11L, el cual representa el 31% de las ventas en el último semestre. A su vez, el producto HL 11L posee 36 componentes fabricados dentro de la empresa, por ser una gran cantidad, se decidió priorizar algunos de los componentes. Para lo cual se realizó un análisis de Pareto, que tiene como principio tomar el 80% de un conjunto como lo más representativo. La comparación fue dada según el costo unitario de fabricación multiplicado por la producción individual de cada componente. Tras ese análisis, se decidió trabajar con los siguientes componentes: Carter, cilindro, tapa de bloqueo, pistón, tuerca de ajuste, cigüeñal y biela.

Una vez elegidos los componentes para el estudio se empezó con la recolección de datos, la cual duró alrededor de 2 meses, en el cual se presencié todo el ciclo de fabricación y ensamble. Luego de ello finalmente se obtuvo el VSM de la situación actual, y a partir de este mapa se logró observar la presencia de una demanda media semanal de 65 hidrolavadoras, también era de conocimiento que el área de PCP enviaba órdenes de producción para todos los sectores de la fábrica. En la primera fila del mapa se hace referencia a los productos cárter, cilindro y biela, pues pasan por los mismos procesos de fabricación, sin embargo no presentan los mismos tiempos de fabricación por lo cual se optó por considerar los valores máximos de cada operación. De igual forma en la segunda fila se hace referencia a la tapa de fijación y tuerca de ajuste; finalmente en la tercera se representa el cigüeñal y la última, el pistón.

Una de las ideas a partir de ello fue la creación dentro de la fábrica de una especie de supermercado tanto de productos en proceso como de productos terminados, lo cual aseguraría un flujo continuo, se escogió tener los supermercados entre los procesos de mecanizado y ensamblaje, otro entre los procesos de fundición y mecanizado y uno último para la entrega de productos terminados. La demanda promedio de los clientes en el periodo de análisis fue de 257 unidades al mes, con lo cual se pudo hallar el valor del *takt time* de uno de los componentes, que fue de 42.14 minutos, que quiere decir que para poder cubrir con la demanda habría que producir un producto cada 42.14 minutos. En un principio se determina el *takt time* de todos los componentes, sin embargo para entregar un producto final no se requiere únicamente de un componente de cada tipo, sino que viene dado por cantidades diferentes, para lo cual hicieron uso del *pitch* o lote controlado, el cual es calculado como la demanda diaria multiplicado por el *takt time*. Además de ello, para controlar de mejor forma la producción de este *pitch*, se hizo uso de tarjetas kanban, para una mejor distribución de la producción. Las tarjetas se colocaron en un tablero siguiendo la mezcla de producción establecida para cada proceso.

Tabla 3

*Kanban de componentes*

Componente	N° de <i>Kanban</i> em cada supermercado intermediário	Quantidade em cada cartão (unidades)
Carter	3	13
Cabeçote	3	13
Tamp. Fix.	3	39
Pistão	3	39
Porca Reg.	3	39
Virabreq.	3	13
Biela	3	39

*Nota:* Tomado de “Melhoria de Processo Operacional Utilizando Mapa de Fluxo de Valor em Uma Indústria Metal- Mecânica”, por Giavina, Lemos, Lapasini y Cardoza, 2017.

Los supermercados antes mencionados fueron dimensionados para asegurar la producción de 2 días de demanda, salvo el supermercado de productos terminados, el cual aseguraría una cantidad igual a la demanda semanal del producto. Esto con el objetivo de poder cubrir con una demanda mayor a la planeada o ante eventualidades que se pueda presentar en el proceso productivo. Ante este repentino cambio en el tamaño del lote de producción, surgió el principal problema, que sería el constante cambio de herramientas, que significaba un mayor esfuerzo y tiempo, dado que también se realizaron cambios en las mezclas de productos a fabricar en cada proceso. A pesar de ello, el hecho de ahora producir lotes diarios en vez de lotes mensuales significaba poder obtener con mayor rapidez uno de los componentes estudiados. Por ejemplo, en el caso del componente cárter, el lead time se redujo de 35 horas a 8.65 minutos. También se reconoce la necesidad de estabilización de los procesos individuales, para lo cual se hizo uso de proyectos PDCA y el indicador OEE, para la detección de variaciones que se tuvieran como resultado a las nuevas propuestas. Se conocía además que el tiempo de preparación de máquina era alto, es decir poca flexibilidad en la producción, por lo cual un cambio rápido de herramientas podría ayudar a contrarrestar ello. Con todo lo analizado se propone el futuro VSM, en el que se propone realizar órdenes de compra diariamente, en los

cuales se reciban los pedidos de manera diaria o semanal. Se implementaría los supermercados ante algún aumento de demanda. Las líneas continúan separadas por familias de productos, y los procesos eran coordinados a través del uso de tarjetas kanban. Finalmente, los autores plantean una serie de pasos para llevar a cabo el plan de acción, sin embargo los resultados presentados son en base a proyecciones realizadas, las cuales aseguran una reducción en el tiempo de entrega de 2500 horas a 50 horas, por su parte los inventarios ya no permanecerían 1 647 horas sino tan solo 123 horas.

## **2.2. Aplicación de 5S y TPM en una empresa metalmecánica en Colombia**

El presente caso fue realizado por Carrillo, Alvis, Mendoza y Cohen (2018), quienes realizaron la investigación en base a una empresa del rubro metal mecánica situada en Colombia. Los autores desarrollaron la metodología 5S y TPM, buscando eliminar o reducir todo aquello que no agregue valor.

### **2.2.1. Antecedentes**

La investigación fue realizada en Cartagena, Colombia. Según comentan Carrillo et al. (2018) existe poco apoyo financiero a las pequeñas y medianas empresas en lo que respecta a investigación y desarrollo; además de ello, afirman que el personal que labora en el sector metalmecánico tienen poca o nula preparación técnica y capacitaciones en lo que respecta a su trabajo. La industria manufacturera juega un papel importante tanto en Cartagena como en Colombia, siendo una de las principales actividades económicas influyentes en el PBI de Bolívar.

### **2.2.2. Aplicación de la metodología**

La implementación de *lean manufacturing* en Cartagena, Colombia no es nueva pero se destacaba en sectores como el automotor y la construcción. En el caso actual se desarrolló en una empresa metalmecánica a través de 4 fases, que se irán describiendo a continuación:

i. Fase 0 - Autodiagnóstico de la empresa y análisis externo

Se evaluaron las áreas de gestión de la empresa haciendo uso del modelo de la red de Tecnologías de Gestión del Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI de Argentina.

ii. Fase 1 – Diagnóstico inicial

Se realizó un diagnóstico del área de producción de la empresa, a través de observación directa, entrevistas al personal, recorridos por las instalaciones y uso de herramientas de diagnóstico. Se evaluaron los siguientes aspectos:

- Infraestructura
- Inventario
- Materiales y proveedores
- Maquinaria e instalaciones
- Proceso
- Calidad
- Residuos

Uno de los puntos más críticos fue el manejo y disposición de residuos. Cabe resaltar que los autores no mencionan con exactitud qué tipo de productos son los fabricados en la empresa en estudio, sin embargo, en cuanto a los residuos detallaron que se trataban de grasa, gasolina, material mecanizado, entre otros. Otra variable significativa fue respecto al manejo de inventario, ya sea de productos terminados como en proceso; esto debido a que no existen lugares preestablecidos para situar el inventario. En cuanto al proceso, evidenciaron que no existían registros de fallos y mucho menos de las causas de estos, sino que se realizaban acciones de tipo correctivas en el momento. Asimismo, en el análisis se identificaron las

siguientes posibles causas directas: falta de organización y manejo de residuos además del inadecuado uso operativo de los equipos.

iii. Fase 2 - Aplicación y análisis de las técnicas elegidas, 5S y TPM

Con los resultados anteriormente expuestos, los autores determinaron que era necesario iniciar una estrategia de mejora a través de la aplicación de 5S y TPM. Para la implementación de la metodología 5S, escogieron como área piloto al lavado de las piezas; en la que se empezó con una capacitación a los operarios, seguidamente recaudaron evidencia fotográfica del estado inicial del área. Como aplicación de las primeras S de la metodología, los objetos fueron clasificados, para ser eliminados o reubicados, de manera que solo queden aquellos que son necesarios en dicha zona; con lo cual se eliminó el 55% de los objetos, liberando 2.89 m<sup>2</sup> y reduciendo el recorrido habitual del operario a solo 9.65 m.

Por otra parte, en lo que respecta a los trabajos de mantenimiento, en la cual se aplicaron los criterios de TPM; lo primero a realizar fue listar aquellas máquinas con mayores dificultades, de los cuales se realizó un análisis detallado que permita reconocer los fallos comunes y las consecuencias, con el fin de resolver de manera inmediata los inconvenientes que se puedan presentar, intentando reducirlos a través de la programación de tareas y rutinas. Los autores hicieron uso del análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC), por lo que reconocieron el modo de falla, las consecuencias de estos, asignando un grado de severidad; además de las causas del fallo y método de detección, y con todo ello generar medidas a tomar para mitigar los daños que se puedan ocasionar para cada una de las máquinas en estudio.

iv. Fase 3: Evaluación de la implementación realizada

Como último paso realizaron una simulación para evaluar los tiempos de fallos a lo largo del tiempo, por lo cual se analizaron los datos históricos de los tiempos de fallas y reparaciones,

se proyectaron a través de una distribución Weibull. Con lo cual determinaron que la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua, demostrando que los desgastes iniciaban desde que el mecanismo empieza a operar.

### **2.2.3. Consideraciones finales**

La implementación de las 3 primeras S fue realizado en un periodo de 4 meses, para el área de lavado; sin embargo los autores comentaron la importancia de culminar la implementación de las ultimas 2S. En cuanto a las probabilidades de fallo, se determinó que existía un 50% de probabilidad que un equipo falle, por lo cual con las medidas correctivas y preventivas propuestas en su análisis estiman una reducción a un 20% las probabilidades de fallo. Finalmente los autores recomendaron un plan de capacitación y actualización en cuanto al mantenimiento de los equipos para todos los operadores, además de programar mantenimientos preventivos para otras máquinas que lo ameriten.

### **2.3. Implementación de 5s en la producción de puertas de madera**

El estudio cualitativo realizado por Navarro, Oliveira, de Souza, de Oliveira y Mendonça (2019), se basa en una empresa maderera pequeña, que cuenta con 15 operarios, teniendo como principal producto a la puerta de madera.

#### **2.3.1. Recolección de datos**

Se inició con entrevistas con los responsables del proceso, y posterior con el gerente para identificar las practicas que se tenían en la empresa, además de realizar grabaciones del proceso, y la observación directa que fue elemento fundamental. Los miembros del equipo realizaron una lluvia de ideas con lo cual identificar malas prácticas o malas condiciones de trabajo, con lo cual encontraron lo siguiente:

En la empresa no se hacía uso de ninguna herramienta de control de calidad, tampoco de metas de producción, sino que esta era según la demanda, además de no haber presencia de indicadores de desempeño. Por otro lado, si existía motivación para los empleados a través de compensación económica, sin embargo no había inversión en la formación de los mismos. Se reconoció que si se le da gran importancia al mantenimiento de las máquinas, principalmente realizaban mantenimientos preventivos. Luego del respectivo análisis se pudo verificar que se tenían malas condiciones de trabajo debido al riesgo al que estaban expuestos los trabajadores durante la realización de sus actividades, a la falta de espacio, un ambiente inadecuado para la producción y por materiales mal organizados.

### 2.3.2. Implementación de 5S

En vista de lo anteriormente expuesto, vieron necesario implementar la herramienta 5S, a través de los siguientes puntos:

- SEIRI

Se reconoció el exceso de material prima (aserrín) en el piso, por lo que plantearon redirigirlo a otra zona de almacenamiento de la empresa. Además se tienen las herramientas desordenadas y presencia de herramientas en desuso, por lo que se plantearon probar cada una de ellas e intentar reparar aquellas que se encuentren dañadas y desechar aquellas que ya no tengan utilidad.

- SEITON

En un principio tenían un solo estante con todas las herramientas y máquinas que posea la empresa, por lo que sugirieron organizar las herramientas y máquinas a una zona más cerca de cada mesa de trabajo, correspondiente a cada operación del proceso de producción. Otro punto bastante importante, es que se tenían todos los productos listos para la entrega en un solo lugar, sin ser clasificados, por lo que en ocasiones se habían entregado productos erróneos al

cliente. Por esta razón sugirieron la creación de etiquetas con el nombre del cliente y el número de orden, las cuales serían colocadas en cada producto, de manera que no exista confusión.

- SEISO

Constantemente en el área de producción se generaba acumulación de polvo y aserrín, los cuales solo se limpiaban los sábados; en este caso plantearon elegir un empleado que realice la limpieza diaria y ubicar los restos en un lugar estratégico, y finalmente los sábados desechar todo lo acumulado en la semana.

- SEIKETSU

Se rescata la poca ventilación en el lugar, por lo que plantearon la instalación de campanas extractoras de aire. En cuanto al mantenimiento, este era programado aleatoriamente de forma preventiva, por ello plantearon la creación de un calendario con el cual llevar registro del mantenimiento realizado. Las máquinas y equipos no poseían instrucciones de uso, y en beneficio de la formación de empleados plantearon la elaboración de manuales que faciliten su uso.

- SHITSUKE

Debido a que los operarios no hacen uso de equipos de protección, vieron necesario la implementación de alguna sanción cada vez que no hacían uso de estos debido a que es por su seguridad. Finalmente mencionan que la metodología 5S sería parte de la cultura de la empresa y así se genere un hábito la realización de cada una de las actividades.

**2.4.** Aplicación de herramientas de Lean Manufacturing en la producción de puertas enrollables

En este caso Yerovi, Lorente, Saraguro, Montero y Valencia (2017) analizaron una empresa pequeña encargada de la producción de puertas enrollables, HIALUVID, ubicada en Ecuador.

#### **2.4.1. Situación actual y problemática**

En Ecuador, la industria metalmecánica juega un papel importante en la cadena productiva, pues tiene alta relación con otras industrias como el alimenticio, textil, maderero, de construcción y otros. Además de ser un importante generador de empleo por la misma necesidad de operarios para la realización de los procesos. Sin embargo, los autores mencionan que aún no se poseía un gran desarrollo, pues venía siendo más artesanal que industrial. Las pequeñas y medianas empresas (pymes) en Ecuador tienen como primera barrera la falta de fondos suficientes para una inversión en tecnología, lo cual las podría volver más competitivas, debido a la rápida evolución de la forma en que se realizan los procesos industriales.

La principal problemática de la empresa viene a ser el retraso en la entrega del producto, por lo cual se trazó como objetivo disminuir el tiempo de entrega, aumentando eficiencia y productividad haciendo uso de la metodología *Lean Manufacturing*. Su proceso productivo viene dado por la siguiente secuencia de subprocesos: Abastecimiento, flejado, elaboración del eje, elaboración de ángulo y canal anti gata, elaboración de la base, elaboración de orejas, elaboración de rieles y banderas, elaboración de taparrollo y armado e instalación.

#### **2.4.2. Metodología**

Para un conocimiento más detallado los autores desarrollaron un diagrama de flujo del proceso y un VSM. Luego de la realización del diagrama y del VSM lograron determinar que el tiempo total del proceso de producción era de 590 minutos, de los cuales solo 188 minutos era tiempo que agregaba valor. A continuación se presenta una tabla con los principales

desperdicios reconocidos por los autores, además de la estrategia que plantean y la herramienta que apoya cada estrategia.

Tabla 4

*Desperdicios y herramientas*

Desperdicio	Detalle	Estrategia	Herramienta
Espera	Paradas por daños en las máquinas.	Elaborar un programa de mantenimiento preventivo.	9S TPM
Transporte	Inadecuado transporte del material por mala distribución de planta	Mejor distribución de planta	9S Propuesta de <i>layout</i>
Proceso	Verificación de medidas y correcciones de los procesos Falta de estandarización del proceso	Elaborar un programa de mantenimiento preventivo.	9S TPM SMED
Inventario	Desabastecimiento de materiales.	Plan de gestión de abastecimiento	Formatos para gestión de compras Kanban
Movimientos	Demoras por la búsqueda de insumos y herramientas.	Limpieza y orden.	9 S

*Nota.* Tomado de “Aplicación de herramientas de la metodología Lean Manufacturing en la mejora del proceso de producción de puertas enrollables”, por Yerovi, Lorente, Saraguro, Montero y Valencia, 2017.

En cuanto a la aplicación de las 9 S, plantean actividades para cada S, siendo:

- Clasificar: Registro fotográfico de todas las áreas de la empresa, evaluación de objetos necesarios e innecesarios con ayuda de tarjetas rojas, amarillas y verdes.
- Ordenar: Ubicar los objetos seleccionados según su uso, colocar afiches con nombre para la fácil identificación de zonas.
- Limpiar: Establecer un programa de limpieza, definiendo frecuencia.
- Bienestar personal: Capacitación al personal acerca del tema y análisis de riesgos.
- Disciplina: Fomentar capacitación, limpieza y el cumplimiento de las normas de seguridad.
- Constancia: Registro de control de orden y limpieza.
- Compromiso: Creación de políticas de responsabilidad para trabajadores de todo nivel.

- Coordinación: Comunicación bidireccional a todo nivel.
- Estandarizar: Definir métodos de orden y limpieza, colocando fotografías como guía de un área de trabajo en condiciones óptimas.

Con lo logrado con la implementación de las 9S, se lograron además estandarizar varios de los procesos, los cuales sumaban 675 minutos, logrando reducirlos a solo 153 minutos, sobre todo gracias a la señalización de zonas de trabajo y adecuado manejo de herramientas. En cuanto al plan de mantenimiento preventivo usando la herramienta TPM, buscaron reemplazar el mantenimiento correctivo, por uno preventivo, reduciendo el tiempo empleado en un 43%; a través de una planificación del mantenimiento de máquinas. Adicionalmente a ello elaboraron un VSM de la situación actual y de la situación propuesta con todo lo anteriormente mencionado, resultado de ello lograron reducir el *takt time* actual de 315 min para la producción de 24 puertas, a 316 minutos para 26 puertas.

## **2.5. Aplicación del sistema Lean en la fabricación de bobinas de aire acondicionado**

El presente caso fue realizado por Das, Venkatadri y Pandey (2014), acerca de una empresa dedicada a la fabricación de sistemas de aire acondicionado en la India.

### **2.5.1. Descripción de la empresa**

La investigación estuvo basada en la planta Dandra, de la empresa Blue Star Limited; ubicada en la India. Dicha planta es responsable de la fabricación de bobinas para condensadores y evaporadores, partes de los sistemas de aire acondicionado. Das et al. (2014) comentan que la empresa contaba con 360 operadores y con equipos de última generación y con altos estándares de calidad. Se rescataba además la participación de sus operarios en los procesos de fabricación para la mejora continua, además de poseer certificación ISO 9001: 2008.

### 2.5.2. Proceso productivo

El proceso se desarrolla en 4 talleres:

- Taller de bobinas

Das et al. (2014) afirman: “Todo el rendimiento del sistema de aire acondicionado depende de la velocidad de transferencia de calor de las bobinas del condensador y del evaporador” (p.310). Por lo que se hace de gran importancia la fabricación de bobinas en óptimas condiciones. La implementación planteada es en base a este taller. Indicaron que como primer paso se debe cortar las láminas de aluminio, además de perforarlas para obtener las aletas; a su vez los tubos de cobre se doblan y cortan. Luego de ello se insertan los tubos en las aletas, y pasan por máquinas expansoras, de soldadura y de doblado de bobinas.

- Taller de fabricación

Luego de obtener la bobina, esta pasa por un cortado, punzonado, estampado, doblado y soldadura.

- Taller de pintura

En este taller se pintan las piezas para prevenir la oxidación de las mismas. La pintura usada es en polvo seco.

- Taller de líneas de montaje

Finalmente el producto es ensamblado, con ayuda de un sistema de transporte automático.

### 2.5.3. Implementación

Se eligió un equipo en el que se contaba con un coordinador y un equipo multifuncional. A los que se les brindo orientación y capacitación acerca de la metodología *Lean*

*Manufacturing*. Iniciaron con la elaboración de un VSM para la evaluación de la situación actual de la fabricación del producto representativo. Extrajeron datos tales como utilización de máquinas, cantidad de operarios por estación de trabajo, cantidad de configuraciones de máquina, tiempos de cada proceso, etc. Con ello se pudo reconocer una alta cantidad de inventario en proceso entre la prensa de aletas, el expansor y el proceso de soldadura automática; esto debido a la diferencia entre los tiempos de preparación de las máquinas. Siendo finalmente el expansor, el cuello de botella en el taller en estudio; mientras que la soldadura automática tenía una alta tasa de producción.

Por lo cual optaron por equilibrar las salidas de soldadura con la de los expansores, para que se produzca al mismo ritmo. Además de ello, a través de las técnicas SMED, se buscó reducir el tiempo de preparación de las máquinas expansoras. Se reconocieron las configuraciones de elementos externos e internos, donde los primeros podían realizarse sin necesidad de que la máquina se encuentre detenida; por lo que se buscaba realizar menos configuraciones internas transformándolas en externas. Entre otras mejoras realizadas fue el cambio en el diseño de partes de la maquinaria, lo cual no solo facilitaba el trabajo de los operarios, sino que además se haría menos propensa a que se cometan errores, evitando accidentes. Además se hizo el cambio de un sistema *push* a un sistema *pull*, con lo cual se redujo la cantidad de inventario en proceso. Esto último trae consigo mayor espacio libre, que proporciona mayor seguridad. Con todo lo antes mencionado, se estima un incremento del porcentaje de valor agregado, variando de un 5 % a un 12 %. Y en cuanto a la productividad total de la fabricación de la bobinas lograron incrementarla a 77 %, pues la producción total de bobinas al finalizar un turno de 8 horas cambió de 121 a 214 bobinas.

## **2.6. Aplicación de SMED en una empresa de artículos de plástico**

El presente caso fue realizado por Cervantes y Zorrilla (2018), acerca de la implementación de SMED en la operación de cambio de molde en una empresa dedicada a la fabricación de artículos de plástico.

### **2.6.1. Metodología a usar**

El presente caso es acerca de la empresa JPJ, la cual se dedica a la fabricación de artículos de plástico. El problema era básicamente el tiempo que tomaba el cambio de moldes, por lo que se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: Ante la preocupación de los directivos, por el tiempo considerable que tomaba el proceso de cambio de molde, decidieron asignar un equipo de trabajo con el cual llevar a cabo las pruebas para la implementación de un nuevo método de trabajo. Además decidieron que los participantes en este proceso serían colaboradores sin experiencia en el proceso, para que no favorezca su experiencia.

Paso 2: Dado que se trataba de operarios ajenos al proceso, se brindó una capacitación a grandes rasgos sobre cómo realizar el proceso de cambio de molde. Posteriormente para poder realizar la evaluación del proceso que iban realizando, crearon un formato con el fin de recoger datos como el tiempo total desde la primera pieza conforme hasta la última pieza conforme. Además la capacitación incluyó temas de identificación de desperdicios, estudio de tiempos y movimientos, con lo cual facilitar el llenado del formato implementado, pues este sería llenado por los mismos operarios.

Paso 3: Consistía principalmente en crear horarios con la programación de la máquinas y asignar operarios a cada máquina.

Paso 4: Revisión de los datos históricos del último año de operaciones, acerca del tiempo que toma realizar un cambio de molde, en los que se observó que la operación tomaba entre

130 o 140 minutos. Por lo que la empresa vio conveniente fijar una meta de al menos 95 minutos.

Paso 5: Recolección de los datos del proceso actual, según datos recogidos de los operarios, con lo cual poder sugerir mejoras. Es en este punto, es que se decide implementar la metodología SMED y se plantea una serie de pasos a seguir.

Paso 6: Como parte de las acciones a tomar para la implementación de la metodología SMED, se debía seguir con estos pasos:

- i. Medición del tiempo total del cambio de molde

Ya se había realizado dicho paso anteriormente.

- ii. Descripción de operaciones internas y externas

Se reconocieron como actividades internas a aquellas que podían realizarse con la máquina detenida, y las externas, aquellas que se realizaban mientras la máquina se encontraba en funcionamiento. Por lo que se elaboró una lista con las actividades necesarias para el proceso, indicando su duración y el porcentaje que este representaba en comparación al tiempo total de operación total.

- iii. Conversión de actividades internas en externas y realización de las externas fuera del proceso

Para la realización de este paso fue necesaria una reunión con los operarios para llevar a cabo una lluvia de ideas. Con ello, se decidió convertir las actividades de limpieza y lubricación del molde a una actividad externa, además de apilar el fin de brazo al pie de la máquina y así evitar la búsqueda de este en otro lugar, guardar los programas en un USB para evitar la programación manual, entre otros.

- iv. Optimizar las actividades internas

Entre las mejoras sugeridas, se tuvo la generación de un plan de capacitación en temas de trabajo en equipo, cambio de actitud y la metodología SMED; la compra de herramientas faltantes u otras que mejoren la eficiencia de la operación, la implementación de un solenoide que permita mantener la temperatura constante y no esperar a que esta se restablezca, etc.

v. Mejorar las actividades externas

Se instalaron conexiones de aire de presión.

vi. Estandarizar / Optimizar el proceso de cambio

Dado que se tenían variedad de conectores de líneas de agua, cada uno con diferentes usos, decidieron colocar colores a cada uno de ellos para una fácil identificación de los mismos.

Paso 7: Recoger la información acerca de los resultados que tuvo la mejora implementada, en el que se logra reconocer la mejora en la eficiencia del proceso y una mejor utilización de las máquinas. Posteriormente, se realizó la medición del tiempo del proceso luego de la implementación del SMED, con lo que se obtuvo como resultado un tiempo promedio de 81.46 minutos, en comparación a los 111.28 minutos que tardaba antes. Lo que representa una reducción del 26.79% del tiempo total.

## 2.7. Implementación de SMED y *poka-yoke* en la producción de filtros de aire

El presente caso fue realizado por Sifuentes, Estrada, Alba, Valdivia, Trejo y Tamer (2015), acerca de la implementación de la metodología lean-sigma para la reducción de tiempos de preparación de maquinaria en una empresa dedicada a la fabricación de filtros de aire.

### 2.7.1. Situación actual

La necesidad nace debido a que los filtros de aire que se producen en la empresa tienen diversas presentaciones, en las cuales las principales variables son el material y la medida del filtro. La fabricación del filtro se compone por las siguientes fases: laminado de media, plegado

de media, ensamble, prensado de filtro y por último el empaquetado, sin embargo, la actividad más importante es el prensado de filtros, por lo cual es en donde se centraron los esfuerzos para la implementación de la mejora. Los autores reconocen como problema la generación de tiempos muertos por la preparación de la maquinaria de prensas, pues influyen en la cantidad de piezas producidas y en consecuencia a la productividad.

### 2.7.2. Objetivos

Por lo cual se trazaron como objetivo reducir en un 30% los tiempos muertos durante la preparación de la maquinaria, buscando reducir el tiempo de las actividades internas en un 15% y en un 25% las actividades externas.

### 2.7.3. Metodología

- Análisis inicial

Como primer paso estuvo enlistar las actividades que se realizan comúnmente durante la preparación de maquinaria, incluso se realizó un estudio de tiempos con el fin de obtener datos del tiempo que toma actualmente cada actividad antes reconocida.

- Causa – raíz

Posteriormente realizaron un diagrama de Pareto con el cual determinar qué actividades tomaban más tiempo en comparación de las demás. Luego de ello vieron necesario el análisis de causas de estas actividades, con lo cual realizar una lluvia de ideas para modificar o eliminar alguna de las operaciones.

- Solución propuesta

En este punto surge la necesidad de implementar la herramienta SMED, para reducir los tiempos que genera cambiar de modelo de filtro. Primero, a partir del listado de actividades que se tenía, se procedió a identificar las actividades internas y externas, se partió con 8

operaciones internas y 8 externas, mencionaron además que es primordial atacar las actividades internas en orden de prioridad y luego las externas. Como segundo paso, estuvo el convertir algunas actividades internas en externas, entre ellas también se eliminaron 3 actividades de las 16 que se tenían. Y por último con ayuda de la herramienta *poka-yoke* se buscó reducir tiempos en actividades internas y externas, con lo cual lograron reemplazar 2 actividades y generar un diseño nuevo para la sujeción de la placa, que reducía dicha actividad en un 12%.

- Aplicación y análisis de resultados

Posteriormente a ello se aplicó la solución propuesta, y se vio necesario realizar un nuevo estudio de tiempos para comparar los valores de tiempos medidos antes y después de la mejora implementada. Los resultados indicaron una reducción del tiempo de preparación en un 52%, siendo un 25% de reducción en actividades internas y un 61% en actividades externas. Finalmente, indicaron la necesidad de implementar un plan de control, es decir auditorias que verifiquen el correcto cumplimiento de la mejora implementada, además mencionaron que la secuenciación del tipo de producto a fabricar jugaba un rol importante, por lo que en un estudio futuro recomendaban una planeación adecuada de los modelos a fabricar en la semana.

## 2.8. Inconvenientes del *poka-yoke* en la industria electrónica - automotriz

El presente caso fue realizado por Magdoiu, Oprean y Kifor (2012), acerca de la implementación de sistemas *poka-yoke* y los inconvenientes luego de ello en la industria electrónica – automotriz.

### 2.8.1. Revisión de los casos

En un principio, los autores mencionan que la implementación de un *poka-yoke* cumple el rol de prevenir errores y a su vez permiten detectarlos, buscando siempre una producción con cero defectos. Sin embargo, la implementación debe ser siempre evaluada, pues en varias ocasiones pueden generarse efectos secundarios no deseados. Por lo cual, el presente artículo

busca presentar los inconvenientes o efectos secundarios ocurridos posteriormente a la implementación de los *poka-yoke* en distintas partes de la producción de componentes electrónicos para la industria automotriz en Rumania.

El primer caso se presentó en el posicionamiento de una placa de circuito impreso (PCB) entre unas cuchillas, en el que se debía colocar las partes de una manera exacta definida; por lo que se hizo necesario el uso de un *poka-yoke* que ayude al operador a posicionar el PCB correctamente. El corte obtenido resultó de buena calidad; sin embargo, al levantar los PCB luego del corte dañaban los soportes. Por lo que optaron por implementar una estación automática.

Otro caso fue en un sensor implementado para identificar la carcasa correcta para cada operación, pues las carcasas eran similares unas a otras y podían existir confusiones entre ellas. De manera inesperada, ocurrió que el operador a cargo de la labor, confundió las carcasas, sin embargo creyó que el sensor estaba equivocado, por lo que decidió modificarlo para que indicara la carcasa que el indicaba como correcta y claramente, se dieron errores en la producción a causa de esto. Por lo que los autores realizaron una reflexión acerca de la importancia del diseño de un *poka-yoke* que no pueda ser modificado fácilmente por el operador.

Un último caso mencionado, fue acerca de un *poka-yoke*, cuyo uso puede influir en la capacidad de producción de la línea en general. En este caso se dio en las máquinas de inserción de pines individuales, en el que se reconoció el escaneo obligatorio del carrete del pin, lo cual permitía el arranque de la máquina; sin embargo este escaneo era manual y tardaba tiempo. Al reconocer este tiempo que podía ser mejor aprovechado, se decidió traspasar la tarea del escaneo como labor del área de almacén, que eran quienes recepcionaban los pines de los distintos proveedores.

## 2.9. Implementación de *poka-yoke* en la industria automotriz

El presente caso fue realizado por Hernández, Gómez, Ibarra, Vargas y Máynez (2018), acerca de la implementación de un *poka-yoke* en la estación de ensamble de una empresa del rubro automotriz.

### 2.9.1. Principal problema

El problema en la estación de ensamble se originó por los constantes errores que se daban en la elección de ejes debido a que se manejaban ejes muy parecidos, cada uno para un uso distinto. Por lo que la elección entre uno y otro era fácil de confundir y requería de una inspección visual, la que podía tardar mucho tiempo, interrumpir la continuidad de la línea o prestarse a errores por falta de estas inspecciones.

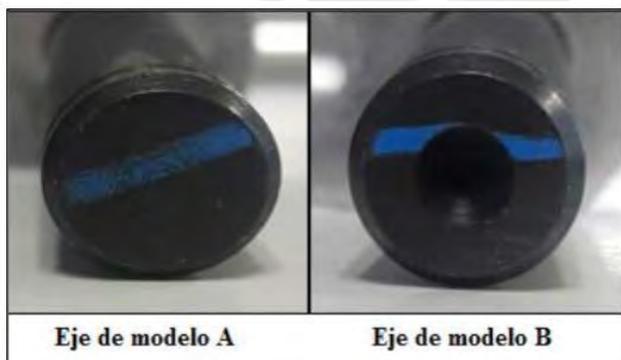


Figura 11. Ejes de la estación de ensamble

Tomado de "Implementación de *poka-yoke* en herramienta para disminución de PPMS en estación de ensamble", por Hernández, Gómez, Ibarra, Vargas y Máynez, 2018.

### 2.9.2. Implementación

Un mes antes de la implementación, se realizaron evaluaciones acerca de la ocurrencia de estos errores, principalmente para tener un registro detallado de que tan frecuente se daba esta confusión; por lo que desde ese momento se había fijado una meta clara para la disminución de la frecuencia de estos hechos. Para la implementación del *poka-yoke*, fue imprescindible acceder a los planos de los ejes; para definir claramente que característica

debían detectar para identificar el eje adecuado según el caso. Con el estudio de todas las características posibles, detectaron como principales diferencias a: su longitud, diámetro, geometría y composición material. El *poka-yoke* implementado consistía en el reconocimiento de un agujero de una pieza, a través de un sensor de presencia fotoeléctrico, con la ayuda de un PLC programado para el correcto reconocimiento del eje. En el caso del modelo A no tenía dicho agujero, mientras el modelo B sí; además de ello el diámetro del eje A era menor que el del eje B. Bajo esa programación se instaló el sensor y se realizó las pruebas respectivas.

### **2.9.3. Pruebas realizadas**

Los resultados se analizaron a través de un estudio de repetitividad y reproducibilidad (R&R) por atributos, a través del programa Minitab. El estudio realizado hizo uso de 10 piezas correctas y 10 incorrectas, y se sometió a una evaluación a 3 operadores capacitados. El primer operario al usar el sistema implementado, pudo reconocer correctamente en un 75% de las veces, las piezas como correctas o incorrectas, mientras los otros 2 operarios acertaron en un 90% de las veces. Con lo cual los autores notaron una mejoría en la ocurrencia de errores. Finalmente, se evaluó la implementación a lo largo de un mes, y realmente se logró disminuir la ocurrencia de ese tipo de errores, que eran comúnmente 100 de cada millón producido y con el *poka-yoke* eran menos de 20.

## **2.10. Revisión de la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en algunas empresas colombianas**

El presente caso fue realizado por Marulanda, González, León e Hincapié (2016), quienes realizaron la investigación en base a 5 empresas colombianas que implementaron herramientas de *Lean Manufacturing*.

### **2.10.1. Antecedentes**

La investigación fue realizada en Cartagena, Colombia. Según comentan los autores existe poco apoyo financiero a las pequeñas y medianas empresas en lo que respecta a investigación y desarrollo, además de ello afirman que el personal que labora en el sector metalmeccánico tienen poca o nula preparación técnica y capacitaciones en lo que respecta a su trabajo.

### **2.10.2. Metodología**

La metodología del caso en estudio es más que todo descriptivo y cualitativo, en el que los autores buscaron recoger los factores que facilitaron la implementación de algunas de las herramientas de *Lean manufacturing*. Para lo cual basaron el estudio en 5 empresas colombianas del Valle de Aburrá, las cuales fueron: Siemens S.A. (dedicados a la fabricación de transformadores), Incolmotos Yamaha S.A. (sector automotriz), Único Interior S.A.S. (sector textil) y 2 compañías más, una dedicada a la fabricación de gaso-electrodomésticos y la otra del sector textil. La información fue obtenida a través de entrevistas con los líderes del proceso de implementación en cada empresa en estudio. En cuanto al principal impulsor, la mayoría coincidió en el desarrollo de su capital humano, hubo otras respuestas que mencionaron temas de calidad, mejora continua, eficiencia, entre otros. También se conoce que entre las razones que los llevaron a decidir la aplicación de estas herramientas fue tomar en cuenta que ya había registro de otras empresas que la usaban y de los buenos resultados que obtuvieron. Las herramientas Lean que fueron implementadas son las siguientes:

Tabla 5

*Herramientas Lean*

EMPRESA	5S	Kanban	Kaizen	Six Sigma	JIT	SMED	Celdas de Manufactura	Gestión Visual	VSM	TPM	Producción Sincrónica
SIEMENS S.A.	X		X	X	X	X	X	X		X	
ÚNICO INTERIOR S.A.S.	X				X	X	X	X	X	X	
ABCD	X										
INDUSTRIAS HABC	X	X		X				X	X	X	
INCOLMOTOS YAMAHA S.A.	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Porcentaje aplicación	1	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,2

*Nota.* Tomado de "Caracterización de la implementación de herramientas de Lean Manufacturing: Estudio de caso en algunas empresas colombiana", por Marulanda, González, León e Hincapié, 2016.

Como se puede observar, todos implementaron la herramienta 5S, y el 80% hicieron uso del TPM. Según la entrevista de los autores, los líderes comentaron que la implementación fue de manera paulatina, y empezaron por el área productiva, puesto a que la mayoría de las empresas en estudio trasladó el uso de herramientas lean también a las áreas administrativas. Los cargos de los participantes, en la etapa inicial de la implementación, fueron jefes de producción, calidad, ingenieros y operarios expertos, para lo que se incluyó además, capacitaciones a todos los miembros que intervenían en el proceso. Cabe resaltar que dichas capacitaciones eran posteriormente evaluadas en su aplicación periódicamente, y con el fin de hacer parte de la cultura de la empresa a la mejora continua, se capacitaba a todo aquel que ingresaba a laborar.

El 80 % de las empresas en estudio implementaron un programa de mejora que buscaban involucrar aún más al personal con la optimización del proceso, sin embargo hubo momentos en los que los participantes se relajaban y fue necesario un seguimiento individual de las curvas de aprendizaje. Finalmente, los autores comentan que dichas empresas solucionaron la barrera de resistencia al cambio, con un acompañamiento constante de parte de los líderes del proceso, además de la incorporar un programa de incentivos para la motivación del personal.

### **Capítulo 3. Análisis de la investigación**

En el presente capítulo se realizará un análisis de las investigaciones presentadas en el capítulo anterior.

#### **3.1. Sector**

Es importante reconocer que las empresas de las investigaciones presentadas fueron en su mayoría del sector metal mecánico, teniendo presencia también del sector automotriz, maderero y de plástico, siendo entonces todas ellas pertenecientes al sector manufacturero. Y se reconoció que el sector metal mecánico no poseía una estacionalidad para la demanda de sus productos, sino que su demanda estaba altamente relacionada con la demanda de otras industrias.

#### **3.2. Origen**

En cuanto al origen de las mismas, fueron en su mayoría de países latinoamericanos, tales como Colombia, Ecuador, Brasil, México, etc. Sin embargo también se resalta la presencia de países como India o Rumania.

#### **3.3. Estado**

Entre las principales necesidades u objetivos se tuvo el deseo de incrementar la productividad, reducir tiempos de espera, orientado al tiempo de entrega del producto al cliente, además de mejorar la calidad del producto final. Se reconoció que las empresas de menor tamaño poseían menor apoyo financiero para las mejoras planteadas, a diferencia de las grandes. La diferencia también se ve en la experiencia y conocimientos de sus operarios, puesto a que los operarios de empresas pequeñas empezaron a trabajar con poca o nula preparación, a diferencia de los operarios de grandes empresas quienes si tenían estudios más especializados en su rubro.

### 3.4. Herramientas aplicadas en los casos presentados

Entre las herramientas de mayor uso se destacan: las herramientas VSM, 5S, y SMED. Cabe resaltar que en la mayoría de los casos se iniciaba con una capacitación de las herramientas para que los operarios tengan el conocimiento necesario antes de ser aplicadas. A continuación se presentarán las principales herramientas presentes en las investigaciones del capítulo anterior:

#### 3.4.1. VSM

Esta herramienta fue usada principalmente para dar a conocer la situación actual de la empresa, pudiendo identificar cuellos de botella, altos tiempos de espera, el lead time del proceso, y sobre todo logrando reconocer cuanto del tiempo total de producción realmente agrega valor, incluso se encontró en uno de los casos, que solo un 30 % del tiempo agregaba valor. En cuanto a los productos, en varios de los casos se poseía gran variedad de productos y piezas, por lo que fue necesario hacer una elección de las piezas más representativas y a partir de ello realizar el VSM. Puesto a que para la elaboración de este mapa se requiere gran cantidad de información tal como cantidad de operarios por estación de trabajo, cantidad de configuraciones de máquina, tiempos de cada proceso, etc.; todo ello puede tomar mucho tiempo, incluso en una de las investigaciones se menciona que la recopilación de datos de 7 componentes de un producto representativo tomo alrededor de 2 meses.

A partir del VSM con la información actual, se logran reconocer los principales problemas durante la producción, y a partir de ello es que se toman las decisiones de mejora, que incluyen el uso de otras herramientas Lean, tales como Kanban, TPM o SMED, dependiendo el problema identificado y la necesidad de la empresa. A pesar de que la herramienta indique que debe realizarse un VSM de la situación futura, este fue realizado solo en algunos de los casos, sin embargo es imprescindible dado que otorga una idea más clara de

cómo funcionará el proceso productivo con las mejoras planteadas, además de servir de guía para una futura mejora.

### **3.4.2. 5S**

La metodología 5S estuvo presente en varios de los casos presentados, puesto a que se relacionaba con problemas comunes de orden y limpieza. Este problema se hacía visible mediante demoras en la búsqueda de herramientas, averías en las máquinas, falta de espacio, desorden, alta cantidad de herramientas presentes en la estación de trabajo, entre otros. Lo cual ocasionaba confusión en la entrega de productos y significaba un gran riesgo para los operarios debido a que no era un ambiente adecuado para realizar correctamente sus labores. Además de ello, en los casos presentados, no siempre se desarrollaban las 5S en sí, en una ocasión incluso se planteó el uso de las 9S, que involucra 4 fases más que conllevan mayor disciplina y constancia, dando como resultado una disminución de hasta 77% en el tiempo que tomaba realizar un proceso productivo. Por otro lado, también hubo el caso que solo llevaron a cabo las 3 primeras S, que mencionaron se realizó en 4 meses, dando como resultado el lugar de trabajo más despejado en un 55%.

### **3.4.3. TPM**

El uso de esta herramienta está bastante ligado al problema de paradas de máquina, en la mayoría de casos se realizaban solo mantenimientos correctivos, los cuales serían cambiados por mantenimientos preventivos programados según un determinado cronograma. La aplicación de esta herramienta, se daba generalmente en solo algunas o una de las máquinas, de manera que sirviera de piloto para el resto de máquinas de la empresa, dado que existía gran variedad de estas. Por lo que para la elección de la máquina piloto, se hacía un previo análisis de las máquinas que presentaban mayor dificultad.

En cuanto al estudio de la máquina, se requería entrevistas con el operario de la misma, pues era quien tenía mayor conocimiento, a pesar de que en ocasiones dichos operarios no hayan recibido ningún tipo de capacitación formal, ni tampoco tenían estudios técnicos. Es por ello que en ocasiones se realizaron o se plantearon la necesidad de la creación de manuales de uso y reparación de las máquinas, de manera que la información estuviera al alcance de cualquier persona. En cuanto a los resultados, se obtuvo un 43 % de reducción en el tiempo de reparación de máquinas y hasta una reducción de 20 % de probabilidades de fallo.

#### 3.4.4. Poka-yoke

Cabe resaltar que durante la búsqueda de investigaciones, fueron muy pocos los casos en los que se encontró el uso de esta herramienta, y los casos encontrados fueron del rubro automotriz. El uso de esta herramienta nace de una necesidad bastante precisa en un determinado proceso, que generalmente ocasiona errores de fabricación que afectan la calidad del producto, dado que requiere de mucha atención e inspección visual por parte del operario. Su aplicación está fuertemente ligada a la aplicación de SMED, incluso en uno de los casos se llega a realizar mejoras en el diseño de una pieza con el objetivo de reducir el tiempo de preparación; y según lo que presentaba cumplía con los objetivos de un poka-yoke, sin embargo no lo reconocieron como tal. En otro caso partieron desde el desarrollo de un *poka-yoke* pero vieron la necesidad de cambiar la operación interna a externa, lo cual se puede traducir como un acercamiento a la herramienta SMED.

La aplicación de un *poka-yoke* mayormente incluye el uso de un objeto diseñado específicamente para el proceso en cuestión, según las necesidades identificadas en cada caso; por lo que se requiere de estudios precisos de las herramientas o productos en cuestión, lo que involucra planos y medidas exactas para el diseño del *poka-yoke*. También es importante resaltar lo aprendido en uno de los casos, acerca de la importancia de que el *poka-yoke*

implementado no sea de fácil modificación por parte del operario, por lo que también es necesario una evaluación constante de su buen uso. Con el uso de esta herramienta, se logra detectar los errores, así como la facilidad para la realización de los procesos, dando como resultado una reducción de hasta el 80% en la ocurrencia de errores y una disminución del 12 % del tiempo que tomaba dicha actividad.

#### **3.4.5. SMED**

Dicha herramienta fue principalmente aplicada para estandarizar procesos y disminuir el tiempo de preparación de maquinarias, debido a la gran variedad de productos a fabricar, lo que a su vez conllevaba un constante cambio de herramienta. Lo primero a realizar era el estudio a profundidad de las actividades que se realizaban comúnmente, realizando un estudio de tiempos respectivo, posterior a ello se realizaba la distinción de actividades como internas o externas, para el análisis de cada una de ellas con el fin de encontrar una manera más óptima de realizar dicha operación. Generalmente se iniciaba con el análisis de las actividades internas y luego las externas. Se reconoce además que la reducción de tiempos era más factible en actividades externas que en las internas. Finalmente se logró reducir un 27 % del tiempo de preparación de máquina y hasta 52 % en uno de los casos. Y en cuanto al aumento de la productividad se reconoció hasta un aumento de 77%.

## Conclusiones

En Latinoamérica ha ido creciendo el interés por mejorar la productividad de las empresas manufactureras, sobre todo por la rapidez que existe en la innovación de procesos y maquinarias, además del crecimiento del sector en general, lo que a su vez genera mayor competencia. Ante esta búsqueda de incrementar productividad y eliminar desperdicios, en mucho de los casos se recurre a alguna de las variadas herramientas que posee la metodología Lean Manufacturing, ya sea para reducir tiempos muertos, mantenimiento de máquinas, cambios rápidos de herramienta, mejorar la calidad, etc.

Juega un rol importante, el apoyo brindado por los altos mandos de la empresa, debido a que la implementación de cualquier tipo de herramienta lean requiere que se incorpore a la cultura de la empresa, con el fin de mantener las mejoras y por lo tanto los resultados a lo largo del tiempo, siempre con miras a una mejora continua. En los casos presentados, generalmente se tenía gran variedad de productos, por lo que iniciaban seleccionando un producto, pieza, área o máquina en específico, planteando que estas mejoras se implementen en un futuro también en otras áreas. En general quien mejor conoce el proceso son cada uno de los operarios, es por eso que fueron pieza clave al momento de recolectar la información antes de iniciar con cada proyecto, puesto a que en su mayoría se realizaron entrevistas y observación directa para detectar posibles oportunidades de mejora. Además de ello se apoyaron de la aplicación del VSM o de diagramas de operaciones que permitan conocer el proceso a mayor detalle.

En cuanto a las herramientas, las más usadas fueron VSM, 5S y SMED, entre otras; cada una fue aplicada de manera distinta, puesto a que el alcance era mayor o menor en algunos casos, en empresas de mayor tamaño la aplicación era más detallada y elaborada, a diferencia de empresas de menor tamaño donde se planteaban las mejoras generalmente de forma cualitativa. Es importante reconocer que la aplicación de una herramienta Lean casi siempre iba acompañada de la aplicación de otra herramienta Lean, puesto a que se complementan unas

a otras. El hecho de desarrollar más de una ocasionaba mejoras más notorias. En líneas generales, si bien el desarrollo de las herramientas requería de un largo proceso de conocimiento y análisis de los procesos, todos generaron una mejora notable, superando los objetivos iniciales de quienes las desarrollaban. Además se rescata la importancia de siempre dar seguimiento y control de las mejoras implementadas, puesto a que volverlas parte de la rutina requiere de constancia.



## Bibliografía

- Carrillo, M., Alvis C., Mendoza Y. & Cohen H. (2018) Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia. *SIGNOS - Investigación En Sistemas De gestión*, 11(1), 71-86.  
<https://doi.org/10.15332/s2145-1389.2019.0001.04>
- Cervantes Esparza, A., & Zorrilla Briones, F. (2018). La importancia del trabajo en equipo en la implementación de SMED en una empresa manufacturera de plástico. (Spanish). *Cathedra*, 7(1), 14–21.
- Chase, R., Aquilano, N. & Jacobs, F. (2000). *Administración de producción y operaciones: manufactura y servicios*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: McGraw Hill. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/marce139/administracion-deoperacionesyproduccion12edchaseaquilanojacobs11>
- Cuatrecasas, L. & Torrell, F. (2010). *TPM en un entorno Lean Management*. Barcelona, España: PROFIT
- D'Alessio, F. (2002) *Administración y dirección de la producción: Enfoque estratégico y de calidad*. Segunda edición. Bogotá: Pearson Educación de Colombia
- Das, B., Venkatadri, U., & Pandey, P. (2014). Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1–4), 307–323.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-013-5407-x>
- Giavina de Almeida Leite, J. V., Lemos Cotrim, S., Lapasini Leal, G. C., & Cardoza Galdamez, E. V. (2017). Melhoria de Processo Operacional Utilizando Mapa de Fluxo de Valor

em Uma Indústria Metal- Mecânica. *Revista FSA*, 14(5), 146–170.  
<https://doi.org/10.12819/2017.14.5.8>

Hernández, J. & Vizán, A. (2013) *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: EOI. Recuperado de: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20730/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>

Hernández Ochoa, T. A., Gómez Bull, K. G., Ibarra Mejía, G., Vargas Salgado, M. M., & Máynez Guaderrama, A. (2018). Implementación De Poka-Yoke en Herramental Para Disminución De Ppms en Estación De Ensamble. *Cultura Científica y Tecnológica*, 15(64), 57–63

Krajewski, L., Malhotra, M., & Ritzman L. (2013) *Administración de operaciones: Procesos y cadena de suministro*. Octava edición. México: Pearson Educación.

Magdoi, A., Oprean, C., & Kifor, C. V. (2012). Poka-yoke systems in automotive electronic production. *Calitatea*, 13(5), 201-204. Recuperado de: <https://search-proquest-com.ezproxybib.pucp.edu.pe/docview/1261381052?accountid=2839>

Marulanda Grisales, N., González Gaitán, H. H., León, G. E., & Hincapié Pizza, E. A. (2016). Caracterización de la implementación de herramientas de Lean Manufacturing: Estudio de caso en algunas empresas colombianas. *Revista Poliantea*, 12(22), 39–62.

Navarro Ananias, L. F., Oliveira Grossi, M., de Souza Magalhães, C., de Oliveira Falavina, A. B., & Mendonça Peixoto, M. G. (2019). Gestão da Qualidade no Setor Madeireiro: Proposta de Implantação da Ferramenta 5s. *Revista FSA*, 16(2), 166–182.  
<https://doi.org/10.12819/2019.16.2.9>

Oficina Internacional Del Trabajo (1996) *Introducción al estudio del trabajo*. Cuarta edición (revisada). Suiza: OIT.

- Rajadell, M. & Sanchez J. (2010) *Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad*. Segunda edición. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Sanchis, R., Poler, R., Mula, J., & Peidro, D. (2011). Gestión de la calidad total y mantenimiento productivo total en la fabricación de alto rendimiento. *DYNA - Ingeniería e Industria*, 86(6), 648–655. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.6036/4106>
- Sifuentes, A. M., Estrada Orantes, F. J., Alba Baena, N., Valdivia Urdiales, M. G., Trejo Mandujano, H. A., & Tamer Salcido, M. H. (2015). Implementación de la metodología lean-sigma para la reducción de tiempos de preparación de maquinaria. *Cultura Científica y Tecnológica*, 12(57), 47–56.
- Socconini, J. (2008). *Lean Manufacturing: paso a paso*. México: Norma
- Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica*. México: Editorial Limusa.
- Yerovi, M., Lorente, L., Saraguro, R., Montero, Y., & Valencia, M. (2017). Aplicación de herramientas de la metodología Lean Manufacturing en la mejora del proceso de producción de puertas enrollables, *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Ecuador, (septiembre 2017). Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/metodologia-lean-manufacturing.html>