



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

Manufactura Lean y la Ingeniería Mecánica

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

Félix Sánchez Héctor Miguel

Asesora de Tesis: M.I. Silvina Hernández García

Ciudad Universitaria, Noviembre 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Índice

Objetivo	3
Justificación del Tema	4
Capítulo I.-Antecedentes.....	6
Toyota.....	7
Sistemas de Producción	9
Capítulo II.- Definición de Manufactura Lean.....	12
Definición	12
Los Siete Desperdicios.....	13
1. Sobreproducción.....	13
2. Tiempo de Espera	13
3. Transporte Innecesario.....	13
4. Sobre-procesamiento o Procesamiento Incorrecto	14
5. Inventarios	14
6. Movimiento Innecesario.....	14
7. Productos Defectuosos.....	14
Las Siete Herramientas	16
1. Kaizen	16
2. TPM	17
3. Las 5S	19
4. SMED	23
5. Kanban	25
6. Heijunka	28
7. Jidoka	29
Aspectos Principales de Jidoka	30
Separar actividades hombre-máquina	31
Operador.....	31
Andón.....	31
Pokayoke	31
Funciones básicas de un Pokayoke	32
Ejemplos de aplicación de Pokayokes	35
Capítulo III.- Aplicación de la Ingeniería Mecánica en la Manufactura Lean ..	39
Conclusiones.....	51
Referencias.....	53



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Objetivo

- Analizar la relación que guarda la Ingeniería Mecánica con los métodos comunes de producción aplicados en la mayoría de las grandes empresas, base de estudio de la Ingeniería Industrial, como es el caso de la Manufactura Lean.



Justificación del Tema

Hoy en día, la mayoría de los estudiantes de Ingeniería Mecánica creen que jamás tendrán que lidiar con operaciones y sistemas de producción, así como aplicaciones de métodos para mejorar la producción de una planta o empresa. Es decir, que no se encontrarán con tareas propias de la Ingeniería Industrial y es ahí en donde están equivocados, ya que las grandes empresas aplican sistemas de producción, tales como el de producción esbelta, y lo que llegan a buscar en el perfil de un aspirante, además de bases sólidas en Ingeniería Mecánica, es el conocimiento de temas aplicables a la industria y a la producción, por ejemplo, Manufactura Lean.

Puede decirse que, en la formación de un Ingeniero Mecánico, egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se deben tener conocimientos sólidos en 4 áreas, las cuales a continuación se enumeran (ver Figura 1): 1) Diseño 2) Materiales 3) Manufactura y 4) Termoenergía.



Figura 1.- Áreas de Formación del Ingeniero Mecánico.

Por lo general, el estudiante de Ingeniería Mecánica opta por especializarse en una sola de estas áreas, dejando de lado las otras tres, en ocasiones por falta de interés, disgusto de las materias o del área. De esta forma, no se logra que haya cohesión entre estas áreas y, por ende, no se obtiene la mejor formación del Ingeniero Mecánico.



Es por esto que, se deben realizar acciones que garanticen la formación integral del estudiante de Ingeniería Mecánica, con la finalidad de regresarle al país profesionistas capaces de proponer y dar soluciones a las necesidades o problemas que la industria y la sociedad demanden, aplicando los conocimientos adquiridos en la Universidad.

Desde mi punto de vista, el estudiante de Ingeniería Mecánica no sólo debe quedarse con los conocimientos de las 4 áreas presentadas anteriormente, sino que debe de complementar su formación con conocimientos de otras áreas, por ejemplo del área industrial, tales como: Estudio del Trabajo, Planeación y Control de la Producción, Calidad, Proceso de Manufactura I y II, entre otras, ya que le serán de gran utilidad en la vida profesional (ver Figura II).

Considero que al cursar dichas asignaturas el estudiante tendrá una mejor formación profesional, por lo que, una vez que ha egresado, contará con un mayor número de habilidades y con ellas podrá competir contra cualquier otro profesionista, ya sea de Universidad pública o privada.



Figura II.- Áreas de Formación deseables del Ingeniero Mecánico.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Capítulo I.-Antecedentes

Para comprender el origen del Sistema de Producción de Manufactura Lean, también conocido como Sistema de Producción de Toyota ó sólo Manufactura Lean es necesario saber que su punto de partida es la producción en masa. Durante la primera mitad del siglo XX ésta se implementó en todos los sectores la producción en masa, y fue inventada y desarrollada en el sector automotriz. Es conocida la crisis del modelo de producción en masa, que se encontró en el *SPF (Sistema de Producción de Ford)* y en las ideas de *Taylor*, pero dejó de ser viable, porque no sólo significa la producción de objetos en grandes cantidades, sino todo un sistema de tecnologías, mercados, economías de escala y reglas rígidas, que colisionan con la idea de flexibilidad que se impone en la actualidad.

Sin duda, el logro histórico de Taylor fué acabar con el control que el obrero ejercía sobre el cómo hacer el trabajo y los tiempos de producción. En su lugar se instaló la ley y la norma patronal por la vía de la administración científica del trabajo. En la lógica de Taylor de la división del trabajo, cada fábrica, departamento o sección persigue su objetivo específico sin molestarse en buscar prioritariamente la optimización del conjunto de la producción, que es, sin embargo, el único enfoque claro por parte del cliente o del consumidor. Crecen así los lotes de producción, se acumulan los stocks y el ciclo de producción se alarga. Estos fenómenos amplificadores son la causa de que, en una fábrica que siga el modelo de Taylor, el plazo de producción de, por ejemplo, el cuadro de una bicicleta pueda llegar a ser de semanas, mientras que la suma de las operaciones de mecanización, soldadura y pintura no llega a una hora.

Pero tras la caída económica de 1929, Estados Unidos sufrió una crisis de sobreproducción, manifestada en un subconsumo de masas frente a la capacidad productiva real de la sociedad, lo que hizo necesaria la implementación de ajustes que dieron paso al establecimiento del *SPF*, que lograba generar un mercado para la gran producción acumulada. En el *SPF*, el control del trabajo viene dado por las normas incorporadas al dispositivo automático de las máquinas, o sea, el propio movimiento de las máquinas (caso de la cadena de montaje) dicta la operación requerida y el tiempo asignado para su realización.

El trabajo se simplifica al lograr la división del mismo, la fabricación de productos estandarizados y en grandes series, lo cual se convirtió en una norma y dando como



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



resultado una mayor producción y un aparente incremento de la productividad y de los beneficios en el trabajo.¹

Toyota

Después de la Segunda Guerra Mundial se produjo una gran expansión de las organizaciones de producción en masa, en parte alentada por la política exterior norteamericana, que respondía a criterios puramente económicos de aumento de la demanda agregada y la estabilidad de sus mercados. Esto generó gigantescas y rígidas estructuras burocráticas. Sin embargo, a fines de los años 60's del siglo pasado el modelo empezó a erosionarse, la productividad disminuyó y el capital fijo per cápita empezó a crecer, lo que significó una disminución de los niveles de rentabilidad. El modelo llegaba a su límite y era necesaria una adaptación. Entre las innovaciones que incorpora el *SPT (Sistema de Producción de Toyota)* a la organización del proceso de trabajo se encuentran algunas salidas a la falta de flexibilidad de la estructura burocrática de la producción en masa. Ingenieros y directivos, con educación clásica europea y americana, se resisten a admitir que la idea de la Manufactura Lean es únicamente lo que Taiichi Ohno y sus discípulos recopilaron y aplicaron en Toyota. Pero lo cierto es que esta filosofía de trabajo nació justo en la mitad del siglo XX en la Toyota Motor Company, concretamente en la sociedad textil del grupo.

Efectivamente, a finales de 1949, un colapso de las ventas obligó a Toyota a despedir a una gran parte de la mano de obra después de una larga huelga. En la primavera de 1950, un joven ingeniero japonés, Eiji Toyoda, realizó un viaje de tres meses de duración a la planta Rouge de Ford, en Detroit, y se dio cuenta de que el principal problema de un sistema de producción son los despilfarros.

Además, era un sistema difícilmente aplicable en Japón en aquellos tiempos, por las siguientes razones:

- El mercado japonés era bastante pequeño y exigía una amplia gama de distintos tipo de coches.
- Las leyes laborales impuestas por los norteamericanos en el mercado de trabajo japonés impedían el libre despido.
- Toyota y el resto de las empresas japonesas no disponían de capital para comprar tecnología occidental y su volumen no permitía la reducción de costos alcanzada por las compañías de EE UU.

¹ Manuel Rajadell Carreras y José Luis Sánchez García. Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad, Ediciones Díaz de Santos. España. 2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Después de la crisis del petróleo de 1973, se impuso en muchos sectores el nuevo Sistema de Producción de Manufactura Lean, de manera que empezó a transformar la vida económica mundial por la difusión del *SPT* como sustituto del *SPF* y de *Taylor*.

El propósito de la nueva forma de trabajar es eliminar todos los elementos innecesarios en el área de producción para alcanzar reducciones de costos, cumpliendo con los requerimientos de los clientes.

Los japoneses se dieron cuenta de la precariedad de su posición en el escenario económico mundial; ya que desprovistos de materias primas energéticas, sólo podían contar con ellos mismos para sobrevivir y desarrollarse. Mientras en la industria automotriz norteamericana se utilizaba un método de reducción de costos al producir automóviles en cantidades constantemente crecientes y en una variedad restringida de modelos, en Toyota se plantea la fabricación a bajo precio y de pequeños volúmenes de muchos modelos diferentes. El reto para los japoneses fué lograr beneficios de productividad sin aprovechar los recursos de las economías de gran escala y la estandarización de *Taylor* y *Ford*.

La racionalización del proceso de trabajo implicó el principio de “fábrica mínima”, que propone la reducción de existencias en materiales, equipos, etc., y se complementa con el principio de “fábrica flexible”, sustentada en la asignación de las operaciones de fabricación para lograr un flujo continuo y la respuesta rápida a la demanda. El *SPT* se resume en los siguientes puntos:

1. Eliminación del despilfarro y suministro *JIT* (*Just in Time* o *Justo a tiempo*) de los materiales.
2. La relación, basada en la confianza y la transparencia, con los proveedores elegidos en función de su grado de compromiso en la colaboración a largo plazo.
3. Una importante participación de los empleados en decisiones relacionadas con la producción: parar la producción, intervenir en tareas de mantenimiento preventivo, aportar sugerencias de mejora, etc.
4. El objetivo de la calidad total, es decir, eliminar los posibles defectos lo antes posible y en el momento en que se detecten, incluyendo la implantación de elementos para certificar la calidad en cada momento.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Sistemas de Producción

En la compañía automotriz japonesa Toyota, se desarrolló lo que se conoce como *JIT* (*Just in Time* o *Justo a tiempo*), que consiste en no fabricar más que lo que solicita el siguiente proceso. De esta forma, se trabaja para satisfacer lo que realmente se necesita. La idea central de este sistema es que la producción se jala, inversamente a lo usual, que consiste en Empujar la producción.²

Lo anterior nos lleva a clasificar los Sistemas de Producción existentes, los cuales se dividen en dos grupos: Sistema Empujar y Sistema Jalar (ver Figura 1.1).

El Sistema Empujar es un tipo de sistema de control de la producción, según el cual las piezas se deben producir sin que importen las necesidades de las estaciones subsiguientes, es decir, las piezas se producen de manera independiente a las necesidades del sistema, lo que genera largas colas y cuellos de botellas. El Sistema Empujar se caracteriza por que los lotes de fabricación previamente planificados “empujan” la producción. Dentro de este sistema se encuentra el Sistema de Producción en Línea y el Sistema de Producción en Proceso³.

En el Sistema Jalar cada proceso o cliente retira las piezas del proceso anterior a medida que las necesita. De esta forma, un centro de trabajo o servicio únicamente trabaja cuando el proceso siguiente le comunica la necesidad de hacerlo. La forma con la que trabaja este sistema es el uso del Kanban. Kanban es la autorización para producir o mover inventario, y proporciona control e información. Sirve para regular el nivel de inventarios y la velocidad de producción reduciendo o aumentando el número de Kanbans o su tamaño. Si no hay Kanban, el sistema se para. Dentro de este tipo de sistema se encuentra el *JIT*.⁴

² Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa. Olavarrieta de la Torre, Jorge. Universidad Iberoamericana. 1999.

³ Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. Niebel, Benjamín. Freivalds, Andris. 12ed. México. 2009.

⁴ Ídem.

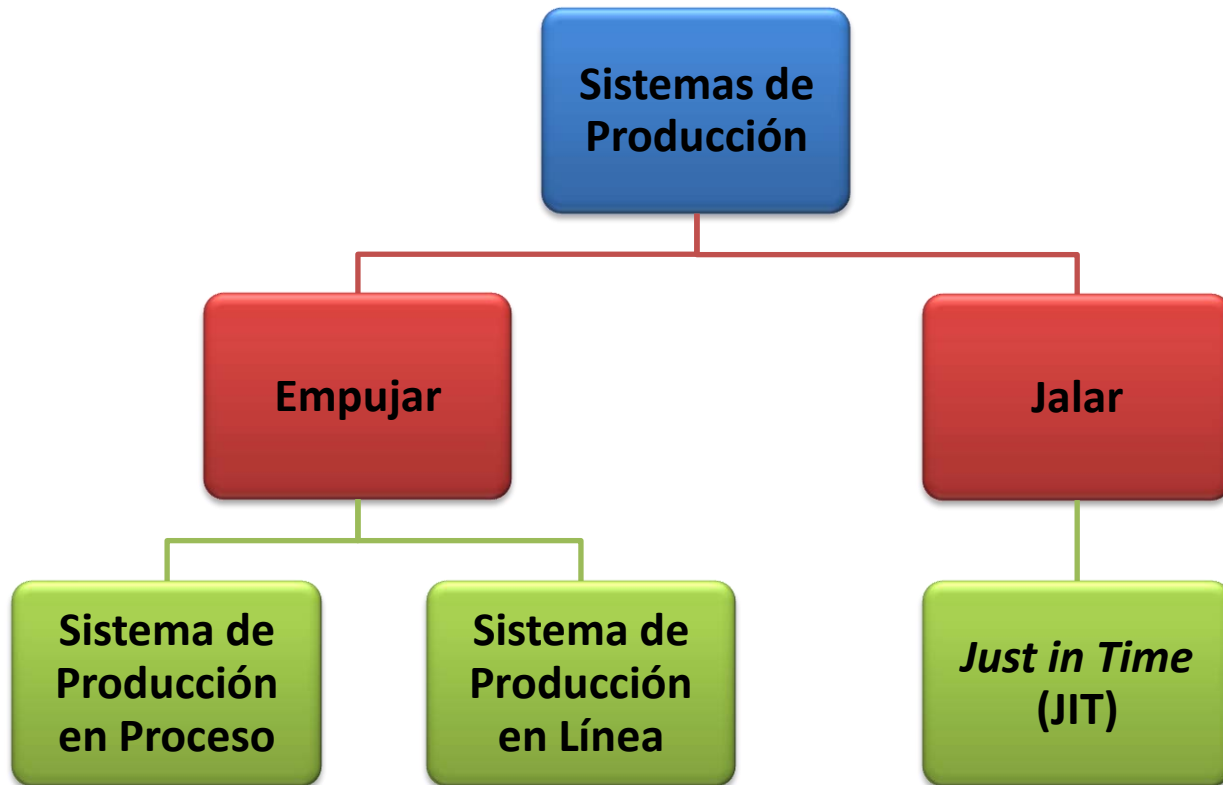


Figura 1.1.- Clasificación de los Sistemas de Producción.

Se ha remarcado el contorno del *JIT* ya que actualmente es el sistema que se aplica en la gran mayoría de las empresas y es el que está relacionado con el concepto de Manufactura Lean.

En el siguiente cuadro comparativo (ver Tabla 1.1) se pueden observar las principales diferencias entre un sistema y otro:



Sistema Empujar	Sistema Jalar
El <i>Sistema Empujar</i> se caracteriza porque los lotes de fabricación previamente planificados empujan a la producción.	En el <i>Sistema Jalar</i> , cada proceso o cliente retira las piezas del proceso anterior a medida que las necesita. De esta forma, un centro de trabajo o servicio únicamente trabaja cuando el proceso siguiente le comunica la necesidad de hacerlo
Los clientes vienen y retiran sus pedidos, pero el almacén lanza pedidos según está ordenado por planificación de materiales	Los clientes inician el proceso: retiran el material y así el almacén final lanza nuevos pedidos a la planta. Si no hay actividad por parte de los clientes, tampoco la hay en el almacén.
Planificación de materiales establece el inventario para cada uno de los departamentos, y éstos producen con independencia de los demás departamentos.	Los puestos de trabajo no tienen inventarios y dependen los unos de los otros para continuar la producción.
Ante una parada de uno de los departamentos, los demás continúan su trabajo a pleno rendimiento acumulando inventario. La cadena continúa y el problema crece.	La parada de uno de los puestos supone no realizar peticiones a puestos previos, con lo que el proceso se detiene sin incurrir en aumentos de inventario. La cadena se detiene y se prioriza su arreglo y puesta en marcha.

Tabla 1.1.- Diferencias entre el Sistema Empujar y el Sistema Jalar.

Capítulo II.- Definición de Manufactura Lean

Definición

A la hora de definir el significado de Manufactura Lean se puede prestar a malas interpretaciones e inclusive confusiones, esto es por el elevado número de términos en castellano con los que las empresas se refieren a esta técnica.

Dependiendo de la industria o del autor se encontrarán traducciones como producción o fabricación delgada, ajustada, ágil, esbelta o, incluso, sin grasa. Por otra parte, las empresas han adaptado como universales palabras en inglés o japonés que han pasado a ser parte del vocabulario técnico de las empresas que adoptan Manufactura Lean.⁵

La Manufactura Lean es una metodología de trabajo basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un Sistema de Producción enfocándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Identifica varios tipos de “desperdicios” que se observan en la producción, siendo éstos: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos.⁶ La Manufactura Lean tiene por objetivo la eliminación de los defectos, mediante la utilización de una colección de herramientas (Kaizen, TPM, 5S, SMED, Kanban, Heijunka, Jidoka). Los pilares de la Manufactura Lean son:

- La filosofía de la mejora continua.
- El control total de la calidad.
- La eliminación del desperdicio.
- El aprovechamiento de todo el potencial a lo largo de la cadena de valor.
- La participación de los operarios.

⁵ Hernández Matías Juan C. Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. España. 2013.

⁶ Ídem.

Los Siete Desperdicios

Para entender claramente el concepto "desperdicio", se debe comprender el concepto de *Valor Agregado*.

Valor Agregado:

- Son todos los procesos, operaciones o actividades productivas que cambian la forma, ajuste o función del producto para cumplir con las especificaciones y/o expectativas del cliente.
- Es todo aquello que el cliente está dispuesto a pagar.⁷

El Sistema de Producción de Toyota ha identificado siete tipos de desperdicios, que es todo aquello que no dan valor agregado y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar, los cuales se enlistan a continuación⁸:

1. Sobreproducción.
2. Tiempo de Espera.
3. Transporte Innecesario.
4. Sobre-procesamiento o Procesamiento Incorrecto.
5. Inventarios.
6. Movimiento Innecesario.
7. Productos Defectuosos.

A continuación, se describen brevemente cada uno de estos tipos de desperdicios:

1. Sobreproducción

Producir artículos para los que no existen órdenes de producción; esto es, producir producto antes de que el consumidor lo requiera, lo cual provoca que las partes sean almacenadas y se incremente el inventario, así como el costo de mantenerlo.

2. Tiempo de Espera

Los operadores invierten parte de su tiempo observando cómo trabajan las máquinas o esperan por herramientas, piezas, etc. Es aceptable que la máquina espere al operador, pero es inaceptable que el operador espere a la máquina o a la materia prima.

3. Transporte Innecesario

El movimiento innecesario de algunas piezas durante la producción es un desperdicio. Éste puede causar daños a la pieza, lo cual crea un retrabajo.

⁷ Díaz del Castillo Rodríguez Felipe. *Lecturas de Ingeniería: La Manufactura Esbelta*. FES Cuautitlán, UNAM. 2009.

⁸ Villaseñor Alberto, *Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica*. México. Limusa. 2007.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



4. Sobre-procesamiento o Procesamiento Incorrecto

No tener claros los requerimientos de los clientes causa que en la producción se hagan procesos innecesarios, los cuales agregan costos en lugar de valor al producto.

5. Inventarios

El exceso de materia prima, inventario en proceso o productos terminados causan largos tiempos de entrega, obsolescencia de productos, productos dañados, costos por transportación, almacenamiento y retrasos. También, el inventario oculta problemas, tales como: producción desnivelada, entregas retrasadas de los proveedores, defectos, tiempos caídos de los equipos y largos tiempos de ajuste. Al mismo tiempo, se necesita personal para cuidarlo, controlarlo y entregarlo cuando sea necesario.

6. Movimiento Innecesario

Es cualquier movimiento innecesario hecho por el personal durante sus actividades, tales como: mirar, buscar, acumular piezas, herramientas, etc. Caminar también puede ser un desperdicio.

7. Productos Defectuosos

Producción de partes defectuosas, reparaciones o retrabajo, deshechos, reemplazos en la producción e inspección, significan manejo, tiempo y esfuerzo desperdiciado.

Dentro de estas categorías, mencionadas anteriormente, existen muchos otros tipos de desperdicios. Para definir el “desperdicio” y entender cómo asignarlo, es de gran ayuda pensar en tres niveles (ver Tabla. 2.1). El nivel uno es para los grandes desperdicios. Los de este nivel son relativamente fáciles de ver y trabajar con ellos puede generar un gran impacto. El nivel dos es sobre desperdicios de procesos y métodos. En el nivel tres, están los desperdicios menores dentro del proceso⁹.

⁹ Ibidem.



Nivel uno: Grandes desperdicios	Nivel dos: Desperdicios de procesos y métodos	Nivel tres: Desperdicios menores en los procesos
<p>Trabajo en proceso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pobre layout de la planta • <u>Rechazos</u> • <u>Retrabajo</u> • Producto dañado • Tamaño del contenedor • Tamaño de lote • Pobre iluminación • Equipo sucio • El material no se entrega en los puntos que se requiere 	<p>Cambios entre productos muy largos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pobre diseño del lugar de trabajo • Falta de mantenimiento • Almacenes temporales • <u>Problemas con los equipos</u> • Métodos inseguros 	<p>Surtir y alcanzar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Doble manejo • Caminar en exceso • Producir para almacenar • Trabajo en papel • Velocidad de producción y alimentación de materiales

Tabla 2.1.- Clasificación de los desperdicios.

En la Tabla 2.1 se han subrayado aquellos desperdicios que el Ingeniero Mecánico puede resolver con los conocimientos que posee, principalmente, diseñando dispositivos que detecten defectos, así como anticiparse a fallas en el proceso mediante el uso de técnicas que involucren a la Ingeniería Mecánica.

Las Siete Herramientas

La Manufactura Lean se materializa en la práctica a través de la aplicación de una amplia variedad de técnicas o herramientas, muy diferentes entre sí, que se han ido implementando con éxito en empresas de muy diferentes sectores y tamaños.

Estas herramientas pueden implantarse de forma independiente o conjunta, atendiendo a las características específicas de cada caso. A continuación, se enumeran dichas herramientas:

1. Kaizen.
2. TPM (Total Productive Maintenance).
3. Las 5S.
4. SMED (Single Minute Exchange of Die)
5. Kanban.
6. Heijunka.
7. Jidoka.

1. Kaizen

Es el término japonés para el mejoramiento continuo, y es el proceso para hacer mejoras incrementalmente, no importa lo pequeñas que sean, y alcanzar las metas de la Manufactura Lean, de eliminar todos los desperdicios, que generan un costo sin agregar valor. Kaizen enseña a trabajar efectivamente a los individuos en grupos pequeños, a solucionar problemas, documentando y mejorando los procesos, recolectando y analizando datos, y a manejarse por sí mismos.

Kaizen significa mejoramiento. Por otra parte, significa mejoramiento continuo en la vida personal, familiar, social y de trabajo. Cuando se aplica al lugar de trabajo, Kaizen significa mejoramiento continuo que involucra a todos, gerentes y trabajadores por igual.

Existen dos enfoques contrastantes para progresar: el enfoque gradual y el enfoque del gran salto. Por lo general, el enfoque gradual se da mediante el Kaizen y se genera en un proceso continuo, en tanto el otro, se hace a través de una innovación y, por lo general, es un fenómeno de una sola acción.

Para implementar el Kaizen sólo se necesitan técnicas sencillas, convencionales, como las siete herramientas de control de calidad (Diagramas de Pareto, Diagramas de Causa y Efecto, Hoja de Control, Análisis por Estratificación, Histogramas, Diagrama de Dispersión y Gráficas de Control). Con frecuencia, todo lo que se necesita es sentido común. Por otra



parte, la innovación requiere tecnología altamente sofisticada, así como también una enorme inversión.

2. TPM

El Mantenimiento Productivo Total (*TPM* por sus siglas en inglés) es un conjunto de técnicas orientadas a eliminar las averías a través de la participación y motivación de todos los empleados. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios. Para ello, el *TPM* se propone cuatro objetivos:

- Maximizar la eficacia del equipo.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida útil del equipo que se inicie en el mismo momento de diseño de la máquina (diseño libre de mantenimiento) y que incluirá a lo largo de toda su vida acciones de mantenimiento preventivo sistematizado y su mejora mediante reparaciones o modificaciones.
- Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos.
- Implicar activamente a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los operarios, incluyendo mantenimiento autónomo realizado por los empleados y actividades en pequeños grupos.

La eficacia de los equipos se maximiza por medio del esfuerzo realizado en conjunto por la empresa para eliminar las “seis grandes pérdidas” que restan eficacia a los equipos.¹⁰

En general, el TPM consiste de seis actividades, las cuales se describen a continuación:

1. Eliminación de las seis grandes pérdidas

Basándose en los proyectos por equipos organizados en producción, mantenimiento y los departamentos de ingeniería de las plantas, las pérdidas a eliminar son:

- a) Fallas en los equipos, causadas por defectos que requieren de algún tipo de reparación.
- b) Paros menores, que son provocados por eventos, tales como: interrupciones en el funcionamiento de las máquinas debido a falta de material, de herramental, o simplemente de operación, etc.
- c) Pérdida de velocidad, causado por la reducción de la velocidad de operación.

¹⁰ Hernández Matías Juan C. Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. España. 2013.



- d) Preparaciones y ajustes, que son causados por cambios en las condiciones de las operaciones, tales como: en los inicios de las corridas de la producción o en cada cambio de turno, de producto o de las condiciones de las operaciones.
- e) Reducción de la eficiencia, la cual es causada por la materia prima que no se usa o se desperdicia, como: desechos, rechazos, etc.
- f) Defectos y retrabajos del proceso, que son provocados por productos fuera de especificaciones o defectuosos, manufacturados durante una operación normal.

2. Planeación del mantenimiento

Para este punto, se requiere de una serie de actividades que se implementan dentro del piso de producción. Éstas se pueden dividir en 4 fases:

- a) Reducir la cantidad de partes diferentes.
- b) Extender la vida de las partes.
- c) Restaurar las partes deterioradas periódicamente.
- d) Predecir la vida de las partes.

3. Mantenimiento autónomo

Trabajo hecho por el departamento de producción. Aquí los operadores son entrenados en el programa de los 7 pasos (limpiar e inspeccionar el equipo, eliminar las fuentes de contaminación, lubricar los componentes y establecer estándares de limpieza y lubricación, tener inspecciones generales programadas, tener inspecciones autónomas, establecer una administración y control visuales en los lugares de trabajo e implementar una administración autónoma de los equipos) para lograr estos objetivos: establecer las condiciones básicas del equipo, observar las condiciones de uso del equipo, restablecer las partes deterioradas a través de inspecciones globales, desarrollar los conocimientos del operador y conducir a una rutina de supervisión autónoma hecha por el operador.

4. Ingeniería preventiva

Llevada a cabo principalmente por el departamento de ingeniería de la planta. Aquí se busca eliminar las causas de los problemas que se presentan en el periodo de lanzamiento de una nueva línea de producción. Desde antes se tiene que cuidar la administración del equipo y aquí es cuando ingeniería se involucra, ya que se pretende eliminar los problemas provocados por los atributos de los equipos; para ello, se analizan diferentes factores, tales como: rentabilidad, mantenimiento, economía, operación, etc.

5. Diseño de Productos

Los productos deben ser fáciles de hacer. Es una actividad hecha por el departamento de diseño. Al momento de diseñar un producto, a las otras áreas se les olvida lo complicado que es fabricarlo, lo cual provoca grandes problemas. A pesar de los trabajos que se están haciendo para evitar esto, el diseño sigue siendo un punto importante dentro del TPM.

6. Educación y práctica

Se necesita para dar soporte a las 5 primeras actividades. Sin lugar a dudas, éste es un punto importante, ya que sin un buen entrenamiento, los operadores y sus respectivas áreas no podrían brindar el soporte adecuado al TPM. Por ello, es vital tener un buen programa de entrenamiento para todas las áreas involucradas dentro del programa.¹¹

3. Las 5S

La herramienta 5S corresponde con la aplicación sistemática de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo que, de una manera menos formal y metodológica, ya existían dentro de los conceptos clásicos de organización de los medios de producción. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen las herramientas y cuya fonética empieza por “S”: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito.

Es una técnica que se aplica en todo el mundo con excelentes resultados por su sencillez y efectividad, por lo que es la primera herramienta a implantar en toda empresa que aborde la Manufactura Lean. Produce resultados tangibles y cuantificables para todos, con gran componente visual y de alto impacto en un corto plazo de tiempo. Es una forma indirecta de que el personal perciba la importancia de las cosas pequeñas, de que su entorno depende de él mismo, que la calidad empieza por cosas muy inmediatas, de manera que se logra una actitud positiva ante el puesto de trabajo.¹²

Su implantación tiene por objetivo evitar que se presenten los siguientes síntomas disfuncionales en la empresa y que afectan, decisivamente, a la eficiencia de la misma:

¹¹ Villaseñor Alberto, Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica. México. Limusa. 2007.

¹² Hernández Matías Juan C. Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. España. 2013.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



- Aspecto sucio de la planta: máquinas, instalaciones, técnicas, etc.
- Desorden: pasillos ocupados, hojas técnicas sueltas, embalajes, etc.
- Elementos rotos: mobiliario, cristales, señales, topes, indicadores, etc.
- Falta de instrucciones sencillas de operación.
- Número de averías más frecuentes de lo normal.
- Desinterés de los empleados por su área de trabajo.
- Movimientos y recorridos innecesarios de personas, materiales y utillajes.
- Falta de espacio en general.

Las 5S son:

Seiri: Separar

Seiri o clasificar, consiste en retirar del área o estación de trabajo todos aquellos elementos que no son necesarios para realizar la labor, ya sea en áreas de producción o en áreas administrativas.

No hay que pensar en que este o aquel elemento podría ser útil en otro trabajo o si se presenta una situación muy especial, los expertos recomiendan que ante estas dudas hay que desechar dichos elementos.

Seiton: Ordenar e Identificar

Seiton u orden, significa más que apariencia. El orden empresarial dentro del concepto de las 5S se podría definir como: la organización de los elementos necesarios de modo que resulten de fácil uso y acceso, los cuales deberán estar, cada uno, etiquetados para que se encuentren, retiren y devuelvan a su posición, fácilmente por los empleados. El orden se aplica posterior a la clasificación y organización, si se clasifica y no se ordena difícilmente se verán resultados. Se deben usar reglas sencillas como: lo que más se usa debe estar más cerca, lo más pesado abajo, lo liviano arriba, etc.

Seiso: Limpieza

Seiso o limpieza incluye, además de la actividad de limpiar las áreas de trabajo y los equipos, el diseño de aplicaciones que permitan evitar o al menos disminuir la suciedad y hacer más seguros los ambientes de trabajo. Sólo a través de la limpieza se pueden identificar algunas fallas, por ejemplo, si todo está limpio y sin olores extraños es más probable que se detecte tempranamente un principio de incendio por el olor a humo o un mal funcionamiento de un equipo por una fuga de fluidos, etc. Limpiar es una excelente forma de inspeccionar. Asimismo, la demarcación de áreas restringidas, de peligro, de



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



evacuación y de acceso genera mayor seguridad y sensación de seguridad entre los empleados.

Seiketsu: Estandarizar

El Seiketsu o limpieza estandarizada pretende mantener el estado de limpieza y organización alcanzado con la aplicación de las primeras tres S, el seiketsu sólo se obtiene cuando se trabajan continuamente los tres principios anteriores. En esta etapa o fase de aplicación (que debe ser permanente), son los trabajadores quienes adelantan programas y diseñan mecanismos que les permitan beneficiarse a sí mismos. Para generar esta cultura se pueden utilizar diferentes herramientas, una de ellas es la localización de fotografías del sitio de trabajo en condiciones óptimas (Ayudas Visuales) para que pueda ser visto por todos los empleados y así recordarles que ese es el estado en el que debería permanecer; otra, es el desarrollo de unas normas en las cuales se especifique lo que debe hacer cada empleado con respecto a su área de trabajo y cada cuando lo debe de realizar.

Shitsuke: Sistematizar o disciplina

Shitsuke o disciplina, significa evitar que se rompan los procedimientos ya establecidos. Sólo si se implanta la disciplina y el cumplimiento de las normas y procedimientos ya adoptados se podrá disfrutar de los beneficios que ellos brindan. El shitsuke es el canal entre las 5S y el mejoramiento continuo. Shitsuke implica control periódico, visitas sorpresa, autocontrol de los empleados, respeto por sí mismo y por los demás así como mejor calidad de vida laboral. La única forma para mantener un sistema vivo, es la retroalimentación. En esta etapa, se sugiere realizar un plan formal de auditorías que incluya todas y cada una de las áreas de la empresa, y proporcionar este reporte a las personas responsables para que tomen acciones y gestionen los apoyos necesarios para continuar por el camino de la mejora continua.¹³

¹³ Manufactura Esbelta: Principales Herramientas. Revista Panorama Administrativo. Año 1 No. 2. Enero-Junio 2007.



En resumen (Ver Figura 2.1):

SEIRI (Separar y eliminar)

- Separar los artículos necesarios de los no necesarios.
- Dejar sólo los artículos necesarios en el lugar de trabajo.
- Eliminar los elementos no necesarios.
- Verificar periódicamente que no haya elementos no necesarios.

SEITON (Arreglar e identificar)

- Identificar los artículos necesarios.
- Marcar áreas en el suelo para elementos y actividades.
- Poner todos los artículos en su lugar definido.
- Verificar que haya "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar".

SEISO (Proceso diario de limpieza)

- Limpiar cuando se ensucia.
- Limpiar periódicamente.
- Limpiar sistemáticamente.
- Verificar sistemáticamente la limpieza de los puestos de trabajo.

SEIKETSU (Estandarizar)

- Definir métodos de orden y limpieza.
- Aplicar el método general en todos los puestos de trabajo.
- Desarrollar un estándar específico por puesto de trabajo.
- Verificar que exista un estándar actualizado en cada puesto de trabajo.

SHITSUKE (Construir el hábito)

- Hacer el orden y la limpieza con los trabajadores de cada puesto.
- Formar a los operarios de cada puesto para que hagan orden y limpieza.
- Actualizar la formación de los operarios cuando hay cambios.
- Crear un sistema de auditoría permanente de planta visual y 5S.

Figura 2.1.- Las 5S



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



4. SMED

El *SMED* (*Single Minute Exchange of Die*) o cambios rápidos de herramientas, es una metodología o conjunto de técnicas que persiguen la reducción de los tiempos de preparación de máquina. Ésta se logra estudiando detalladamente el proceso e incorporando cambios radicales en la máquina, utillaje, herramientas e incluso el propio producto, que disminuyan tiempos de preparación. Estos cambios implican la eliminación de ajustes y estandarización de operaciones a través de la instalación de nuevos mecanismos de alimentación/retirada/ajuste/centrado rápido como plantillas y anclajes funcionales.

Es una metodología clara, fácil de aplicar y que consigue resultados rápidos y positivos, generalmente con poca inversión aunque requiere método y constancia en el propósito.

Los nuevos métodos de cambio reducen sustancialmente los defectos y suprimen la necesidad de inspecciones. Con cambios rápidos se puede aumentar la capacidad de la máquina. Si las máquinas se encuentran a plena capacidad, una opción para aumentarla, sin comprar máquinas nuevas, es reducir su tiempo de cambio y preparación.¹⁴

Un ejemplo claro y sencillo para visualizar de qué se trata SMED y qué impacto tiene sería imaginar a un auto Fórmula 1, en donde al entrar a la zona de pits para realizar el cambio de neumáticos, el tiempo en que el equipo de cambio de neumáticos ejecuta ésta operación es vital y trascendental en la carrera, mientras más rápido se realice esta acción es mejor. En la industria sucede lo mismo, mientras más rápido se realice el cambio de herramental en la línea de producción, el proceso permanecerá continuo por mayor tiempo. En el ejemplo anterior, SMED equivaldría al equipo encargado del remplazo de los neumáticos, quienes son los responsables de reducir el tiempo de cambio.

Con frecuencia, una gran parte del tiempo de configuración puede eliminarse si se garantiza que la materia prima respeta las especificaciones, que las herramientas estén afiladas y que los accesorios estén disponibles y en buenas condiciones.

Cuando se intenta reducir el tiempo de configuración se deben tomar en cuenta varios aspectos:

1. El trabajo que pueda realizarse mientras el equipo esté en operación deberá hacerse en el momento. Por ejemplo, la preconfiguración de las herramientas del equipo de control numérico (CNC) puede hacerse mientras la máquina se encuentra trabajando.

¹⁴ Hernández Matías Juan C. Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. España. 2013.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



2. Uso de elementos de sujeción más eficientes. En general, los sujetadores de acción rápida que emplean acción de levas, palancas, cuñas, etc., son mucho más rápidos, proporcionan una fuerza adecuada y son generalmente una buena opción respecto a los sujetadores de rosca. Cuando sea necesario, utilizar sujetadores de rosca (como fuerza sujetadora), las arandelas C o los agujeros rasurados se pueden emplear de tal manera que las tuercas y tornillos no tengan que ser quitados de la máquina y puedan reutilizarse, lo que reduce el tiempo de configuración del siguiente trabajo.

3. Eliminación del ajuste de la base de la máquina. El rediseño de los accesorios de las partes y la utilización de herramientas preconfiguradas, puede eliminar la necesidad de emplear espaciadores o ajustes del bloque guía, a la posición de la mesa.

4. Empleo de patrones o calibradores de bloques, con la finalidad de realizar ajustes rápidos a los topes de las máquinas.¹⁵

El proceso SMED, es muy sencillo:

1. Establecer el tiempo actual del cambio.
2. Identificar todas las actividades que se llevan a cabo.
3. Identificar actividades que pueden ser eliminadas.
4. Distinguir entre actividades internas y externas.
5. Eliminar las actividades innecesarias.
6. Hacer externas todas las actividades posibles.
7. Optimizar las actividades internas y externas.
8. Establecer el nuevo tiempo de cambio.¹⁶

¹⁵ Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. Niebel, Benjamín. Freivalds, Andris. 12ed. México. 2009.

¹⁶ Manufactura Esbelta: Principales Herramientas. Revista Panorama Administrativo. Año 1 No. 2. Enero-Junio 2007.



5. Kanban

En la manufactura esbelta, Kanban es la herramienta indicada para controlar la información y regular el transporte de materiales entre los procesos de producción.

Kanban son tarjetas adheridas a los contenedores que almacenan lotes de tamaño estándar. Cuando se tiene un inventario, éste tiene una tarjeta que actúa como una señal para indicar qué cantidad se requiere de él. De esta manera, el inventario solamente cuenta con lo que se requiere, las cantidades exactas.

El Kanban tiene cuatro propósitos:

1. Prevenir la sobreproducción (y la sobretransportación) de materiales entre todos los procesos de producción.
2. Proporcionar instrucciones específicas entre los procesos, basadas en los principios de surtido. Kanban logra esto mediante el control del tiempo del movimiento de materiales y la cantidad de material que se transporta.
3. Servir como una herramienta de control visual para los supervisores de producción y para determinar cuándo la producción va por debajo o por arriba de lo programado. Con una mirada rápida al dispositivo que tiene el Kanban en el sistema, se puede ver si el material y la información están fluyendo acorde a lo planeado o existen anomalías.
4. Establecer una herramienta para el mejoramiento continuo. Cada Kanban representa un contenedor de inventario en el mapa de proceso. Conforme pasa el tiempo, la reducción planeada de los Kanbans en el sistema será directamente igual a la reducción de inventarios y proporcional a la disminución del tiempo de entrega para los consumidores.

Existen dos tipos de Kanban: Kanban de producción (también conocido como Kanban para hacer) y Kanban de retiro (también conocido como Kanban para mover).

La principal diferencia entre el Kanban de producción y el Kanban de retiro es que el primero es una señal para hacer algo, en tanto que el otro es una señal de que algo se necesita retirar del inventario (entonces se provoca la señal para surtir) y transportar a los procesos anteriores. Cada tipo de Kanban tiene dos subdivisiones (ver Figura 2.2):



Figura 2.2.- Clasificación de Kanban.

A continuación, se da una breve descripción de los tipos de Kanbans:

Kanban en proceso: Es usado para tener una instrucción de transporte de una pequeña cantidad para los siguientes procesos.

Señal Kanban: Es usada para tener instrucciones de transporte de materiales para los siguientes procesos, que manejan lotes, tales como prensas de estampado y máquinas moldeadoras. Esta señal utiliza el tamaño del lote en conjunto con los supermercados para alimentar a los procesos siguientes; mientras, permite seguir con los cambios de materiales en los otros procesos.

Kanban de retiro o entre procesos para propósitos internos: Es usado como señal cuando se necesita retirar (mover) partes de un área de almacenamiento y transportarlas a los siguientes procesos dentro de la planta. Este tipo de Kanban normalmente se usa en conjunto con el flujo continuo en células de ensamble que trabajan con un gran número de componentes tanto de fuentes internas como externas.

Kanban proveedor: Es usado como señal para indicar que se necesitan retirar partes desde un proveedor externo y transportarlas a un almacén de piezas para los



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



consumidores de los siguientes procesos. La diferencia con el Kanban de entre procesos radica en que éste es usado con los proveedores externos.

Dentro del Kanban se tiene un conjunto de reglas, las cuales se enlistan a continuación:

- a) Las operaciones siguientes retiran artículos de las operaciones anteriores.
- b) Las operaciones anteriores producen y transportan solamente cuando una tarjeta Kanban es presentada y solamente se surtirá el número de parte indicada sobre el Kanban.
- c) Las tarjetas Kanban se mueven con el material para proveer un control de forma visual.
- d) El número de tarjetas Kanban determina la cantidad de inventario del trabajo en proceso.
- e) Hay que tratar de reducir el número de tarjetas de Kanban en circulación, para forzar al mejoramiento.

Puntos clave a tomar en cuenta:

- Kanban son tarjetas adheridas a los contenedores que almacenan lotes de tamaño estándar. Cuando se tiene un inventario, éste es representado por una tarjeta, la cual actúa como una señal para indicar qué cantidad se requiere para el inventario. De esta manera, el inventario solamente cuenta con lo que se requiere, las cantidades exactas.
- La calidad se construye en cada proceso y los procesos nunca deben enviar productos defectuosos a las siguientes operaciones. Pasar problemas a las siguientes operaciones provoca confusión y esconde la fuente de éstos; además, provoca que los problemas tarden más en resolverse.
- La tarjeta Kanban siempre se mueve con los productos para asegurarse de que la información llegue justo a tiempo (*Just In Time*) y se tenga siempre un control visual.¹⁷

¹⁷ Villaseñor Alberto, Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica. México. Limusa. 2007.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



6. Heijunka

Heijunka es la técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo, normalmente un día o turno de trabajo. Evidentemente, esta herramienta no es aplicable si hay nula o poca variación de tipos de producto. La gestión práctica del Heijunka requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos y, a su vez, exige una estricta atención a los principios de estandarización y estabilización. Los pedidos de los clientes son relativamente constantes si se consideran en promedio dentro de un período suficientemente grande de tiempo, pero son impredecibles si se analizan con un rango de tiempo pequeño y fuera de un programa pactado. En el primer caso, las variaciones de la producción se deben al propio proceso (planificación, tamaño de los lotes, incidentes, oportunidades de negocio, etc.). En el segundo caso, es la aplicación extrema del tamaño unitario del lote lo que lleva a las empresas a intentar el ajuste instantáneo de la demanda, soportando todas las variaciones de los pedidos. A través de una producción continua nivelada, suavizada y en pequeños lotes, se logra producir con el mínimo nivel de despilfarro posible.

Para la aplicación del Heijunka existen una serie de técnicas que, integradas en su conjunto, permiten obtener un sistema avanzado de producción con flujo constante, ritmo determinado y trabajo estandarizado, lo que proporciona unas ventajas muy significativas desde el punto de vista de la optimización de mano de obra, minimización de inventarios y tiempos de respuesta al cliente. Estas técnicas son:

- Usar células de trabajo.
- Flujo continuo pieza a pieza.
- Producir respecto al “Takt time” (tiempo de ritmo).
- Nivelar el volumen de producción.



7. Jidoka

Esencialmente, Jidoka significa construir un sistema que muestre los problemas y defectos. También se refiere al diseño de las operaciones y equipos que no detengan a los operadores y así éstos estén libres para que hagan trabajo que agregue valor.

Jidoka consiste en instalar un mecanismo en las máquinas que les permita detectar defectos y también un mecanismo que detenga la línea o la máquina cuando ocurren los defectos. Estas máquinas agregan valor a la producción sin necesidad de contar con un operador.

Se cuenta con cuatro pasos para el desarrollo del Jidoka o automatización con toque humano, y cada uno de ellos concierne a la relación entre las personas y las máquinas:

1. Análisis de la actividad manual: Estudiar el proceso, qué tanto trabajo hace la gente y qué tanto hacen las máquinas. Calcular el porcentaje y hacer una hoja de trabajo estándar del proceso.
2. Mecanización: Una parte del trabajo manual es tomado por la máquina.
3. Automatización: En este paso, la actividad manual es tomada por la máquina. Pero no hay manera de saber si se están cometiendo defectos.
4. Jidoka: En esta parte, la máquina detecta los errores y se detiene. En aplicaciones más avanzadas, la máquina llega a corregir el problema.

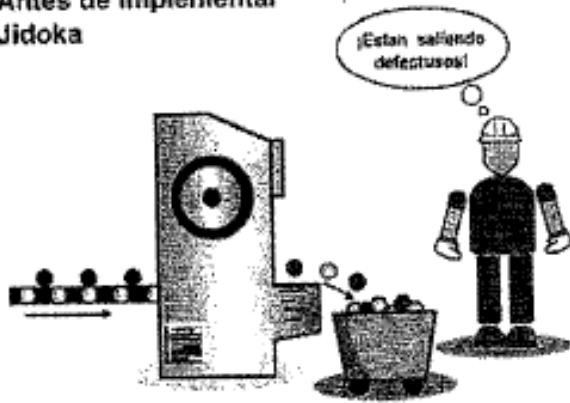
A continuación, se muestra cómo se deben implementar las cuatro fases anteriores:

1. Análisis de la actividad manual: Cada operación se hace manualmente. Se depende de la mano de obra barata.
2. Mecanización: Se utiliza una máquina que detiene parte de la operación manual haciendo el trabajo más fácil, pero aún predomina el factor humano.
3. Automatización: Se automatizan la mayoría de las operaciones, con los operadores cargando y descargando las máquinas y poniendo en marcha el ciclo automático.
4. Automatización con toque humano (Jidoka): Aplicando a un ejemplo: esa es una línea de montaje con piezas electrónicas. Un trabajador opera diez máquinas. El trabajador carga las piezas en la máquina y pulsa el comienzo del ciclo de mecanizado o proceso. Algunas máquinas descargan las piezas por sí mismas. Estas máquinas trabajan con independencia de los trabajadores y tienen una función para el cero defecto.¹⁸

En la siguiente figura, se puede observar lo que sucede cuando se implementa Jidoka (Ver Figura 2.3).

¹⁸ Villaseñor Alberto, Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica. México. Limusa. 2007.

Antes de Implementar Jidoka



Después de Implementar Jidoka



Figura 2.3.- Evolución Jidoka.

Aspectos Principales de Jidoka

Jidoka, es la herramienta de la Manufactura Lean para solucionar el desperdicio por productos defectuosos. Existen puntos clave que se aplican a Jidoka para cumplir con el objetivo (Ver Figura 2.4):



Figura 2.4.- Conceptos clave de Jidoka.



Separar actividades hombre-máquina

Como se mencionó en el capítulo anterior, tras analizar y estudiar el proceso, se detectan las actividades a realizar por el hombre y las actividades propias de la máquina, esto con la finalidad de utilizar al hombre en actividades que generen valor agregado y esperar a que una máquina termine una acción no agrega valor al proceso. Citando textualmente “... *(Jidoka) también se refiere al diseño de las operaciones y equipos que no detengan a los operadores y así éstos estén libres para que hagan trabajo que agregue valor.*”

Operador¹⁹

La capacidad de parar la línea por parte del operario es un aspecto fundamental del Jidoka. Cada operario puede pulsar un botón para detener la producción cuando detecta defectos o irregularidades. Cuando el operario pulsa el botón, una señal (Andón) indica el problema y alerta a todos los compañeros de la sección de las dificultades de la operación asignada al operario.

Andón.²⁰

El andón es una herramienta visual que muestra el estado actual de las operaciones, sólo con pasar por el lugar de trabajo. Básicamente, este sistema consiste de un tablero en una parte alta del área con indicadores de la estación. En cuanto una luz se enciende, es señal de que hay un problema; esta alarma o señal puede ser producida de forma manual o automática. La señal sirve para que se genere una ayuda inmediata, o bien, para que se tenga una retroalimentación.

Puntos clave a tomar en cuenta:

- El andón es una herramienta que forma parte del sistema de producción Toyota.
- Este sistema funciona con base en luces o indicadores, acompañados de música o una alarma.

Pokayoke

Otro punto clave de las técnicas Jidoka es el sistema de autoinspección o inspección “a prueba de errores”, conocido como pokayoke en japonés. Se trata de unos mecanismos o dispositivos que, una vez instalados, evitan los defectos al cien por ciento aunque exista un error humano. En otras palabras, se trata de que “los errores no deben producir defectos y mucho menos aún progresar”. Los pokayokes se caracterizan por su simplicidad (pequeños dispositivos de acción inmediata, muchas veces sencillos y económicos), su eficacia (actúan por sí mismos, en cada acción repetitiva del proceso, con

¹⁹ Hernández Matías Juan C. Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. España. 2013.

²⁰ Villaseñor Alberto, Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica. México. Limusa. 2007.



independencia del operario) y tienen tres funciones contra los defectos: pararlos, controlarlos y avisar de ellos.

El diseño de un pokayoke debe partir de la base de que han de ser baratos, duraderos, prácticos, de fácil mantenimiento e ingeniosos.²¹

De los puntos anteriores, el pokayoke es en el que se encuentra una mayor aplicación de la Ingeniería Mecánica.

Los errores humanos, usualmente, lo son por distracción. Los mecanismos pokayoke ayudan a evitar defectos, incluso aunque inadvertidamente se cometan errores. Los pokayokes ayudan a mejorar la calidad de fabricación de los productos en el proceso.

A continuación, se muestran cinco ejemplos de pokayoke para detectar o evitar defectos causados por errores humanos:

1. Pines de guía de distintos tamaños.
2. Alarmas y detección de errores.
3. Interruptor de límite.
4. Contadores.
5. Listas de control.

Funciones básicas de un Pokayoke²²

Un defecto existe en dos estados: está a punto de ocurrir o ha ocurrido ya. El pokayoke emplea tres funciones básicas contra los defectos: Parada, control y aviso. El reconocimiento de que un defecto está a punto de ocurrir se denomina predicción, y reconocer que un defecto ha ocurrido se denomina detección.

Para implementar un pokayoke, se pueden seguir las siguientes sugerencias:

1. Identificar artículos por sus características:
 - a. De peso: Establecer estándares de peso, usar balanza o escala para identificar piezas defectuosas.
 - b. Por dimensiones: Establecer estándares para longitud, anchura, diámetro, etc. Identificar divergencias con los estándares usando pines de plantillas, interruptor de límite, etc.

²¹ Hernández Matías Juan C. Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. España. 2013.

²² Cabrera Calva, Rafael. Poka Yoke, Magia o Técnicas para prevenir errores y defectos.

- c. Por su forma: Establecer estándares para características de forma tales como ángulos, salientes, curvatura o posiciones de agujeros. Identificar divergencias con estándares con indicadores de límite, vástagos de posición y plantillas.
2. Detección, desviación de procedimientos o procesos omitidos:
 - a. Método de secuencia de procesos: El trabajo siguiente no puede realizarse si la operaciones de la máquina o el trabajador no siguen los procedimientos estándares.
 - b. Método de secuencia de proceso a procesos: Las operaciones no pueden realizarse si se ha omitido alguno de una serie de procesos y no se han seguido los procedimientos regulares.
 3. Detectar desviaciones de valores fijos:
 - a. Uso de contador: Se usa como referencia un número fijo, por ejemplo, un número de operaciones o piezas. Si el número actual difiere de la referencia, suena una alarma.
 - b. Método de piezas sobrantes: Cuando un número de piezas se monta como un lote, se prepara el número exacto de piezas necesarias; cuando se completa el lote, un sobrante de piezas indica un error.
 - c. Detección de condición crítica: Se mide una condición de fabricación crítica, tal como presión, corriente, temperatura o tiempo. El trabajo no puede proceder si el valor no está dentro de un rango predeterminado.

Los mecanismos industriales más usuales a prueba de errores son:

- Interruptores de Límite.
- Sensores de Proximidad.
- Sensores Laser de Desplazamiento.
- Sistemas de Visión.
- Mecanismos Electromecánicos o Electrónicos de tiempo y Contadores.
- Sensores Fotoeléctricos.
- Sensores de Ultrasonido.
- Familias de Instrumentos de Medición de Características de Procesos:
 - Temperatura.
 - Presión.
 - Carga Eléctrica.
 - Flujo.

- Movimiento.
 - Velocidad.
 - Viscosidad.
 - pH.
 - Masa/Peso.
 - Humedad.
- Familias de Sensores Especializados:
 - Lector de Código de Barras.
 - Reconocimiento de Color.
 - Sensor de Impacto.
 - Detector de Metales.
 - Detector de Humedad.

Comparación de los diferentes tipos de dispositivos contra errores				
TIPO	FUENTE DE SUMINISTRO	MARGEN DE COSTO	MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD
MECÁNICO	NORMALMENTE TRABAJADORES	MUY BAJO	MUY BAJO	ALTA
	INTERNOS DE LA MISMA EMPRESA			
ELECTROMECAÁNICO	ESPECIALISTAS INTERNOS	ALTO	BAJO	ALTA
	Y EXTERNOS			
ELECTRÓNICO	PRINCIPALMENTE ESPECIALISTAS	NORMALMENTE	BAJO	
	EXTERNOS	ELEVADO	PERO ESPECIALIZADO	MUY ALTA

Figura 2.5.- Comparación de los diferentes tipos de Pokayokes.

Se puede observar en la Figura 2.5 que conforme la aplicación se torna más tecnológica, el costo también se incrementa. Lo que se necesita hacer es analizar bien el problema y la causa raíz para encontrar la solución más económica, no sólo justificar la compra de un dispositivo costoso.



Ejemplos de aplicación de Pokayokes

Una sierra está cortando material fuera de escuadra. Se puede aplicar Jidoka al instalar un dispositivo que alerte sobre esta anomalía, deteniendo automáticamente la misma. (Ver Figura 2.6).



Figura 2.6.- Sierra cortando material.

En un taladro de banco, el husillo ha adquirido juego y los barrenos realizados no son concéntricos. El problema se corrige al instalar un dispositivo que alerte sobre el problema y detenga la máquina. (Ver Figura 2.7).



Figura 2.7.- Taladro de Banco.



En una inyectora de plástico, las resistencias no calientan correctamente, lo que genera un flujo en el material inadecuado y que ocasiona piezas defectuosas. El sistema Jidoka advierte sobre dicha anomalía y evita la operación de la máquina bajo estas condiciones. (Ver Figura 2.8).

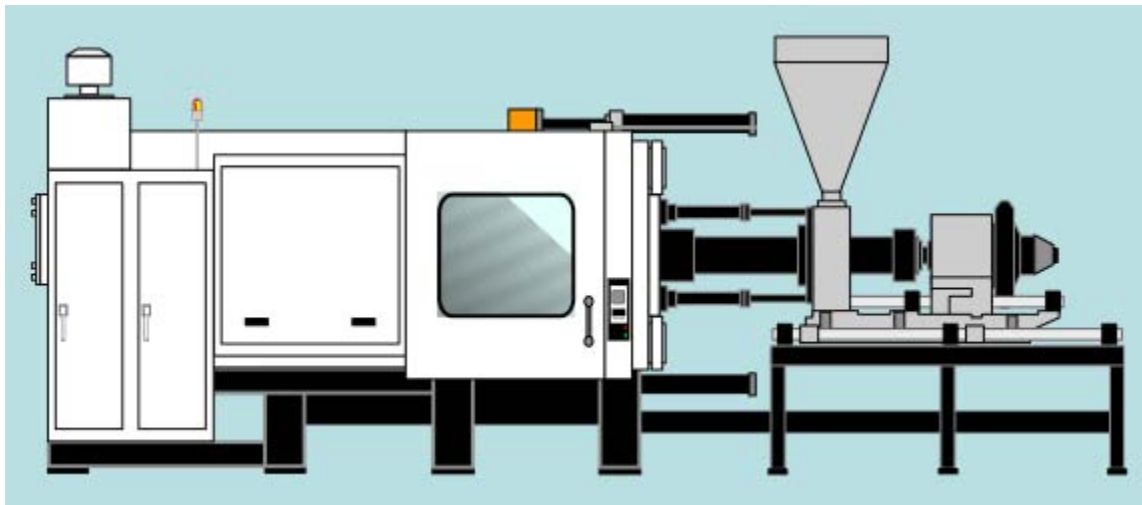


Figura 2.8.- Inyectora de Plástico.

Sensores de peso colocados en ganchos impiden el levantamiento de cargas cuando éstas exceden su capacidad máxima. (Ver Figura 2.9).



Figura 2.9.- Ganchos levantando diferentes pesos.



En una prensa de estampado, el robot alimentador ha colocado equivocadamente la chapa a procesar, ligeramente corrida con respecto a la matriz, si se continúa con el proceso, la pieza saldrá no conforme a la matriz. En este caso, un sensor detecta dicha anomalía no permitiendo la operación de la prensa. (Ver Figura 2.10).

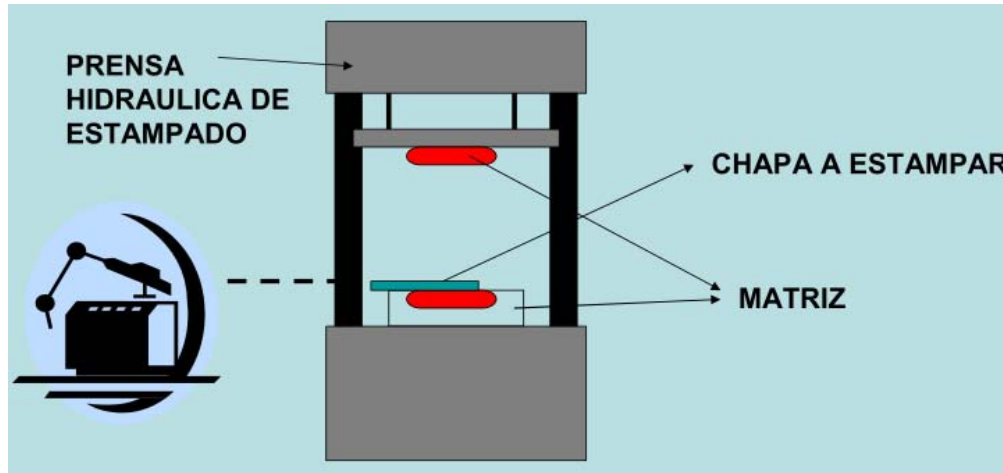


Figura 2.10.- Prensa de estampado.

En una máquina CNC una serie de sensores incorporados avisan de la rotura de alguna herramienta. De esta manera, el proceso se interrumpe evitando la generación de piezas erróneas. (Ver Figura 2.11).



Figura 2.11.- Máquina CNC.



En la manufactura de un monoblock para un motor de 4 o 6 cilindros, se utilizan un herramental llamado brocas, en el proceso de perforado, alguna broca puede llegar a romperse. El operador puede no estar en ese momento y, por lo tanto, la máquina continuará con la operación originando una pieza incompleta ó desperdicio. La solución, colocar sensores en cada una de las brocas que no sólo detengan la máquina si no que, además, avisen de forma luminosa lo que ha ocurrido. (Ver Figura 2.12 y Figura 2.13).

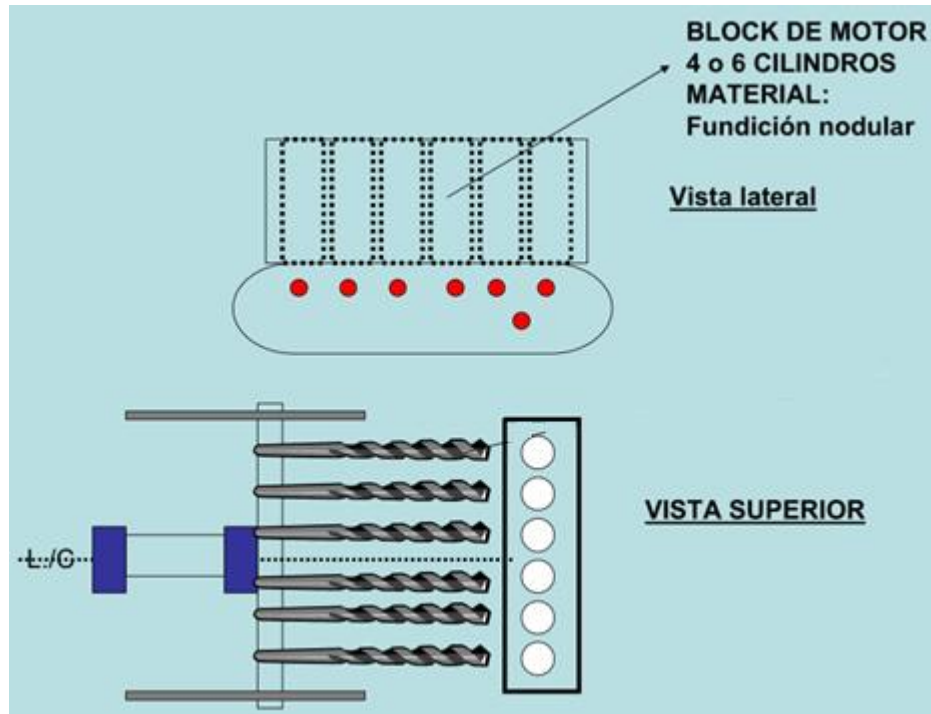


Figura 2.12.- Manufactura de un Monoblock.

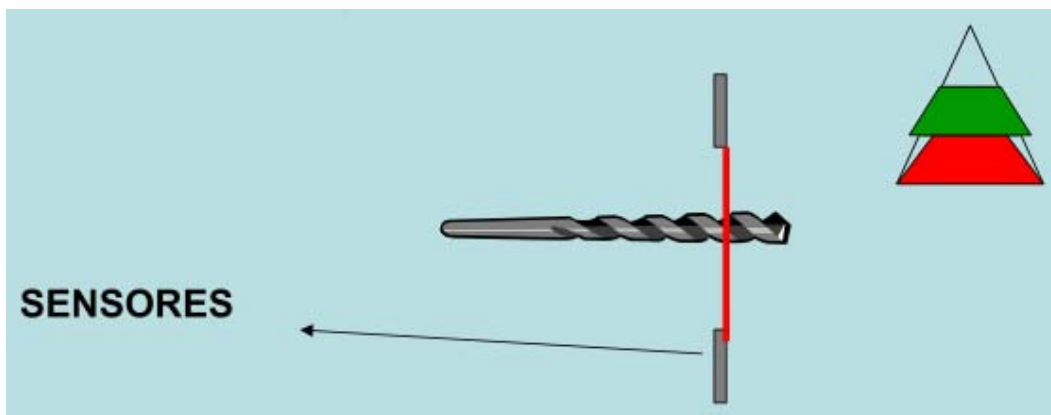


Figura 2.13.- Sensores en la manufactura de un Monoblock.

Capítulo III.- Aplicación de la Ingeniería Mecánica en la Manufactura Lean

Tras estudiar los conceptos principales que forman parte de la Manufactura Lean, se ha encontrado que la Ingeniería Mecánica tiene grandes aplicaciones en tres de las siete herramientas, como lo son: TPM, SMED y Jidoka.

En este capítulo se profundizará sobre el campo de aplicación de la Ingeniería Mecánica en este Sistema de Producción, así como las áreas de oportunidad dentro de la Manufactura Lean.

Como se ha visto en el primer capítulo, el objetivo principal de un Sistema de Producción *JIT* es aumentar las ganancias mediante la reducción de costos logrando la excelencia en la fabricación, esto se puede alcanzar mediante las siguientes acciones (Ver Figura 3.1):

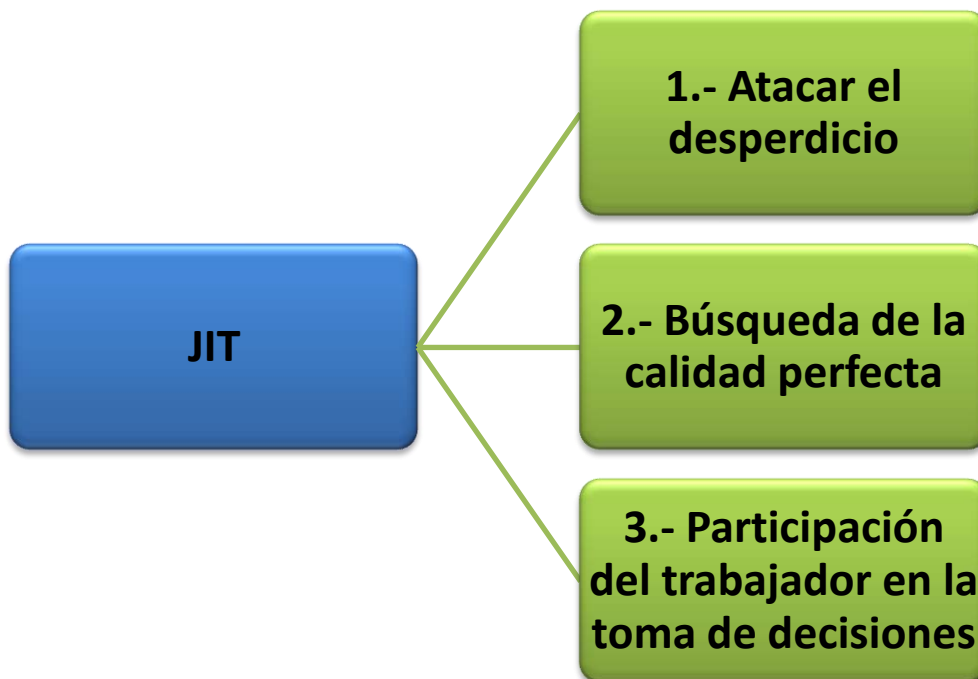


Figura 3.1.- Objetivos del *JIT*.

La aplicación de la Ingeniería Mecánica en el *JIT* se puede encontrar en el punto número uno y el número dos.

Tratándose de desperdicios, de los vistos en el segundo capítulo, en donde se tiene un campo de estudio más amplio es en el desperdicio por productos defectuosos, aunque uno



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



de los más importantes y posiblemente el mayor de ellos es el inventario, ya que detrás de él se ocultan otros desperdicios tales como: espera, transportación e incluso defectos, como se ha visto en el capítulo mencionado en líneas precedentes.

Existen herramientas Lean con las cuales se pueden contrarrestar los desperdicios, de las cuales en este capítulo se destacarán tres por ser aquellas en las que la Ingeniería Mecánica tiene un mayor impacto positivo, siendo estas: TPM, SMED y JIDOKA.

Dentro de los objetivos del Mantenimiento Productivo Total (TPM), se encuentra explícita la Ingeniería Mecánica, citando dos objetivos descritos en el segundo capítulo:

- ***“Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida útil del equipo que se inicie en el mismo momento de diseño de la máquina (diseño libre de mantenimiento) y que incluirá a lo largo de toda su vida acciones de mantenimiento preventivo sistematizado y mejora del mismo, mediante reparaciones o modificaciones.”***
- ***“Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos.”***

En los objetivos, se ha resaltado la intervención de la Ingeniería Mecánica y dentro de éstos, el campo con mayor aplicación es el Diseño. A continuación, se ejemplifica lo anterior.

Dentro de las actividades que en general forman el TPM, desarrollar diseños de maquinaria, utilizada en la industria en general, tiene una amplia aplicación en la Ingeniería Mecánica, ya que dichos diseños deben aproximarse lo más que se pueda al concepto de diseño libre de mantenimiento, esto con la finalidad de garantizar una larga vida útil del equipo y evitar costosas reparaciones, las cuales además de generar gastos monetarios, interrumpen el flujo de la línea de producción, presentándose desperdicios tales como espera y transportación mientras la máquina se encuentra en mantenimiento.

Con lo descrito en el párrafo anterior, se puede comprender que el papel del Ingeniero Mecánico en el Área de Diseño es fundamental dentro del TPM y que aplicando los métodos adecuados de diseño se puede llegar al objetivo de tener una máquina lo más cercana al libre mantenimiento.

Como se ha explicado anteriormente, en el Capítulo 2, SMED es una herramienta que mediante el intercambio rápido de herramientas (menos de 10 minutos) se puede reducir drásticamente inventario, transportación, retraso y espera, defectos que obstaculizan el cumplimiento del objetivo del *JIT*.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Por lo general, los sistemas tradicionales de sujeción de herramientas son por medio de tuercas, rondanas, pernos y tornillos. Utilizándose herramientas manuales, tales como desarmadores, llaves, etc. para su desensamble. Así mismo, al momento de cambiar de herramienta el ajuste de posicionamiento es manual y, por ende, toma mayor tiempo, en ocasiones puede llevarse horas cambiar de herramienta, por ejemplo un troquel.

Existen soluciones rápidas para reducir el tiempo de intercambio de herramientas, tales como:

- Utilizar menos tornillos y tuercas.
- Uso de herramientas neumáticas.
- Cambiar pernos por abrazaderas neumáticas controladas por el operador.
- Usar pines y guías para centrar.
- Adaptar topes para asegurar el correcto posicionamiento del herramienta.
- Tener las herramientas adecuadas a la mano, así como carros para transportarlas.
- Contar con materia prima para la producción, con disposición inmediata.

De acuerdo con John L. Warne, un experto en la aplicación de la Manufactura Lean, el tiempo de instalación y de cambio de un trabajo a otro se reduce en un 50% mediante el manejo adecuado de actividades externas de la máquina, las cuales, como se ha mencionado anteriormente se llevan a cabo mientras la máquina está en operación. Atendiendo a éstas recomendaciones se elimina el almacenaje, búsqueda y transportación de herramientas, así como la reducción del tiempo de intercambio de herramienta a menos de 10 minutos.

La aplicación de la Ingeniería Mecánica en este tipo de herramienta de la Manufactura Lean es basta y tiene que ver con todas las áreas de ésta ingeniería. Existen diversos métodos para poder seleccionar la solución adecuada, dependiendo de cuál sea la necesidad del cliente. Por ejemplo, si se trata de convertir un sistema de sujeción tradicional (tuercas y tornillos) por uno que reduzca el tiempo de intercambio, se puede hacer uso del diseño para ensamble del autor Geoffrey Boothroyd²³, cuyos principios básicos son:

- Minimizar el número de piezas.
- Asegurar que las piezas sean fáciles de ensamblar.
- Evitar piezas que se atoren, se enganchen o sean difíciles de manipular.

²³ Boothroyd Geoffrey. Product Design for Manufacture and Assembly. Second Edition. Marcel Dekker Inc. 2002, New York, USA.



- Minimizar la resistencia a la inserción por medio de chaflanes y tolerancias adecuadas.
- No restringir la visión con el objeto ensamblado.

Y con ello hallar la mejor solución al problema de ensamble de herramienta, priorizando la velocidad de ensamble con la finalidad de reducir el tiempo de cambio de herramienta.

Existen otros métodos que pueden utilizarse, la mayoría se desprende de un concepto llamado diseño para la excelencia, que engloba una serie de técnicas de diseño, cuyo objetivo es gestionar la calidad, el costo y el tiempo de entrega de un nuevo producto. En la Figura 3.2 se muestran un esquema con dichas técnicas.



Figura 3.2.- Diseño para la Excelencia.



El despilfarro derivado de los desperdicios producidos por errores o defectos, es uno de los más aceptados en la industria, aunque signifique una gran pérdida de productividad, porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez. Los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores, para conseguir productos acabados con la calidad exigida, eliminando así cualquier necesidad de retrabajo o de inspecciones adicionales. También, debería haber un control de calidad en tiempo real, de modo que los defectos en el proceso productivo se detecten justo cuando suceden, minimizando así el número de piezas que requieren inspección adicional y/o repetición de trabajos.

El proceso sugerido para la detección y solución del desperdicio por productos defectuosos es el siguiente:

a) Identificar las características:

- Pérdida de tiempo, recursos materiales y dinero.
- Planificación inconsistente.
- Calidad cuestionable.
- Flujo de proceso complejo.
- Recursos humanos adicionales necesarios para inspección y reprocesos.
- Espacio y técnicas extra para el reproceso.
- Maquinaria poco fiable.
- Baja motivación de los operarios.

b) Se obtienen las causas posibles:

- Movimientos innecesarios.
- Proveedores o procesos no capaces.
- Errores de los operarios.
- Formación o experiencia de los operarios inadecuada.
- Técnicas o herramientas inapropiadas.
- Proceso productivo deficiente o mal diseñado.

c) Acciones Lean para este tipo de despilfarro:

- Autonomización con toque humano (Jidoka).
- Estandarización de las operaciones.
- Implantación de elementos de aviso o señales de alarma (andon).
- Mecanismos o sistemas anti-error (Pokayoke).
- Incremento de la fiabilidad de las máquinas.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



- Implantación mantenimiento preventivo.
- Aseguramiento de la calidad en puesto.
- Producción en flujo continuo para eliminar manipulaciones de las piezas de trabajo.
- Control visual: Kanban, 5S y andón.
- Mejora del entorno de proceso.

Dentro de las Herramientas Lean para resolver el desperdicio por productos defectuosos, se han subrayado aquellas donde el Ingeniero Mecánico puede intervenir de manera directa para poder darle una solución a este problema.

Al introducir sistemas a prueba de errores, mejor conocidos como Pokayokes, las actividades realizadas por el Ingeniero Mecánico para diseñarlos son bastas, ya que existe la aplicación de varias áreas de ésta ingeniería, destacando diseño y manufactura.

Como se vio en el capítulo anterior, un defecto existe en dos estados: cuando está a punto de ocurrir y cuando ya ha ocurrido. Mediante el uso de las técnicas adecuadas, hay defectos que pueden ser prevenidos antes de que ocurran, un ejemplo de éstas técnicas es el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla).

El AMEF es una metodología analítica usada para asegurar que problemas potenciales sean considerados y abordados a través del proceso de desarrollo del producto y proceso. Puede ser considerado como un método para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- Identificar, definir, priorizar y eliminar fallas conocidas y/o potenciales de un sistema, diseño o proceso de manufactura, antes de que lleguen al cliente.
- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Documentar el proceso.

De acuerdo al Manual AMEF²⁴, esta técnica puede estar enfocada a dos aplicaciones específicamente: AMEF de Diseño y AMEF de Proceso (Ver Figura 3.3).

• ²⁴ Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales, AMEF, Cuarta Edición. 2008. USA.

- El AMEF de Diseño se usa para analizar un producto al nivel de sistema o subsistema, antes de que se libere para la producción.
- El AMEF de Proceso es utilizado para analizar las etapas en la fabricación, montaje y los planes de control resultantes.

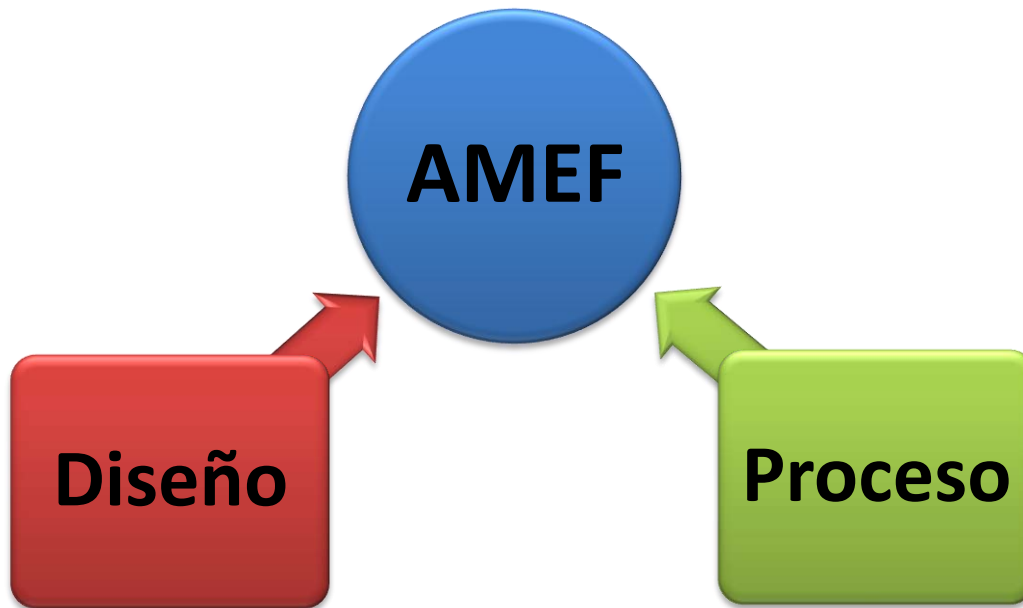


Figura 3.3.- Clasificación del AMEF.

Sin embargo, este método es comúnmente utilizado para evaluar diseño de productos y diseño de procesos y ambos son básicamente idénticos en su construcción. Aunque tienen objetivos muy diferentes, son a la vez interdependientes; es decir, el AMEF de diseño de un producto responde a la pregunta de “¿Cómo podría fallar este diseño para hacer lo que la ingeniería quiere que haga?”, mientras que el AMEF de procesos responde a la pregunta de “¿Cómo podría fallar este proceso de producción para operar efectivamente o para fabricar productos que conscientemente cumplan con los requerimientos de ingeniería?”.

El pokayoke, como se he visto, se trata de un sistema a prueba de errores que podría ser considerado como una extensión del AMEF, puesto que AMEF ayuda a predecir y prevenir problemas antes de que llegue al producto, mientras que el pokayoke se encarga de detectar y corregir los errores antes de que se conviertan en defectos. Defectos que pueden surgir cuando el producto ya está en uso por el cliente final o en la siguiente etapa del proceso, presentándosele a un cliente interno. Lo anterior, se puede observar en la Figura 3.4, en donde a partir de la elaboración del AMEF y de detectar errores potenciales, ya sea en el diseño o en el proceso, se procede a aprovechar características de diseño del producto para evitar los errores. En esta parte es en donde entra en operación el

pokayoke, que aprovechando las particularidades de diseño del producto, evitará que los defectos lleguen a la siguiente etapa del proceso o al cliente final.

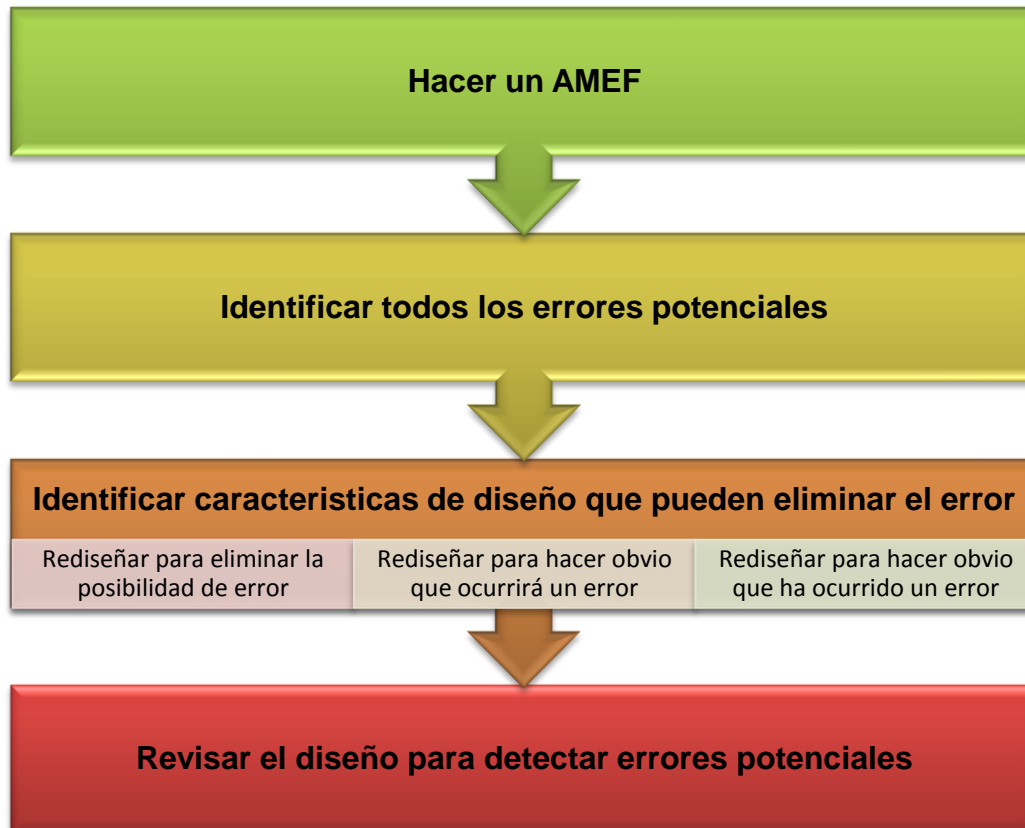


Figura 3.4.- Relación AMEF – Pokayoke.

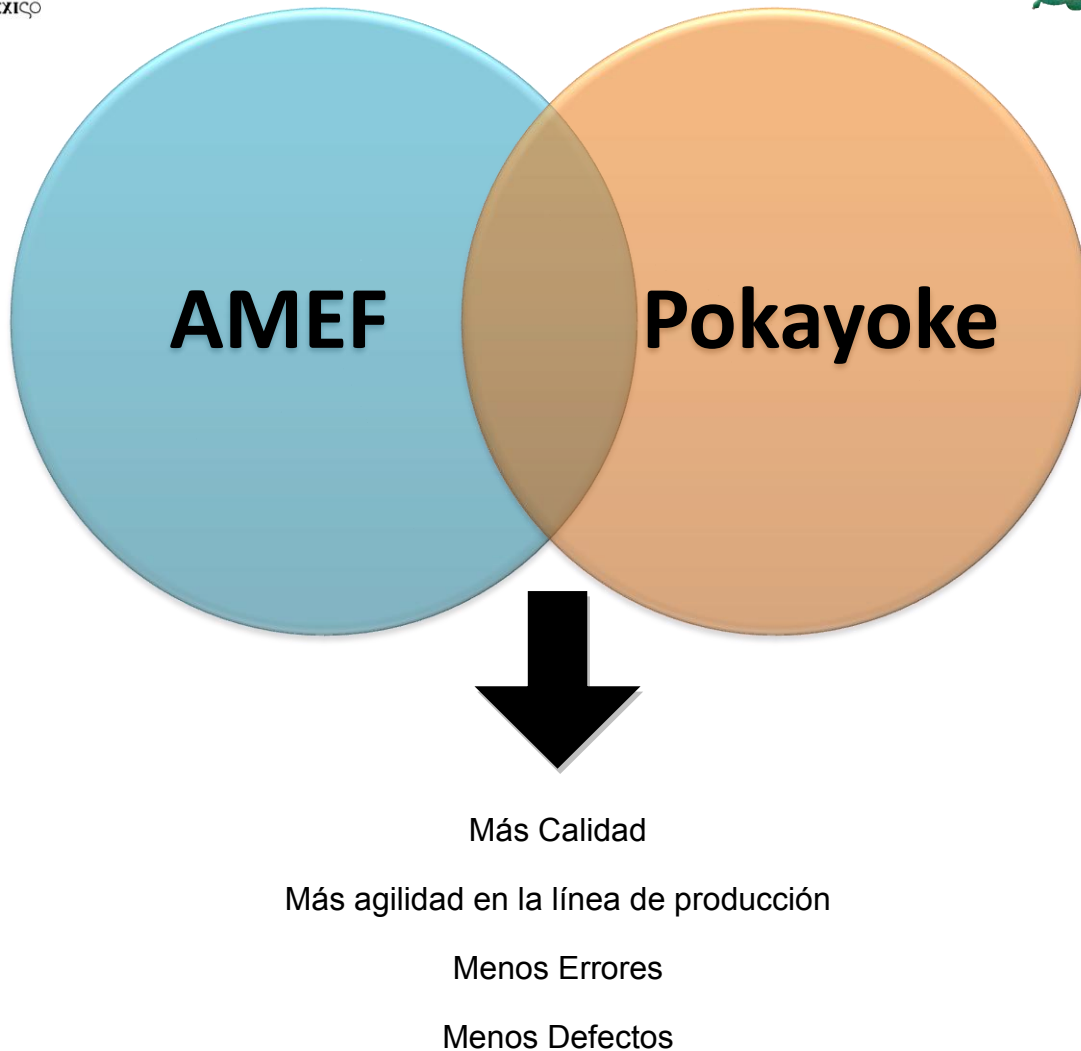


Figura 3.5.- Área de oportunidad entre la relación del AMEF – Pokayoke.

El papel del Ingeniero Mecánico es importante, dado que el diseño de los dispositivos, herramental y equipo para la detección de fallas, va íntimamente ligado a la elaboración del AMEF, que como se puede observar en la Figura 3.5, la intersección de ambos conjuntos es el área de oportunidad en donde se presentan las mejoras y resultados en el proceso de producción.



Ahora, con respecto al punto número dos: *La búsqueda de la calidad perfecta*, de acuerdo con John L. Warne, los errores adjudicados a una mala calidad se clasifican de la siguiente manera (Ver Figura 3.6) :

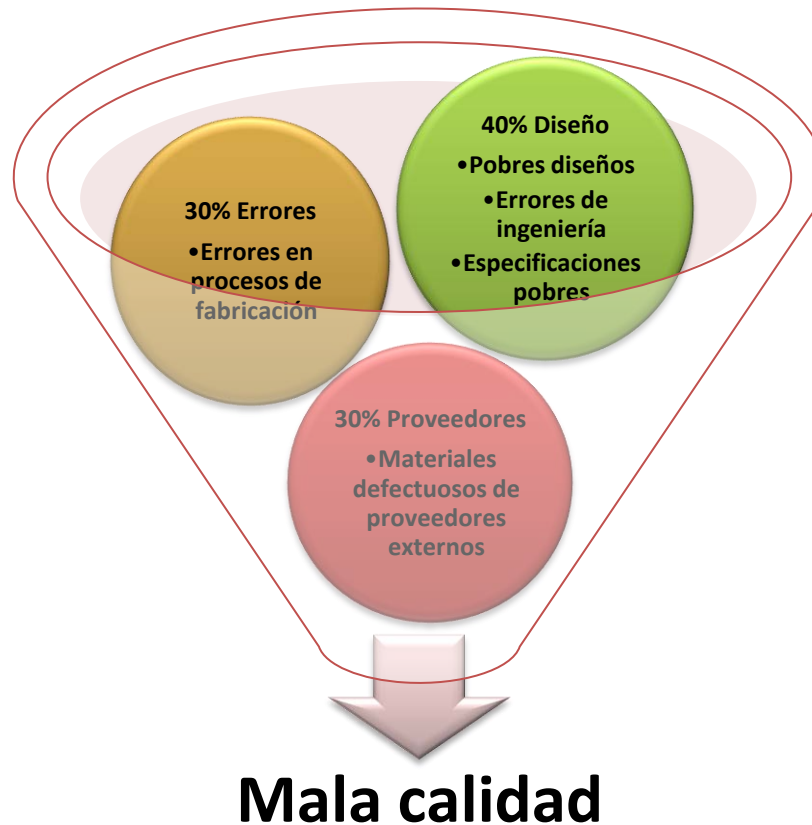


Figura 3.6.- Orígenes de una mala calidad.

Como se puede observar, el mayor porcentaje recae en el área denominada Diseño, que es en donde el ingeniero mecánico mediante la aplicación de sus conocimientos puede intervenir para mejorar la calidad, así mismo en el área llamada Errores se encuentra otro campo de oportunidad para la ingeniería mecánica, éste al garantizar un proceso de manufactura adecuado para cada etapa de fabricación de cualquier producto.

Lo anterior engloba el 70% de las acciones que impiden lograr una calidad perfecta y en donde, con una correcta implementación de la ingeniería mecánica, éstos campos se pueden eliminar, dejando todo el problema de calidad en los proveedores, en cuyo caso se puede solucionar mediante una rigurosa validación y aprobación de los materiales suministrados.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Es así como mediante la aplicación de diversos métodos, principalmente del área de Diseño y teniendo bases sólidas de Procesos de Manufactura se pueden resolver en su mayoría los problemas de calidad de un producto.

En la Figura 3.7 se puede observar de una forma más clara la relación entre la Manufactura Lean y la Ingeniería Mecánica.

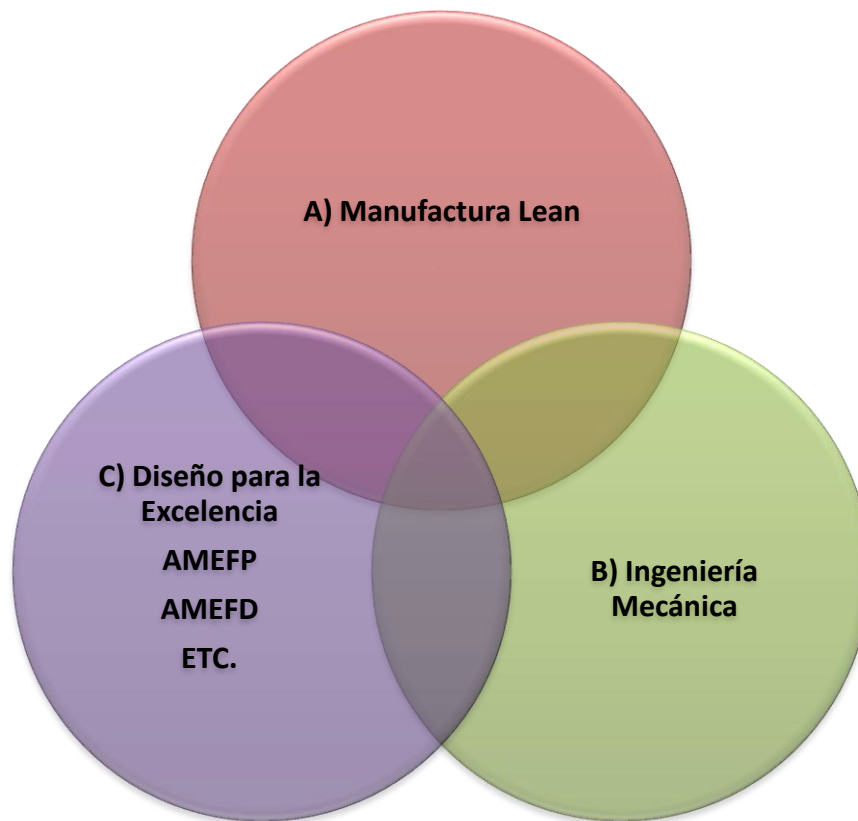


Figura 3.7.- Relación entre Manufactura Lean, Ingeniería Mecánica y los Métodos con aplicaciones de la Ingeniería Mecánica.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



En donde, la intersección entre el conjunto A) y el B) representa aquellas áreas de la Manufactura Lean en las que la Ingeniería Mecánica tiene mayor oportunidad, siendo éstas las siguientes:

- *JIT*
- Los Siete Desperdicios
- Las Siete Herramientas

En la intersección entre el conjunto B) y C) se encuentran aquellos conocimientos que forman parte de la formación del Ingeniero Mecánico y que de alguna manera influyen en la aplicación de los métodos del conjunto C), las cuales se enlistan a continuación:

- Dibujo
- Ciencia de Materiales
- Electrónica Básica
- CAD/CAM/CAE
- Dinámica de Maquinaria
- Diseño de Elementos de Máquinas
- Procesos de Manufactura
- Instrumentación y Control
- Análisis por Elementos Finitos
- Diseño del Producto
- Diseño de Herramental

Finalmente, en la intersección entre el conjunto A) y el conjunto C) se hallan aquellas herramientas de la Manufactura Lean que necesitan de la aplicación de ciertos métodos desarrollados por la Ingeniería Mecánica para una ejecución exitosa, dichas herramientas son:

- TPM
- SMED
- Jidoka
 - Pokayoke

Conclusiones

1. Dadas las numerosas inversiones realizadas en México por la Industria Automotriz, en los últimos años, es muy amplio el campo laboral susceptible de ocupación por los profesionistas en la Ingeniería Mecánica en este sector. Por otra parte, en el Sistema de Producción Toyota, empleado por la mayoría de las grandes empresas, se aplica el Sistema de Producción JIT. En ese sentido, es conveniente que todo Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM posea conocimientos básicos sobre dicho sistema y su aplicación, lo que, de manera simultánea, representará una ventaja significativa frente a otros candidatos en el momento de ser elegibles para un empleo.
2. Se deben llevar a cabo jornadas informativas conjuntamente con la Facultad de Ingeniería, Sociedad de Exalumnos y Reclutadores, mediante Talleres o Conferencias que versen sobre la importancia de que el Ingeniero Mecánico cuente con ciertos conocimientos del área industrial y el apoyo que éstos podrán representar en su vida profesional. Lo anterior, enlistando materias de carácter optativo que pudieran cursar para complementar su formación en dicha área, por lo que se deberían sugerir las siguientes asignaturas: Estudio del Trabajo, Planeación y Control de la Producción, Sistemas de Calidad, Procesos de Manufactura I y II, Temas Selectos de Producción y Diseño de Sistemas Productivos. Por otra parte, se deben fomentar las Visitas a Industrias para coadyuvar a que los alumnos tengan una clara percepción de la realidad laboral y se concienticen sobre los requerimientos que exigen los diferentes sectores productivos.
3. Durante el estudio de las siete herramientas de la Manufactura Lean, es necesaria la participación del Ingeniero Mecánico en tres de ellas (TPM, SMED y Jidoka). Lo cual tiene como consecuencia la eliminación de desperdicios, tratando de mantener el valor agregado en el proceso de manufactura, tal y como se menciona en líneas precedentes, y con ello cumplir las expectativas del Proceso de Producción JIT, sin perder de vista que lo primordial es la satisfacción del cliente.
4. Con la aplicación de los conocimientos del área industrial que se han considerado en este trabajo, el Ingeniero Mecánico puede sacar mayor provecho de las áreas de diseño, manufactura y materiales para contribuir a la



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



eliminación de errores en los procesos productivos y, con ello, lograr la obtención de productos con una calidad lo más cercana a la perfección.

5. Finalmente, este trabajo es un Guía para todo aquel estudiante de Ingeniería Mecánica que tenga interés en los Sistemas de Producción actualmente aplicados en la Industria y que al leerlo encuentre los conocimientos básicos que le ayudarán a complementar su formación, dándole una ventaja sobre otros egresados de la misma carrera y ampliando sus oportunidades de ser elegido para una posición laboral en la Industria.

Referencias

1. Boothroyd Geoffrey. "Product Design for Manufacture and Assembly". Second Edition. Marcel Dekker Inc. New York, USA. 2002.
2. Cabrera Calva, Rafael. "Pokayoke, Magia o Técnicas para prevenir errores y defectos".
<http://www.academia.edu/5193630/Poka_Yoke_Magia_0_T%C3%A9cnicas_para_evitar_errores_y_defectos> (28 Feb. 2014).
3. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. "Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales, AMEF". AIAG. Cuarta Edición. USA. 2008.
4. Díaz del Castillo Rodríguez Felipe. "Lecturas de Ingeniería: La Manufactura Esbelta". FES Cuautitlán, UNAM. México. 2009.
5. Hernández Matías Juan C. "Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación". Escuela de Organización Industrial. Primera Edición. España. 2013.
6. Niebel, Benjamín. Freivalds, Andris. "Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo". McGraw-Hill. 12ed. México. 2009.
7. Olavarrieta de la Torre, Jorge. "Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa". Universidad Iberoamericana. Primera Edición. México. 1999.
8. Rajadell Carreras, Manuel, et. al. "Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad". Ediciones Díaz de Santos. Primera Edición. España. 2010.
9. Villaseñor Alberto, "Manual de Lean Manufacturing: Guía Básica". Limusa Primera Edición. México. 2007.
10. Warne, John L. Sistema de producción justo a tiempo / John L. Warne. Stanford, Connecticut : Productivity.