



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

TENDENCIAS DE LA MANUFACTURA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

VÍCTOR LEONEL PEÑA REYES

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO



CD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. MARZO DE 2015

Agradecimientos especiales

A mi madre Araceli por su apoyo, cariño y orientación, a lo largo de mi trayectoria, y a su dedicación y esfuerzo para brindarme los recursos necesarios para estudiar en la Universidad.

A mi abuelo Constantino, por ser mi inspiración para estudiar Ingeniería Mecánica, y por el apoyo que me brindó a lo largo de esta trayectoria.

A mi hermana Wendy y a mi tío Fernando, por el apoyo incondicional que me brindaron.

A mis amigos por haberme apoyado en esta trayectoria, y por todos los proyectos y trabajos que realizamos juntos.

A mi director de tesis el Dr. José Javier Cervantes Cabello, por su apoyo y guía en la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, por haberme brindado la oportunidad de estudiar Ingeniería Mecánica.

Y a Dios por haberme dado la oportunidad y el talento, de poder concluir mi trayectoria universitaria.

Mi más sincero agradecimiento.

Víctor Leonel Peña Reyes

Índice

Objetivos	5
Introducción	6
Capítulo 1. Definición e importancia de la manufactura	9
1.1 Definición de manufactura	9
1.2 Industrias manufactureras	11
1.3 La manufactura en la economía mundial	14
Capítulo 2. Manufactura esbelta (Lean manufacturing)	16
2.1 Introducción a la manufactura esbelta	16
2.2 Principios y objetivos de la manufactura esbelta	17
2.3 Kaizen (mejora continua).....	20
2.4 Calidad total.....	23
2.5 Justo a tiempo (Just in time).....	29
2.6 Herramientas e implementación de la manufactura esbelta	40
2.7 Seis sigma (Six sigma, 6 σ)	63
2.8 Implementación de la manufactura esbelta	70
2.9 Situación actual y futura de la manufactura esbelta.....	71
Capítulo 3. Manufactura concurrente	73
3.1 Introducción a la ingeniería concurrente	73
3.2 Ciclo de vida de un producto en la ingeniería concurrente.....	74
3.3 Ventajas de la ingeniería concurrente sobre la ingeniería secuencial	77
3.4 Estrategias de la manufactura concurrente.....	79
3.5 Herramientas de la manufactura concurrente	82
3.6 Implementación de la manufactura concurrente	96
3.7 Beneficios de aplicar la manufactura concurrente	97
Capítulo 4. Manufactura verde	100
4.1 Introducción a la manufactura verde.....	100
4.2 Manufactura y economía verde.....	101
4.3 Ciclo de vida del producto en la manufactura verde	102

4.4 Tecnología y herramientas aplicadas a la manufactura verde.....	104
4.5 Optimización de la materia prima y diseño verde	109
4.6 La energía en la manufactura.....	113
4.7 Implementación de la manufactura verde	123
Conclusiones.....	125
Referencias bibliográficas por capítulo.....	127

Objetivos

- Estudiar la importancia que tienen las metodologías de la manufactura, e investigar las herramientas que facilitan su implementación.
- Investigar la importancia que tiene la manufactura en México y en el mundo, así como las metodologías de la manufactura, y los beneficios que ofrecen, orientados al incremento de la calidad de producción, diseño del producto, sustentabilidad e impacto ambiental, permitiendo a las empresas manufactureras, generar un proceso competitivo y amigable con el ambiente.

Introducción

En este trabajo se abarca la manufactura esbelta, la manufactura concurrente y la manufactura verde, debido a que son metodologías de la manufactura que representan un nuevo cambio, en el cual se busca no solamente reducir los desperdicios dentro del proceso de manufactura, sino que también trata de alcanzar la mayor calidad posible, permitiendo una producción nivelada con reducción en los costos de energía, los materiales nocivos y/o emisiones de partículas tóxicas al ambiente, mientras se mantiene un proceso competitivo y rentable.

En la actualidad, los monopolios son una consecuencia de la globalización, que afecta directamente a la industria manufacturera, obligando a las empresas a competir por los mercados. Sin embargo, esta competitividad no se ha logrado de una manera adecuada, debido a los costos de las distintas pérdidas o desperdicios y al mal manejo del proceso de manufactura. Derivado de estas pérdidas, la manufactura ha mantenido tendencias que las contrarrestan, entre las que se encuentran la manufactura esbelta y la manufactura concurrente, con lo que uno de los objetivos principales de este trabajo es analizar las herramientas que hagan a las industrias manufactureras más eficientes y competitivas, además de estudiar el proceso de manufactura y el fin del ciclo de vida de los productos, para que éstos representen el menor impacto negativo hacia el ambiente.

En los últimos años, diversas empresas han optado por la filosofía de la manufactura esbelta, para tener una alta calidad en sus productos y ser competentes en el mercado.

Por otra parte, la estructura de la tesis es la siguiente, en el capítulo uno, se explica que es la manufactura, la clasificación de las industrias y su importancia en el producto interno bruto de las naciones. Posteriormente en el capítulo dos se explican las distintas herramientas y metodologías de la manufactura esbelta que sirven de apoyo para alcanzar un proceso que minimice los desperdicios dentro de su proceso.

En el capítulo tres se explicará en que consiste la ingeniería concurrente y como se puede aplicar a los proceso de manufactura con el objetivo de que el producto se pueda manufacturar y ensamblar fácilmente, ya que de no hacerlo adecuadamente puede resultar en grandes pérdidas de tiempo y dinero. Por lo que en este capítulo se explican las distintas herramientas que ayudan a realizar un diseño de producto, que no presente inconvenientes en la etapa de producción.

Para finalizar en el capítulo cuatro se explican las herramientas que ayudan a diseñar productos amigables con el ambiente y que puedan presentar un ciclo de vida cerrado, así como explicar técnicas que ayudan a generar un proceso que tenga un menor impacto al medio ambiente, y cómo implementarlos en los procesos de manufactura.

Resumen

En este trabajo de tesis se presentarán las metodologías empleadas en la aplicación de la manufactura esbelta, incluyendo la forma de aplicar sus respectivas herramientas y lo que involucra un proceso esbelto, englobando una alta calidad y eficiencia dentro del proceso, así como evitar todo tipo de desperdicios, al aplicar una metodología de mejora continua.

Se explicaran los beneficios de aplicar las herramientas de la manufactura esbelta, así como las recomendaciones para su implementación, con el fin de generar un proceso de manufactura más eficiente, complementándolo con la metodología DMAMC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), para poder identificar y resolver los problemas que existan en el proceso.

También, se explicará la ingeniería concurrente, desde el punto de vista del diseño del producto, para facilitar su manufactura y ensamble, con el objetivo de poder diseñar productos más sencillos de ensamblar y manufacturar, mediante el estudio de la metodología del diseño que facilite la manufactura y el ensamblaje (DFM&A), así como la implementación de las nuevas tecnologías que sirven de apoyo para generar mejores diseños.

Posteriormente, se analizará el impacto que ocasiona la manufactura al medio ambiente, con el enfoque de generar un proceso verde, donde se abordará qué compuestos y sustancias nocivas se deben eliminar de los procesos, con el fin de que se prevenga su aplicación y se pueda sustituir por una alternativa más amigable para el medio ambiente. También, se explicarán las recomendaciones que conviene aplicar en la etapa de diseño para que el producto pueda ser reciclable, reutilizable y desmontable, con el objetivo de que los materiales no terminen su ciclo de vida cuando el producto deje de funcionar.

Asimismo, se busca disminuir la generación de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) por parte de los procesos de manufactura, por lo que se propone el uso de fuentes alternas de energía.

Dentro de los objetivos de este trabajo se encuentra el analizar las distintas herramientas que ayuden a generar un proceso más eficiente y amigable con el medio ambiente, sin perder el punto de vista de la disminución de desperdicios y en cumplir las expectativas del cliente.

Capítulo 1. Definición e importancia de la manufactura

1.1 Definición de manufactura

La manufactura es una actividad humana muy significativa desde el punto de vista tecnológico, económico e histórico.

Ésta se encuentra presente en nuestra vida. Todo lo que vestimos, donde viajamos, donde vivimos y muchos productos más, son manufacturados.

La palabra manufactura se deriva del latín (manus=mano, factus=hacer o hecho), y en los diccionarios se define como “la fabricación de bienes y artículos a mano, o especialmente por maquinaria, frecuentemente en gran escala y con división del trabajo”.¹

Ésta palabra apareció por primera vez en 1567 y manufacturar en 1683, ésta palabra suele utilizarse de manera intercambiable con producción, sin embargo para los fines que se percibe en este trabajo, la palabra producción tiene un significado más amplio que manufactura, por ejemplo se puede decir producción del petróleo, pero si se utiliza la frase manufactura de petróleo, queda fuera de contexto, sin embargo ambas palabras llegan a ser aceptadas para la misma descripción.

La manufactura de manera tecnológica es la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o un producto terminado. La manufactura también involucra el ensamble de partes múltiples para un producto terminado.

Económicamente, la manufactura es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o varias operaciones o procesos de ensamble. La enorme importancia de este proceso radica en que es un instrumento que permite a las naciones generar riqueza.

La manufactura es una actividad compleja que involucra una gran variedad de recursos y actividades, como las que se muestran en la tabla 1.1.

¹Kalpakjan, S., & P. Groover, M. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Estado de México, México: Pearson Education

Diseño del producto	Compras	Marketing
Maquinaria y herramientas	Manufactura del producto	Ventas
Planeación de procesos	Control de producción	Embarques
Materiales	Servicios de apoyo	Servicio al cliente

Tabla 1.1 Recursos y actividades de la manufactura

El proceso que efectúa la manufactura se puede representar, de manera breve, en la figura 1.1

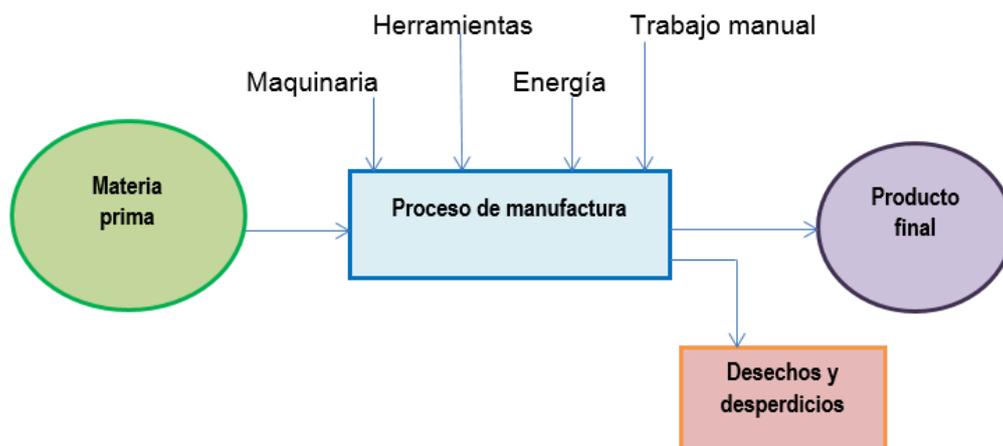


Figura 1.1 Representación esquemática de la manufactura

Por otra parte, las actividades de manufactura deben responder a varias exigencias y tendencias, que se enlistan a continuación:

- a) Un producto debe cumplir con todos los requerimientos de diseño o las especificaciones, sin excepción.
- b) Debe ser manufacturado utilizando los métodos más económicos y amigables con el ambiente
- c) La calidad debe estar presente en todas las etapas de producción, desde el diseño hasta el ensamble.

- d) Deben evaluarse continuamente los nuevos desarrollos de materiales, métodos de producción e integración por computadora, tanto en actividades tecnológicas como administrativas.
- e) La industria manufacturera debe tratar de alcanzar siempre los niveles más altos de calidad y productividad (el mejor aprovechamiento de los recursos: materiales, máquinas, energía, capital, mano de obra y tecnología).

1.2 Industrias manufactureras

La actividad manufacturera es una de las más importantes a nivel mundial, siendo una actividad comercial con un gran impacto en la economía mundial, la cual se lleva a cabo en parte por las compañías que venden productos a sus consumidores.

Las industrias son empresas y organizaciones que producen o abastecen bienes y servicios, que se pueden clasificar en primarios, secundarios y terciarios.

Las industrias manufactureras son aquellas que por su actividad, transforman materiales en artículos.

Las industrias primarias son las encargadas en explotar y cultivar los recursos naturales, como por ejemplo la agricultura y la minería.

Las industrias secundarias adquieren los productos de las industrias primarias y los convierten en bienes de consumo o de capital. Su principal función es la de manufactura, incluyendo la de construcción y las instalaciones para la producción de energía.

Las industrias terciarias representan el sector de los servicios en la economía.

Esta clasificación de las diversas industrias se puede observar en la figura 1.2.

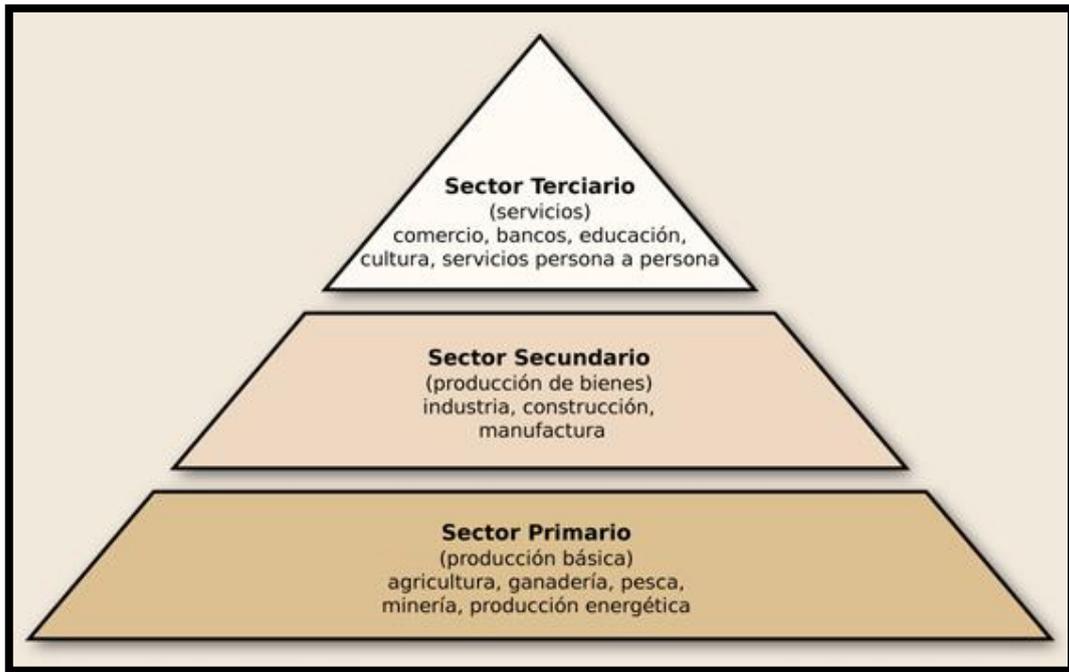


Figura 1.2 Clasificación de las industrias

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la industria manufacturera se puede clasificar acorde a la tabla 1.2:

Tipo de industria	Productos aportados	Simbología
1	Productos alimenticios, bebidas y tabaco	
2	Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	
3	Industria de la madera y productos de madera	
4	Papel, productos del papel, imprentas y editoriales	
5	Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos del caucho y plásticos	
6	Productos de minerales no metálicos, exceptuando derivados del petróleo y carbón	
7	Industrias metálicas básicas	
8	Productos metálicos, maquinaria y equipo	
9	Otras industrias manufactureras	

Tabla 1.2 Clasificación de la industria manufacturera

Sin embargo se pueden clasificar de diferentes maneras entre las que se incluyen, por el tipo de actividad que realizan, por el número de trabajadores y el tamaño de la empresa, entre otras opciones.

1.3 La manufactura en la economía mundial

El producto interno bruto (PIB) representa la suma del valor de todos los bienes y servicios que se producen en la economía de una nación, a continuación se revisa el impacto que tiene la manufactura en el PIB de los principales países manufactureros.

Sin embargo, no es una manera perfecta para medir el desempeño de una nación, ya que excluye el valor de trabajo realizado en casa, en organizaciones voluntarias, y actividades por el estilo. Pero representa una aproximación de lo que aporta la manufactura al PIB de una nación.

La agricultura y la minería representan una fuente importante de ingreso en cualquier economía, aunque representan entre el 3 y el 10% del PIB de las naciones industrialmente desarrolladas.

En la tabla 1.3 se muestra el porcentaje que influye la industria en el PIB de algunas naciones durante el año 2012.

País	Porcentaje industrial dentro del PIB (año 2012).	PIB (año 2012).
Afganistán	22	18,03 miles de millones USD
Angola	59	114,2 miles de millones USD
Arabia Saudita	61	67,2 miles de millones USD
Bélgica	22	508,1 mil millones USD
Brasil	26	2,253 billones USD
China	45	8,227 billones USD
Reino unido	21	2,25billones USD
Estados Unidos	20	15,68 billones USD
Guinea	45	17,7 miles de millones USD
Indonesia	47	878 miles de millones USD

País	Porcentaje industrial dentro del PIB (año 2012).	PIB (año 2012).
Malasia	41	303,5 miles de millones USD
México	36	1,177 billones USD
Tailandia	44	365,6 miles de millones USD
Vietnam	39	141,7 miles de millones USD
Alemania	31	3.085 billones USD
Francia	19	2,613 billones USD
Japón	26	5,96 billones USD
Italia	24	2,013 billones USD
España	26	1,349 billones USD

Tabla 1.3 Porcentaje que aporta el sector manufacturero al PIB de algunas naciones. Fuente <http://datos.bancomundial.org>

De acuerdo con la fuente este porcentaje industrial comprende el valor agregado en explotación de minas y canteras, industrias manufactureras, construcción, y suministro de electricidad, gas y agua. Es importante notar que, el porcentaje aportado por la industria al producto interno bruto de los países es considerable, ya que en varios casos, llega a representar cerca del 50%, lo que deriva a que tenga una fuerte importancia e impacto en la economía de las naciones.

Además de que en la actualidad no existen naciones aisladas, el comercio internacional ha crecido de manera contundente, llevando a que las economías de todos los países se vean altamente interconectadas.

Para que las industrias manufactureras crezcan y sobrevivan deben ser competitivas a escala global, y tienen que investigar los métodos y herramientas actuales que se ocupan dentro de este sector.

La competitividad entre las diversas empresas manufactureras ocasiona que las empresas se preocupen no sólo por ofrecer un costo bajo, sino además desarrollar y producir productos de alta calidad, durables y que ocasionen el menor impacto al ambiente.

Capítulo 2. Manufactura esbelta (Lean manufacturing)

2.1 Introducción a la manufactura esbelta

La palabra "lean" es de origen inglés y se puede traducir como "sin grasa, escaso, o esbelto", pero aplicada a un sistema productivo significa "ágil, flexible", es decir, capaz de adaptarse a las necesidades del cliente.

La manufactura esbelta es una filosofía de fabricación que busca la optimización a lo largo de todo el flujo de valor mediante la eliminación de pérdidas y trata de incorporar la mayor calidad en el proceso de fabricación. Lo que requiere no solamente de un proceso óptimo, sino que también debe tener menores desperdicios y el mayor ahorro posible.

Las bases de la manufactura esbelta nacieron en Japón, en los años 50's varios personajes como William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, Eijy, entre otros, se vieron vinculados en el desarrollo del "Sistema de producción Toyota". En el cual Toyota Motor Company desarrolló un sistema de producción de alta eficiencia, a bajos volúmenes, y con muchas variantes de un mismo producto.²

Ésto se puede llevar a cabo gracias a la aplicación en conjunto de herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando la eficiencia de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere.

Debido a esto, la manufactura esbelta fue rápidamente aceptada dentro de la industria manufacturera y es una tendencia actual que se sigue incorporando.

El sistema de manufactura esbelta se ha ido desarrollando como una filosofía de excelencia dentro del campo de la manufactura, basada en:

- La eliminación planeada de todo tipo de desperdicio.
- Mejora continua (Kaizen).
- La mejora consistente de productividad y calidad

² Monden, Yasuhiro. (2008). El sistema de producción de Toyota. Madrid, España: Editorial Ciencias de la dirección S.A. Tercera edición.

2.2 Principios y objetivos de la manufactura esbelta

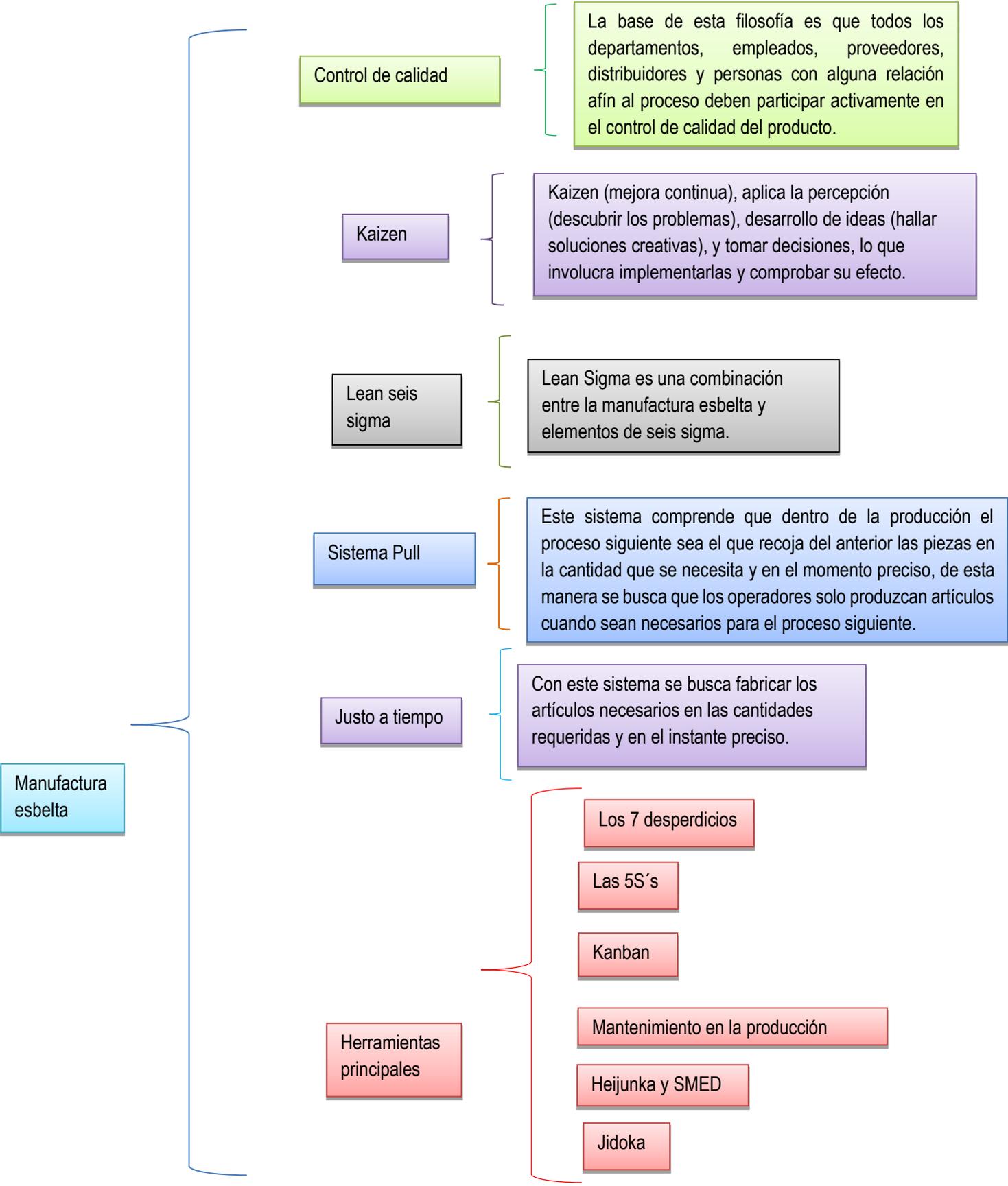
La manufactura esbelta tiene por objetivo principal orientarse a las necesidades del cliente, optimizar la productividad y maximizar la rentabilidad del proceso, mediante un proceso de análisis, planeación, implementación, realización y control de todos los factores de diseño de la empresa, con el mínimo esfuerzo y recursos humanos, técnicos, materiales y de capacidad instalada, siendo flexible y abierta al cambio.

La implementación de la manufactura esbelta en una planta industrial exige el conocimiento de conceptos y herramientas con el fin de alcanzar la rentabilidad, competitividad y la completa satisfacción de los clientes, aunque en algunos intentos de implementarla, se ha llevado a cabo de manera superficial debido a que las compañías sólo se centran en algunas de estas herramientas, sin manejar este sistema como un conjunto de elementos que se deben retroalimentar día a día de manera conjunta.

Toyota desarrolló su sistema después de la segunda guerra mundial, en una situación completamente diferente a Ford o General Motors que fabricaban en masa, produciendo piezas a gran escala y económicas. Toyota era pequeño y la clave de su éxito fue la flexibilidad en las líneas de producción. Descubrieron que los tiempos totales (lead time) se reducen al ser flexible en la variedad de productos (heijunka), consiguiendo una calidad alta, una mejor respuesta al cliente, una mejor productividad y una mejor utilidad de la maquinaria y espacio.

En el cuadro sinóptico 1 que se presenta a continuación, se especifican las herramientas y conceptos principales que se presentan al aplicar la manufactura esbelta, los cuales se abordarán con mayor profundidad dentro de este capítulo.

Capítulo 2. Manufactura esbelta



Cuadro sinóptico 1 Conceptos y herramientas de la manufactura esbelta)

Cada una de las herramientas y conceptos que engloban la manufactura esbelta se abordarán en este capítulo, pero para su aplicación dentro de la industria manufacturera se deben tratar de aplicar y adaptar cada una de ellas, con la misma importancia y el compromiso necesario, evitando que se le de preferencia a una sobre otra, salvo que el proceso lo llegará a requerir.

Para el orden de aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta se deben considerar los factores que influyen dentro del proceso, pero es recomendable que se apliquen en el siguiente orden ya que presenta una secuencia favorable para su implementación:

1) Los 7 desperdicios

Conocer los desperdicios dentro del proceso es algo importante para aplicar las herramientas de la manufactura esbelta, debido a que los objetivos principales son eliminarlos, por lo que es preferible reconocer que tipo de desperdicio se genera para posteriormente aplicar una herramienta que lo controle.

2) Las 5S's

De manera breve involucran clasificar, ordenar, limpiar, simplificar y mantener el proceso, es importante tener un área de trabajo que cuente con estas características, ya que agilizan el proceso, evitan la generación de errores, ayudan a reconocer los desperdicios y facilitan la localización de fallas.

3) Kanban

Básicamente, es un sistema de información que controla fácilmente la fabricación de los productos necesarios en la cantidad y el tiempo asignados". Se recomienda utilizar este sistema para tener conocimiento de cuántas piezas se están fabricando dentro del proceso y poder controlar la sobreproducción.

4) SMED (*"single minute exchange of die"*, cambio rápido de herramienta).

Esta herramienta permite la reducción del tiempo de cambio de herramienta. Este tiempo de cambio se define como el tiempo entre la última pieza producida del producto "A" y la primera pieza producida del producto "B", que cumple con los requerimientos especificados. Se recomienda utilizarla después de las 5S's y Kanban, para tener un panorama claro del orden, tiempo y la cantidad de productos que se manejan en el proceso, para entonces entrar a tratar de reducir el tiempo que se tiene entre una pieza finalizada y otra que apenas se va a manufacturar.

5) Heijunka (producción nivelada)

Es una técnica que adapta la producción a la demanda y requerimientos del cliente, conectando la cadena de valor desde los proveedores hasta los clientes, como su nombre lo indica consiste en nivelar la producción a lotes pequeños y con diversidad en vez de un lote en masa de un mismo producto. Es recomendable llevarla a cabo de manera inmediata sobre todo si se tiene una sobreproducción de un mismo producto.

6) Jidoka (alta calidad)

Esta herramienta tiene como objetivo conseguir una alta calidad, con lo que se busca asegurar que todas las unidades que se produzcan cumplan las normas, especificaciones y condiciones dadas y al mismo tiempo deben satisfacer completamente las necesidades y requerimientos del cliente. Lo cual es un paso esencial dentro del proceso, para poder acceder a certificaciones con una alta facilidad y cumplir con los requerimientos del cliente.

7) Mantenimiento en la producción

El objetivo de esta herramienta es asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones para operar y cumpla con los estándares de calidad. El mantenimiento es vital dentro de cualquier proceso, una vez que el proceso es funcional es necesario mantenerlo en las mismas condiciones y tratar de mejorarlo, esto se puede lograr gracias a esta herramienta.

Sin embargo, más allá de aplicar las herramientas mencionadas previamente y generar un flujo eficaz del producto, para obtener un sistema tan productivo como el de Toyota se debe tener un compromiso de parte de la directiva de invertir constantemente en la gente y en el proceso de mejora continua, así como mantener un equipo de trabajo ocupado en la mejora continua y calidad del proceso.

2.3 Kaizen (mejora continua)

Kaizen fue creado por el japonés Masakilmai, de acuerdo a su planteamiento, es la unión de dos palabras, Kai (cambio), y zen (para mejorar), de acuerdo a ello plantea una cultura de cambio constante para evolucionar hacia mejores prácticas, a esto se le conoce como “mejora continua”.

Las principales diferencias que tiene Kaizen con respecto a la innovación, es que, la innovación implica un progreso cuantitativo que genere un salto de nivel o mejora, la cual generalmente se produce por el trabajo de expertos, mientras que la mejora Kaizen consiste en una acumulación gradual y continua de pequeñas mejoras hechas por todos los empleados.

El objetivo principal de Kaizen es que cada proceso puede ser mejorado, en una filosofía continua, pequeña y enfocada en incrementar las mejoras. Esto significa que se debe examinar de manera constante el proceso y las normas de trabajo, para poder mejorarlas en cada oportunidad que se presente. Se tiene que considerar que aunque ya se haya mejorado el proceso, no se debe aceptar que ya no se puede mejorar más, por lo que debe ser cuestionado continuamente. La principal razón, de este cuestionamiento continuo, es porque cada vez que se mejora el sistema se está eliminando desperdicio de éste.³

Se puede cuestionar ¿por qué se tiene que mejorar el proceso una vez que ha sido mejorado?, o ¿por qué no se mejoró el proceso desde el principio?, con un análisis inicial de éste. Pero la razón es que, así como se pueden realizar mejoras desde el inicio del proceso, también se pueden realizar posteriormente, ya que una mejora inicial no garantiza que no se puedan realizar cambios que hagan más eficiente el proceso.

Kaizen comprende tres conceptos esenciales: percepción (descubrir los problemas), desarrollo de ideas (hallar soluciones creativas), y tomar decisiones, lo que involucra implementarlas y comprobar su efecto, en otras palabras, escoger la mejor respuesta, planificar su realización y ejecutarla en la práctica.

En un proceso de mejora continua se integran dos tipos de avances: los pequeños avances conseguidos con numerosas pequeñas mejoras, y los grandes saltos logrados gracias a las innovaciones tecnológicas o de organización, que generalmente involucran inversiones económicas.

Kaizen busca integrar a los empleados de cada nivel dentro de la organización para que día a día realicen sus actividades enfocándose en eliminar los desperdicios, siguiendo los estándares establecidos y manteniendo un área de trabajo limpia y organizada.

Las empresas manufactureras deben analizar dónde se pueden realizar las mejoras, por lo que la efectividad de Kaizen está en las acciones que toman las personas, no es conseguir una maquinaria o un nuevo equipo de trabajo. En algunas empresas se considera que comprar los productos o maquinaria más novedosos y usar las más recientes técnicas de manejo es la clave, pero esta mentalidad no da una sensación de mejora continua como la que Kaizen puede generar. Sin embargo, si se puede hacer uso de las nuevas tecnologías para poder encontrar oportunidades de mejora dentro del proceso.

Para poder implementar la filosofía Kaizen, es recomendable crear grupos de trabajo, integrados por técnicos, supervisores y operadores, con la finalidad de que aporten, desarrollen e implementen sus ideas dentro de su área de trabajo.

³ Monden, Yasuhiro. (2008). El sistema de producción de Toyota. Madrid, España: Editorial Ciencias de la dirección S.A. Tercera edición.

Los equipos se pueden reunir de manera continua a lo largo de la jornada laboral y el leader “lean” escogido libremente por los integrantes, distribuye el trabajo a realizar tomando en cuenta las ideas de los trabajadores.

Las condiciones recomendadas para estas reuniones son las enlistadas a continuación:

- Asistencia obligatoria.
- Levantar la mano para hablar.
- Mantener la mente abierta ante las ideas de los demás compañeros de equipo y respetarlas.
- Evitar conversaciones individuales.
- Evitar temas personales.
- Divertirse durante la reunión.

Una vez que se avanza en el camino de la mejora continua los empleados podrán descubrir nuevas maneras de hacer las cosas y encontrar mejoras del proceso. Para lograr esto se sugiere que se les dé la enseñanza y filosofía a los empleados, sobre cómo hacer cambios y mejoras en la dirección correcta.

Dentro de la industria manufacturera, los empleados deben generar oportunidades de cambio para mejorar el proceso. Si el cambio es pequeño y fácil de realizar, se recomienda que se les dé la oportunidad de llevarlo a cabo. Por otra parte, si es un cambio grande que involucre otras áreas, se puede desarrollar un plan que contemple estas ideas y llevarlo a cabo.

Cuando los empleados sugieren ideas que no se pueden llevar a cabo, no se deben ignorar pero se les debe explicar la razón por lo que no sería viable su idea.

Se recomienda seguir las recomendaciones mostradas en la figura 2.1, para aplicar adecuadamente Kaizen:

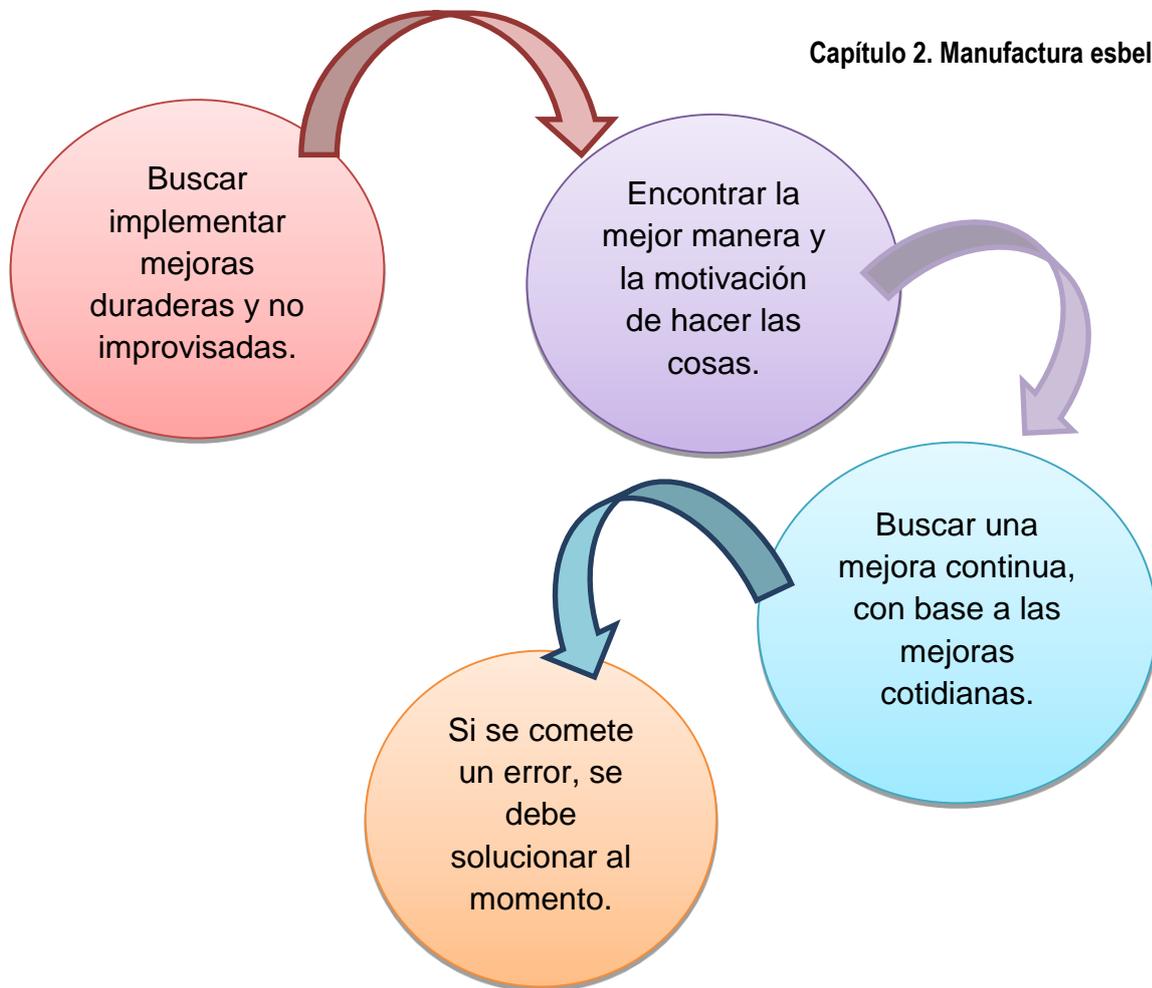


Figura 2.1 Recomendaciones para implementar Kaizen

2.4 Calidad total

Este concepto fue utilizado por primera vez por el norteamericano Feigenbaum, en la revista Industrial *"Quality Control"* en mayo de 1957, donde expuso que todos los departamentos de la empresa deben implicarse en el control de calidad, dado que la responsabilidad del mismo recae en los empleados de todos los niveles, dando a entender que todos los empleados deben tratar de obtener siempre la mayor calidad posible en sus respectivas áreas, incluyendo a los directivos.

Las cuatro características principales que presenta el control de calidad son las siguientes:

1. Todos los departamentos y personas relacionadas con el proceso deben participar activamente en el control de calidad. Esto ayuda a reducir los defectos, garantizando costos bajos para el consumidor y la rentabilidad de la empresa.
2. Todos los empleados participan dentro del control de calidad, sin embargo también participan intermediarios, tales como proveedores, distribuidores y personas con alguna relación afín al proceso.

3. El control de calidad se encuentra totalmente integrado con las otras funciones dentro de la empresa, es decir, no es independiente de los otros sectores.
4. La calidad comienza satisfaciendo al cliente y se necesita conocer que utilidad tendrá el producto hacia el cliente, para poder adelantar los requerimientos a sus necesidades.

La meta de la calidad es alcanzar el mayor grado de perfección, esto no se logra de manera inmediata, sino paso a paso, y sin incrementar los costos de los productos, sino logrando la disminución de los desperdicios y defectos. Lograr esta consistencia de calidad es la clave para que el producto sea muy bien recibido por el cliente.

Para lograr esto se deben tratar de reducir las variaciones que involucran el proceso. En la tabla 2.1 se muestran ejemplos de cómo se puede aplicar.

Fuente	¿Qué hacer?	Efecto conseguido
Máquina	<ul style="list-style-type: none"> • Nivelarla. • Utilizar lubricante. • Regular el voltaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor estabilidad. • Precisión.
Herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • Una para cada uso. • Cuidar su calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor desperdicio. • Mayor orden.
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir número de componentes • Seleccionar un número de proveedores acorde al proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectividad del sistema pull y kanban. • Menos problemas de flujo de material en el proceso.
Medios para trabajar	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación periódica de lo innecesario. • Arreglar lo descompuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos papeleo. • Mayor orden, limpieza y fluidez.
El cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Informarle previamente de las características con las que contara el producto de acuerdo a las especificaciones dadas por este. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor satisfacción por parte del cliente • Menos tiempo perdido
Proveedor	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer al proveedor y su proceso. Ayudarlo a mejorarlo 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de una cadena productiva

Tabla 2.1 Ejemplos para aplicar la calidad total

Además, se recomienda utilizar el esquema de la figura 2.2, el cual muestra la secuencia de mejoramiento de calidad para ser aplicado en el proceso manufacturero.

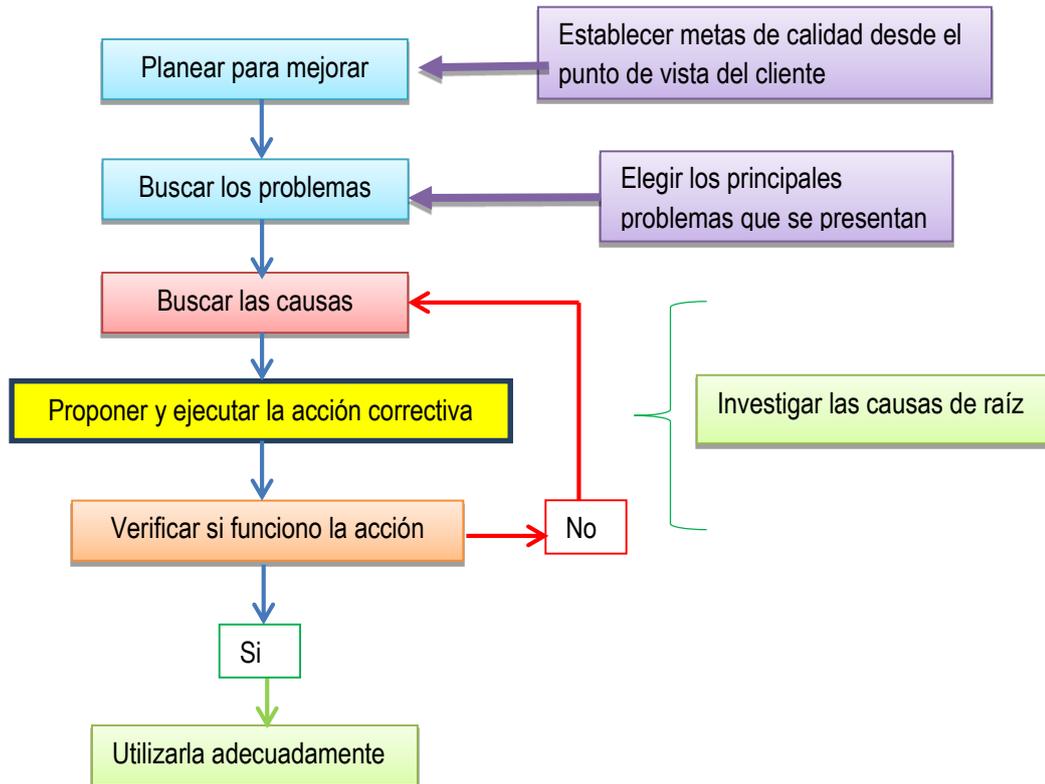


Figura 2.2 Esquema de mejoramiento de calidad

Este modelo de mejoramiento es bastante práctico y en esencia lo que indica es que se deben seleccionar los problemas que te impiden alcanzar un mayor nivel de calidad, buscar las causas de raíz e implementar una solución, en caso de que esta funcione adecuadamente se puede implementar dentro del proceso, de otra forma se debe buscar otra causa posible.

El investigar las causas de raíz es un cuestionamiento que se debe realizar, para encontrar la verdadera solución de los problemas, esto se aborda a mayor profundidad en la sección 2.8 (Seis sigma), de este capítulo.

Por otra parte, en ocasiones es mejor detener el proceso que obtener productos defectuosos, esto ayuda a mejorar el proceso, ya que si un eslabón de la cadena de producción se rompe o es defectuoso, los demás productos se pueden ver afectados.

Para ello, cada empleado debe tener la libertad de detener el proceso en caso de encontrar anomalías en éste, y al momento de detenerlo, los demás empleados deberán apoyar inmediatamente en la solución del problema.

Las principales razones para detener un proceso son las siguientes:

- Encontrar defectos o fallas.
- Tener un exceso de producción.
- Que exista riesgo de seguridad para los empleados.

Al final, resulta menos costoso detener la producción que realizar el trabajo mal y posteriormente tener que desecharlo debido a que no cumple los requerimientos, o peor aún, hacerlo llegar en estado defectuoso al cliente, ya que puede perjudicar mucho el prestigio de la empresa, de igual manera se debe detener si la seguridad de los trabajadores se ve afectada.

En ocasiones, cuando algo va mal, es natural, en los seres humanos ponernos nerviosos y buscar una salida rápida ante los problemas que ocurran, pero es algo que no debe ocurrir dentro del proceso, se deben ventilar todos los posibles errores o defectos que surjan para encontrar una solución en equipo.

Jidoka (automatización con un toque humano)

Jidoka es una herramienta de la manufactura esbelta que trata de conseguir la mejor calidad posible en los productos, con esto se busca asegurar que todas las unidades que se produzcan cumplan las normas, especificaciones y requisitos que debe tener el producto y, al mismo tiempo, deben satisfacer completamente las necesidades y requerimientos del cliente.

Jidoka significa “autonomatización” con un toque humano, lo cual consiste en una máquina conectada a un mecanismo de detección automático de defectos y, en caso de que éste registre algún defecto se detendrá la máquina, ya sea manual o automáticamente. Esta máquina sólo debe requerir el apoyo de un trabajador cuando presenta alguna anomalía en el proceso o por avería de ésta, para reducir el número de trabajadores necesarios en la operación.

El principal beneficio que otorga es el facilitar la detección de piezas defectuosas y, al mismo tiempo, ayuda a encontrar y prevenir el defecto en el sistema de producción, que deben ser atendidos de manera inmediata tras su localización.

En conjunto con calidad total, se recomienda que cada trabajador sea un inspector de calidad, y que garantice la calidad dentro de su área de trabajo.

Para aplicarlo se puede utilizar un sistema de luces (figura 2.3), el cual debe ser controlado por las máquinas y los trabajadores basándose en la detección de defectos dentro de los productos, en el cual la luz verde significa que no hay problemas, un color ámbar indica que se detectó un problema pero el trabajador que lo identificó lo está resolviendo personalmente con un límite de tiempo, el cual varía dependiendo del problema que se presenta, de otra manera debe solicitar el apoyo de sus compañeros de trabajo. Finalmente, la luz roja indica un problema serio dentro del proceso, con lo que se debe parar y el encargado junto con los trabajadores, tienen que encontrar una solución. A este señalamiento se le puede añadir una señal acústica para que los trabajadores la detecten de manera inmediata.

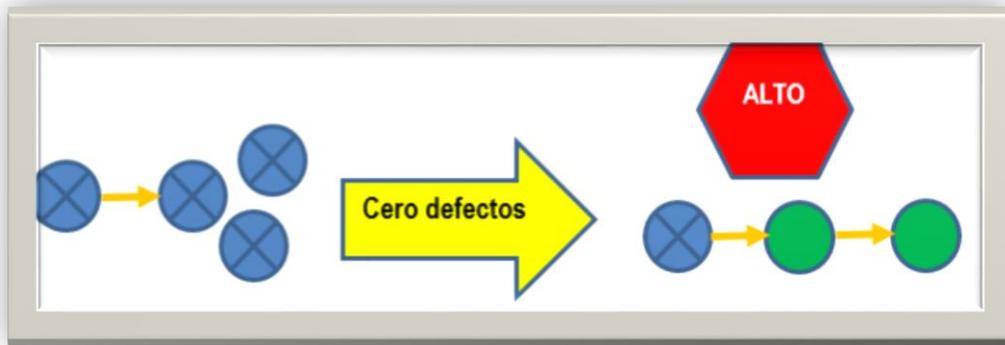


Figura 2.3 Jidoka, “detección automático de defectos”

Poka yoke

Otra herramienta auxiliar que se puede aplicar en un sistema de calidad, es el poka yoke (el cual viene de las palabras, poka=error inadvertido y yoke=prevenir), básicamente es un sistema que trata de evitar los defectos al 100%, aunque se produzcan errores dentro del proceso mediante mecanismos de detección de errores. Este sistema fue inventado por Shigeo Shingo, un ingeniero de Toyota.

Sus principales funciones para evitar los defectos son, recurrir al paro, al control y el avisar al momento.

Este sistema trata de imposibilitar los errores humanos, como por ejemplo los cables de dispositivos de corriente continua deben conectarse con la polaridad correcta, esto se soluciona colocando una forma y tamaño distintos en la conexión de pines.

Sus características principales se enlistan a continuación:

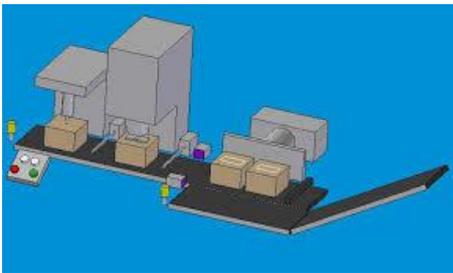
- Simplicidad (Pequeños dispositivos de acción inmediata y en la mayoría de los casos son económicos y sencillos).
- Efectividad (Actúan automáticamente en cada operación repetitiva del proceso, independientemente de lo que haga el trabajador).
- También deben resaltar el error, en caso de que sea cometido por el trabajador.

A continuación se muestran algunos ejemplos de poka yoke en las siguientes figuras 2.4, 2.5 y 2.6:



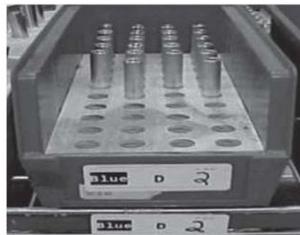
En el teléfono celular se cuenta con un dispositivo que bloquea el teclado, al no ser utilizado por cierto tiempo, de esta manera se busca evitar que se realicen llamadas involuntarias.

Figura 2.4 Ejemplo de poka yoke en los celulares



En algunos procesos de almacenamiento se tiene un mecanismo que mantiene cerrados los contenedores para ser abiertos justo cuando están colocados en la posición de descarga, evitando que se introduzca cualquier agente externo al proceso.

Figura 2.5 Ejemplo de poka yoke las cajas de almacenamiento



En el contenedor izquierdo se necesita contar las piezas para saber cuántas hay, y aun así no se elimina el riesgo de error, mientras que con el poka yoke de la imagen derecha se puede saber cuántas hay con mucha facilidad.

Figura 2.6 Ejemplo de poka yoke en la distribución de productos

Actualmente, los poka yoke son un sistema de detección de errores, el cual dependerá de lo que se desea controlar y, generalmente, fungen, a su vez, como alarma, ya sea visual y/o sonora, con el fin de avisarle al trabajador que se generó un defecto para que lo corrija y dependiendo de la variable que controle, el poka yoke pueda facilitar la localización del origen de éste.

2.5 Justo a tiempo (Just in time)

El sistema justo a tiempo fue desarrollado por Taiichi Ohno, primer vicepresidente de Toyota Motor Corporation, bajo la filosofía de eliminar costos de producción mediante la eliminación del despilfarro. Actualmente, este sistema es utilizado por empresas como Toyota, Motorola e IBM.

Con este sistema se busca fabricar los artículos necesarios en las cantidades requeridas y en el instante preciso, así por ejemplo, un proceso productivo se

dice que funciona con el sistema justo a tiempo, cuando mantiene la habilidad de poner a disposición de los clientes los artículos que le soliciten de manera exacta, en el plazo de tiempo y cantidades solicitadas.

El sistema justo a tiempo tiene como objetivos evitar los desperdicios, mantener una calidad total, organizar el lugar del trabajo, mantener un flujo adecuado de productos, disminuir los inventarios (el inventario es el registro documental con orden y precisión del número de unidades en existencia que tiene una empresa) y facilitar las comunicaciones entre los departamentos.⁴

Para lograr esto, se apoya del tiempo de procesamiento (takt time), el sistema jalar (pull) y el flujo del proceso.

Este sistema maneja el tiempo de entrega del producto al cliente, el cual es denominado “lead time”, es necesario que se cumpla este tiempo ya que esto aumentará la satisfacción del cliente.

Otro concepto utilizado es el tiempo de flujo, el cual resulta ser el tiempo que transcurre desde que se lanza una orden de producción hasta que el producto está en condiciones de ser expedido. En este tiempo no se incluye el plazo de almacenamiento o adquisición de productos o materias primas, tampoco toma a cuenta el tiempo de distribución.

Este tiempo de flujo estimado puede ser calculado mediante la siguiente ecuación

$$T = \frac{E}{V}$$

Donde:

T = Tiempo de flujo estimado para la producción.

E = existencias de productos en fabricación, involucrando el tiempo que se tardará el departamento de manufactura en terminar de fabricarlos.

V = Ventas del producto.

En caso de que el tiempo de flujo sea menor que el plazo de entrega se puede producir a contra pedido, esto se puede observar en la figura 2.7, en la cual se muestra una fabricación contra pedido, en la que el cliente solicita un vehículo a una empresa automotriz, y el cliente está dispuesto a esperar el tiempo total de fabricación (desde que pasa el pedido de su vehículo a la empresa).

⁴ Rajadell Carreras, F. & Sánchez García, J. (2010). Lean manufacturing. Madrid, España: Díaz de Santos.

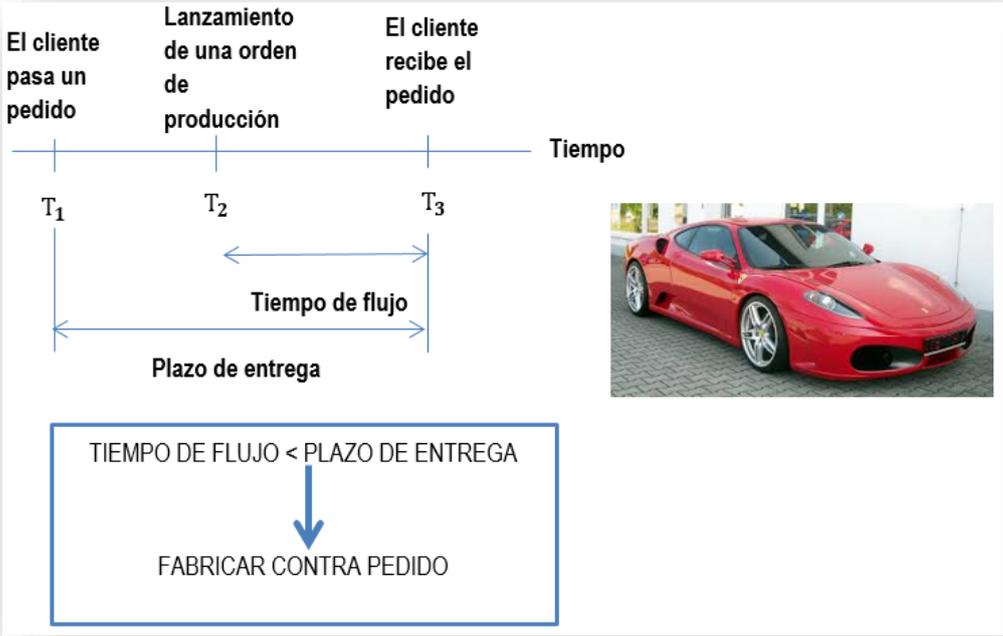


Figura 2.7 Fabricar contra pedido

Por otra parte, si el plazo de entrega marcado por el cliente es menor que el tiempo de flujo, es decir el cliente requiere un producto en un tiempo de fabricación menor, debe iniciarse el proceso antes de la llegada del pedido, esto deriva a que la producción se organice contra stock y la fábrica debe mantener en existencia el producto terminado o en curso.

En el caso de que se tenga una organización contra stock, la distribución del tiempo puede observarse en la figura 2.8. En la cual el cliente requiere con menor tiempo el producto.

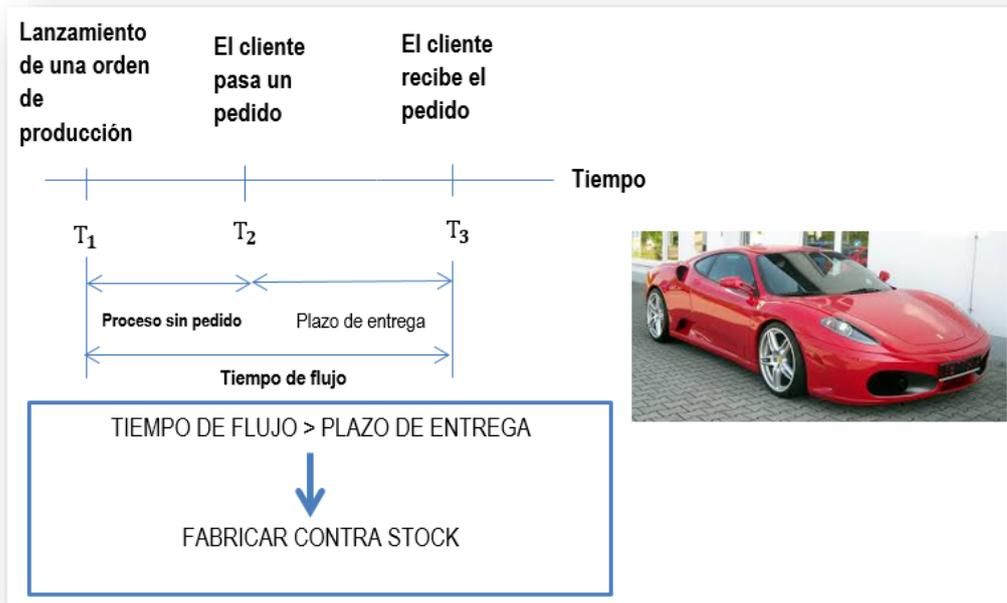


Figura 2.8 Fabricar contra stock

Visto desde el punto de fabricación es importante la diferencia, ya que cuando se produce contra pedido, no hay necesidad de adivinar lo que el cliente necesita. Con lo que la posibilidad de cometer errores es muy limitada. Mientras que cuando se tienen stocks, siempre existe la posibilidad de que éstas no concuerden con los pedidos del cliente, debido a cambios de tecnología, preferencias del cliente o simplemente estética, generando que se acumulen excesos de stock de productos sin salida que los clientes no quieren y en contraste faltan productos que los clientes piden.

En la filosofía de la manufactura esbelta, hay que cuestionar los tiempos estándar, hay que reducir el tiempo de flujo de manera que sea lo más corto posible sin perjudicar la calidad y los requerimientos del producto.

Ritmo de tiempo aceptable (Takt time)

El ritmo de tiempo aceptable es una herramienta del sistema justo a tiempo, que se utiliza para sincronizar el ritmo de producción con las ventas para poder tener una producción eficiente. Esta herramienta se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Takt\ time = \frac{tiempo\ de\ trabajo}{producción\ requerida} = \frac{tiempo\ del\ turno - tiempo\ no\ productivo}{unidades\ requeridas\ en\ cierto\ tiempo}$$

Para generar una oportunidad de mejora por eliminación de movimiento de los productos de una línea de producción a otra, se puede aplicar el tiempo de procesamiento del proceso.

En el ejemplo siguiente se presenta la aplicación del tiempo de procesamiento:

En una empresa manufacturera, los clientes le solicitan 1800 unidades por mes, en un día de trabajo tiene 3 turnos de 8 horas cada hora con 60 minutos, para un total de 480 minutos por día, tiene pausas de descanso de 90 minutos al día, esta empresa tiene 20 días laborables al mes.

$$Takt\ time = \frac{\text{tiempo de trabajo} \left(\frac{\text{segundos}}{\text{unidades}}\right)}{\text{producción requerida} \left(\frac{\text{unidades}}{\text{mes}}\right)}$$

$$Takt\ time = \frac{\left[(480 - 90) \left(\frac{\text{minutos}}{\text{días}}\right) \left(60 \frac{\text{segundos}}{\text{minutos}}\right)\right]}{\left(\frac{1800 \frac{\text{unidades}}{\text{mes}}}{20 \frac{\text{días}}{\text{mes}}}\right)} = 260 \left(\frac{\text{segundos}}{\text{unidades}}\right)$$

Con lo que la fábrica debe estar preparada para manufacturar una unidad cada 260 segundos (4.33 minutos).

En caso de que el ritmo de trabajo de esta empresa sea menor, no podrá cumplir adecuadamente la expectativa de tiempo por parte del cliente para recibir el producto, siendo menos competitiva, lo cual se debe tratar de evitar. Sin embargo, también hay consecuencias si el ritmo de trabajo es más rápido y varias de ellas se enlistan a continuación:

- Se tiene mayor inventario de producto acabado y semielaborado, con lo que el costo de producción aumenta.
- Se incrementa el lead time (periodo que pasa desde que un cliente realiza un pedido hasta que lo recibe), esto debido a que la sobreproducción imposibilita que se procese inmediatamente el pedido, pero si se trabaja contra stock y el producto semielaborado conjuga con los requerimientos, es posible esta aplicación aunque depende netamente del proceso que se esté llevando a cabo y de los requerimientos del cliente.
- Exceso de gente trabajando y suministrando.
- Sobrecapacidad para suplir las necesidades del proceso, pudiendo dejar otras al descubierto.

Se recomienda regular la velocidad del proceso a un ritmo de tiempo aceptable, buscando tener la menor pérdida de tiempo posible, tratando de alcanzar una mejora continua dentro del proceso.

Sistema “jalar de la producción” (pull)

El sistema “jalar de la producción” se basa en que dentro de la producción el proceso siguiente sea el que recoja del proceso anterior las piezas en la cantidad que se necesita y en el momento preciso, de esta manera se busca que los operadores solo produzcan artículos cuando sean necesarios para el proceso siguiente.

Las ventajas que ofrece este sistema se enlistan a continuación:

- a) Se reduce el tiempo de fabricación y la cantidad de productos no terminados.
- b) Es un sistema simple, ya que no necesita un control informático complejo.
- c) Reduce inventario y puede poner al descubierto los posibles problemas.

Los sistemas de producción pull utilizan tarjetas denominadas “kanban” como sistema de información y control, basado en que cada proceso retira las piezas del proceso anterior en las cantidades y tiempo exactos, con el fin de conseguir un flujo continuo de producción.

Kanban (el sistema de tarjetas en la producción)

Kanban significa tarjeta en japonés y físicamente es eso, siendo su función principal el de ser una señal para mover o producir material, para con ello lograr generar un sistema de información que controle fácilmente la fabricación de los productos necesarios en la cantidad y el tiempo necesario.

Es una herramienta que ayuda a alcanzar una producción justo a tiempo, mediante tarjetas que ayudan a regular el flujo de material dentro del proceso. Físicamente se trata de una tarjeta en una funda rectangular de plástico. Se utilizan de dos tipos el kanban de transporte y el kanban de producción, este último indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior, denominándose con frecuencia kanban de proceso, éstos son los kanban principales, de ellos se derivan otros tipos de kanban, aunque en la práctica también se llegan a usar otro tipo de señales como luces con colores (semáforo), cajas o cuadros pintados en el piso o en una mesa, cuyas principales funciones consisten en que si el cuadro está lleno de material o el foco indica lo mismo, no se debe producir, pero si está vacío o la luz indica esto último se debe de proseguir con la producción hasta fabricar lo indicado, lo cual es la función básica de los kanban.

Los objetivos principales que tiene la implementación de esta herramienta se muestran en la figura 2.9.

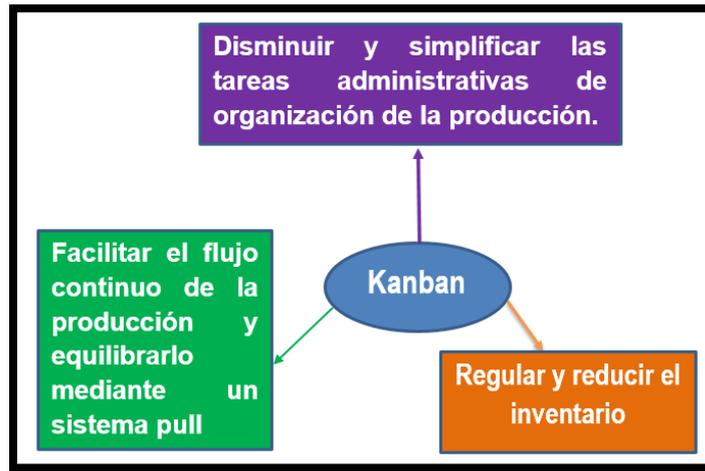


Figura 2.9 Objetivos del sistema kanban

La producción justo a tiempo involucra un sistema de adaptación a las modificaciones y cambios de la demanda, en el cual los departamentos producen los bienes necesarios, en el momento oportuno y en las cantidades precisas. Lo primero que se debe conocer en este sistema son los tiempos de todos los procesos con cierta precisión, así como las cantidades requeridas.

En este sistema cada proceso recoge los elementos o piezas del anterior. Donde únicamente la línea de montaje final puede conocer con precisión el tiempo y la cantidad de elementos que se necesitan, será ella la que requiera del proceso anterior esos elementos necesarios en las cantidades y el tiempo preciso para el ensamble o montaje en dado caso.

Los sistemas kanban tienen en común la función de etiquetar los productos o subproductos dentro de un proceso, clasificándolo y anotando de qué proceso viene y a cual prosigue, dependiendo del kanban que se utilice, o el proceso, también puede incluir el plazo de entrega.

Las principales reglas del sistema kanban se enlistan a continuación:

- a) Producir y recoger sólo lo que se necesita.
- b) El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente.
- c) Los procesos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.
- d) Mover los productos sólo con autorización (con una tarjeta o algún señalamiento empleado dentro del proceso).

Las principales aportaciones que tiene el método kanban es que reduce la sobreproducción al tener un control sobre ésta, permite conocer los tiempos del proceso y cuántas unidades se tienen que transportar.

Implementación del sistema kanban

Es importante conseguir un flujo de kanban de proceso adecuado a la producción y para lograrlo se proponen los siguientes pasos. Sin embargo, se pueden adaptar de manera acorde a los requerimientos de un proceso en particular, para lograr esto se propone la secuencia mostrada en la figura 2.10.

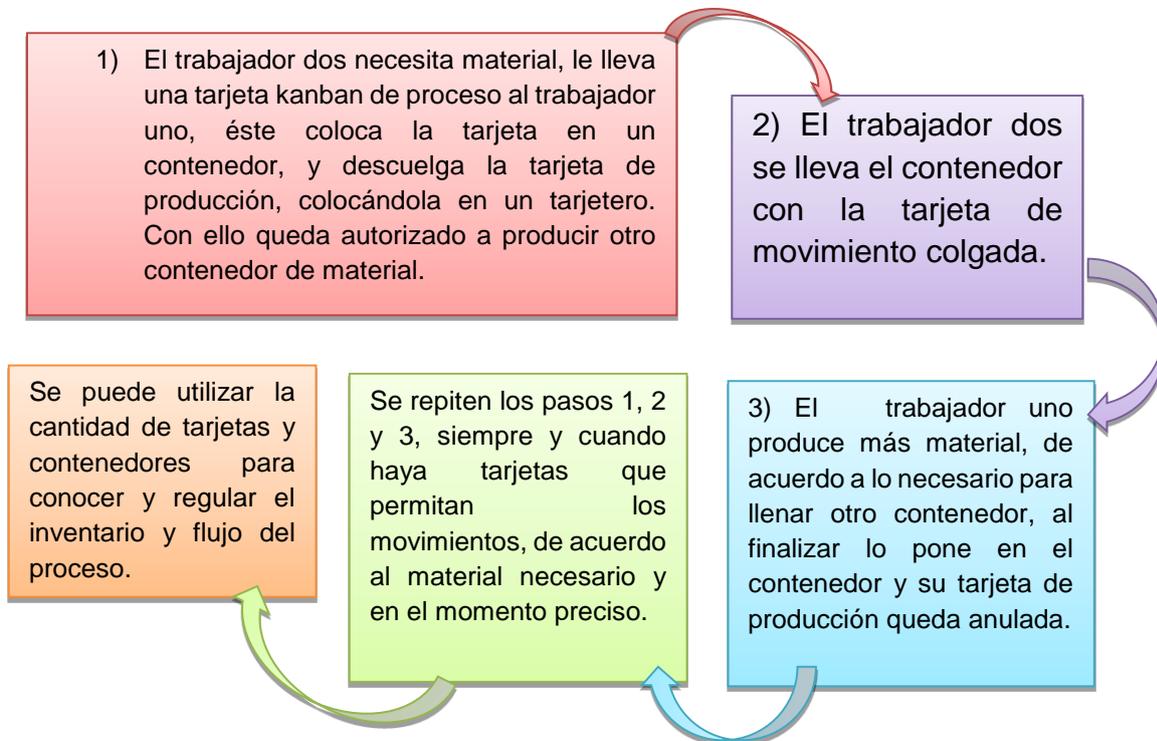


Figura 2.10 Secuencia para implementar el sistema Kanban

Para encontrar el número necesario de paquetes por kanban dentro del proceso, se sigue un método de prueba y error, el cual se puede modificar en caso de que no funcione adecuadamente. Sin embargo, se puede utilizar de manera inicial la siguiente expresión para poder calcularlos.

$$K = \frac{(D * Q) * R}{H * P}$$

Dónde:

K = Número de paquetes por Kanban.

D = El número de productos que necesitan los grupos de trabajo para cada turno.

Q = Cantidad total de esta pieza usada en el producto.

R = Tiempo de reposición (cuántas horas se tarda en tener un nuevo suministro de piezas, después de haberlas pedido).

H = Número de horas de trabajo por turno (menos los descansos y cualquier tiempo improductivo).

P = Número de piezas que el almacén sitúa en el paquete o contenedor (por ejemplo unos engranes deben empacarse con 10 unidades por cada caja).

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se puede usar esta expresión:

En una fábrica se empaquetan tornillos y se producen 500 bolsas cada día. Si se trabaja un turno de ocho horas y se tardan dos horas en recibir un nuevo suministro de bolsas (se envían 100 bolsas por paquete) después de hacer un pedido con el sistema de suministro, ¿cuál es la medida del kanban de bolsa para asegurar una gestión eficiente?

Retomando la ecuación previamente planteada:

$$K = \frac{(D*Q)*R}{H*P}$$

D = Porcentaje diario por turno = 500 (bolsas por día)

Q = Cantidad de bolsas que se necesitan por tipo de producto = 1

R = Tiempo de reposición de producto = 2 horas

H = Número de horas de trabajo por turno = 8 horas

P = Número de bolsas que el suministrador pone en un paquete = 100

$$K = \frac{(500*1)*2}{8*100} = 1.25 \text{ paquetes} \doteq 2 \text{ paquetes}$$

Por lo que se necesita recibir dos paquetes a la vez para llenar el primer kanban.

Número de kanban

El número de kanban debe ser suficiente para cubrir la demanda durante el proceso, existen diversas ecuaciones para poder calcularlo. Sin embargo, una de las más utilizadas es la que se muestra a continuación:

$$N = \frac{U*T*(1+P)}{C}$$

Dónde:

N = Número de tarjetas o contenedores necesarios entre dos estaciones de trabajo.

U = Ritmo de uso de la estación de trabajo, medido en piezas o componentes por hora.

T = Tiempo necesario para que una tarjeta o contenedor recorra todo un ciclo. Es decir, abandone la estación de trabajo lleno y regrese vacío.

P = Coeficiente que mide la eficiencia del sistema y puede tomar valores entre 0 y 1. Donde, un 0 representaría que el sistema es completamente perfecto y un 1 que es completamente ineficiente.

C = Capacidad del contenedor.

A continuación, se muestra un ejemplo para ejemplificar esta expresión:

En una empresa manufacturera hay dos estaciones de trabajo, una estación A y otra estación de trabajo B. La estación de trabajo B usaría un ritmo de producción de 200 componentes por hora. Cada contenedor o kanban tiene una capacidad de 50 productos. En promedio se necesitan 1.3 horas para que un contenedor lleno con 50 productos, salga de la estación y regrese vacío, se vuelva a llenar y salga de nueva cuenta. Se trata de calcular la cantidad de contenedores necesarios o kanban, si el sistema tiene una eficiencia de 0.3.

$$N = \frac{U * T * (1 + P)}{C} = \frac{200 * 1.3 * (1 + 0.3)}{50}$$

$$N = 6.76 \doteq 7$$

Con lo que podemos redondear a 7 contenedores o kanban y tener un stock de seguridad, lo cual es preferible dentro del proceso. El stock de seguridad es el conjunto de artículos acabados y disponibles para satisfacer la demanda del cliente cuando haya interrupciones del proceso, se debe tratar de disminuir el exceso de stock dentro del proceso.

Se pueden encontrar en la literatura, reportes de diversas ecuaciones para la obtención del número de kanban, se recomienda utilizar alguna de éstas, no necesariamente las propuestas cumplen para un determinado proceso, pero lo importante es que se debe adecuar al sistema y modificar, de ser necesario, para poder obtener la mayor eficiencia posible.

Para la implementación del sistema kanban se deben colocar al inicio y final unos contenedores, carros u otros dispositivos para almacenar las piezas y transportarlas desde el final de una estación hasta el inicio de la otra.

Estos contenedores llevarán su correspondiente tarjeta kanban, la cual indicará el proceso originario, el proceso destino, capacidad del contenedor, descripción, código de la pieza, número de kanban, de modo que la cantidad especificada sea la capacidad del contenedor o aproximada a éste. Se sugiere que al lado de los contenedores haya unos casilleros, como el que se muestra en la figura 2.11, donde se depositen las tarjetas, de esta manera se puede separar la tarjeta acorde a su función.



Figura 2.11 Casillero para separar los kanban

Por ejemplo, una tarjeta de transporte, como la que se muestra en la figura 2.12, se sitúa en un casillero al inicio del proceso, para ser colocada en un contenedor vacío y ser transportada al final del proceso para solicitar dicho componente.

Una tarjeta de transporte situada en un casillero al final de un proceso (hace referencia a productos terminados) deberá ser asignada a un contenedor lleno para ser transportada al proceso siguiente.

Kanban de transporte			De:
Código:			A:
Descripción:			Imagen del producto:
Automóvil:			
Capacidad del contenedor:	Tipo de caja:	Número de kanban:	
Proceso origen:	Proceso destino:		

Figura 2.12 Tarjeta kanban de transporte

Los sistema kanban, pull y justo a tiempo, se complementan mutuamente, siendo recomendable primero analizar el sistema takt time, para luego estructurarlo de acuerdo a los requerimientos del cliente y, posteriormente, acoplar un sistema pull, para, finalmente, organizarlo mediante el sistema kanban, con el fin de tratar de reducir el inventario y la sobreproducción dentro del proceso y cumplir con el tiempo adecuado de fabricación. Además, este sistema puede facilitar la localización de fallas debido al orden que conlleva su ejecución. También, ayuda a mejorar los métodos de trabajo y controla los niveles de producción, lo cual es vital en caso de que alguna máquina, por ejemplo, tenga una avería o se tenga que detener el proceso.

2.6 Herramientas e implementación de la manufactura esbelta

La manufactura esbelta hace uso de diversas herramientas para lograr llevar a cabo su filosofía con éxito. A continuación, se hace referencia a las más importantes y utilizadas en la industria manufacturera, así como recomendaciones para poder implementarlas.

Las 5S's

Las 5S's es una herramienta que fue desarrollado por Toyota, en Japón, para implementar mejoras sustentables a nivel de organización, orden y limpieza; además de aumentar la motivación del personal.⁵

Los objetivos principales que abarca la filosofía 5S's dentro del proceso, se presentan a continuación:

- Evitar el aspecto sucio de la planta, involucrando máquinas, herramientas, instalaciones, todo lo que intervenga dentro del proceso.
- Evitar el desorden, tratando de no tener los pasillos ocupados, las herramientas dispersas o materiales fuera de su lugar.
- Implementar señales e instrucciones de seguridad, las cuales deben ser entendibles para todo el personal, así como usar los elementos de seguridad adecuados para poder trabajar.
- Motivar e interesar a los empleados a trabajar en sus respectivas áreas.
- Evitar los movimientos innecesarios dentro de la planta.
- Tener el mayor aprovechamiento de espacio dentro de la planta, buscando evitar zonas muertas.

La implementación, de estos objetivos, se logra llevar a cabo mediante la implantación de una estrategia denominada y conocida internacionalmente como las 5S's por venir de los términos japoneses que se muestran en la figura 2.13:

⁵ Galindo Cota, E. & Villaseñor Contreras, A. (2007). Conceptos y reglas de lean manufacturing. Distrito Federal, México: Limusa.



Figura 2.13 Las 5S's

- 1) **Seiri**, significa: subordinar, clasificar, descartar.

Involucra mantener sólo lo necesario para realizar las tareas.

- 2) **Seiton**, significa: sistematizar, ordenar.

Trata de mantener las condiciones de operación y equipo a modo de fácil y rápida utilización.

- 3) **Seiso**, significa: sanear y limpiar.

Conlleva mantener el equipo y las condiciones de trabajo lo más limpias e higiénicas que se pueda.

- 4) **Seiketsu**, significa: simplificar, estandarizar y volver coherente.

Su objetivo es mantener y tratar de mejorar los logros que se generen.

- 5) **Shitsuke**, significa: sostener el proceso, disciplinar.

Básicamente, se basa en mantener de manera integral el proceso en funcionamiento, respetando las normas establecidas.

Se recomienda que el orden de aplicación de las 5S's sea el mismo que el listado previo, ya que con ello se podrá seguir una secuencia adecuada.

Implementación de las 5S's

Las 5S's es una de las principales herramientas de la manufactura esbelta y se recomienda sea de las primeras en ser aplicada dentro del proceso, ya que ayudará mucho a organizar el área de trabajo y mantener condiciones de trabajo adecuadas, para entonces, poder aplicar con mayor facilidad las demás herramientas de la manufactura esbelta.

La primera de las 5S's es Seiri, esta "s" implica separar lo que no se necesite y controlar el flujo de herramientas y elementos innecesarios para el proceso.

La aplicación de Seiri requiere separar lo que es realmente útil para el proceso, mantenerlo y eliminar lo sobrante.

Para implementarla se recomienda hacer, de manera inmediata, una separación de los elementos necesarios según su uso y a la frecuencia con la que se utiliza, y aplicarlo no solamente a herramientas, máquinas o piezas tangibles, sino también a información como ficheros, datos, etc.

En la práctica se pueden adherir tarjetas rojas a los elementos que no se utilizan o bien que se han quedado obsoletos, con el fin de evitar acumulaciones.

La segunda "s" es Seiton, y para poder aplicarla se deben tener los elementos clasificados de forma tal que se puedan encontrar con facilidad, esto involucra una clasificación actualizada con una facilidad de búsqueda y el poder retornarlos a su ubicación con la misma facilidad, lo que es el objetivo de Seiri.

Se recomienda marcar los límites de las áreas de trabajo, almacenaje, zonas de paso y afines al proceso, así como disponer de un lugar en condiciones adecuadas para el proceso.

La tabla 2.2 muestra una recomendación para ordenar las herramientas y equipo de acuerdo a su uso.

Frecuencia con la que se utiliza el elemento	Ubicación o destino recomendado
No se usa	Eliminarlo del proceso
Cada hora	Colocarlo junto al trabajador
Varias veces al día	Colocarlo cerca del trabajador
Varias veces por semana	Colocarlo dentro del área de trabajo
Algunas veces al mes	Colocarlo en otra área del proceso
Algunas veces al año	Colocarlo en archivo
Una vez al año	Colocarlo en almacén
Es posible que se utilice	Colocarlo en almacén

Tabla 2.2 Recomendaciones para ordenar las herramientas y equipo

La tercera “s” es Seiso, para poder aplicarla se debe realizar una limpieza con el fin de que el operador identifique rápidamente los componentes dentro de su área de trabajo.

Seiso no consiste en hacer brillar de limpieza los equipos o herramientas, sino de mostrarle al operador como son sus máquinas o equipos de manera interna e indicarle donde están los focos de suciedad de su máquina o área de trabajo, esto con el fin de que el operador pueda prevenir posibles defectos.

La limpieza del área de trabajo consiste en retirar el polvo, salpicaduras y virutas, y se recomienda integrar esta limpieza como parte del trabajo diario, añadiéndola como una tarea de inspección necesaria y, a su vez, se debe centrar el trabajo en localizar las posibles causas de la suciedad, en vez de sus consecuencias, con el fin de prevenirlas.

Cuando Seiso se aplica de manera adecuada se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Disminución del riesgo de accidentes.
- Incremento de la vida útil de los equipos y herramientas.
- Reducción de averías.

La limpieza es la primera impresión y tipo de inspección que se hace a los equipos o máquinas de trabajo, mediante ésta se aprecia si un motor pierde aceite, una máquina produce rebabas, si existen fugas, entre otros tipos de posibles averías.

La siguiente “s” es Seiketsu, mediante ella se plantea consolidar lo obtenido con las tres s previas, para asegurar un efecto duradero en el proceso de manufactura. Su base es estandarizar, lo cual consiste en seguir un método o procedimiento de manera que el orden y la organización sean factores fundamentales.

La estandarización consiste en fijar los lugares donde deben estar las cosas y donde deben desarrollarse las actividades, y la limpieza e inspecciones necesarias dentro del proceso.

Su aplicación conlleva mantener los niveles conseguidos con las tres primeras s, cumplir y elaborar estándares de limpieza y comprobar que estos se apliquen adecuadamente, así como transmitir a todo el personal que los estándares tienen una gran importancia y deben aplicarse.

La última “s” es Shitsuke, ésta se basa en la disciplina, tiene por objetivo convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aplicarlos adecuadamente.

El desarrollo del autocontrol es fundamental para Shitsuke ya que fomenta que los trabajadores apliquen la autodisciplina para hacer perdurable el proyecto adquirido con la implementación de las 5S's.

Básicamente, consiste en aplicar de manera regular las normas establecidas previamente y mantener el equipo y las instalaciones en las condiciones adecuadas para laborar.

La disciplina y conducta adecuada crecen con la práctica y requieren cambiar hábitos, de manera que todos los trabajadores estén formados bajo los conceptos de resolver los problemas, utilizar adecuadamente los estándares de trabajo y ejecutar las tareas en los tiempos asignados y evitando la formación de errores o defectos.

Lo que se busca con Shitsuke es cumplir las normas buscando progresar, tratando de alcanzar una mejora continua mediante la creación de áreas de trabajo disciplinadas y con conductas adecuadas, por ejemplo regresar las herramientas después de haberlas utilizado, mantener el área de trabajo limpia, etc.

Para la aplicación de Shitsuke se recomienda considerar los siguientes puntos:

- Respetar las normas y estándares establecidos para el buen funcionamiento de la empresa.
- Analizar el grado de aplicación y el cumplimiento de las normas con el fin de tratar de mejorarlas.
- Mantener la disciplina y autodisciplina, mejorando el respeto propio y hacia los demás.

- Autoevaluación continua con el fin de tratar de mejorar el trabajo actual.

Si se aplica, adecuadamente, Shitsuke se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Una cultura de respeto y cuidado por los recursos.
- Una mejora del ambiente de trabajo.

Las 5S's es una herramienta de mejora, la cual se debe complementar con las demás herramientas para conseguir la filosofía de cero defectos, una alta calidad con el menor costo de producción.

Un ejemplo de la aplicación de las 5S's se aprecia en la figura 2.14, donde de manera inicial se tiene un área de trabajo desordenado, con una nula clasificación y limpieza, mientras que en la segunda imagen se puede apreciar la misma área de trabajo pero con un orden, limpieza y clasificación adecuada con unas condiciones de trabajo adecuadas para evitar las pérdidas de tiempo y mejorar la eficiencia del proceso.



Figura 2.14 Aplicación de las 5S's

Heijunka (Producción nivelada)

Una de las herramientas principales de la manufactura esbelta es Heijunka, o también conocida como producción nivelada, y es una técnica que adapta la producción a la demanda y requerimientos del cliente.

Heijunka significa "trabajo llano y nivelado". Se debe satisfacer la demanda con las entregas requeridas por los clientes, pero esta demanda es fluctuante, es decir cambiante, mientras las fábricas requieren que ésta sea "nivelada" o estable. La idea de esta técnica es la producción de lotes pequeños de muchos

modelos, libres de defectos, en periodos de tiempo rápidos, en lugar de ejecutar lotes grandes de un modelo después de otro.⁶

Los principales objetivos de esta técnica son los siguientes:

- a) Mejorar la respuesta frente al cliente. Con una producción nivelada, el cliente recibe el producto a medida que lo demanda, a diferencia de tener que esperar a que se produzca un lote.
- b) Estabilizar la plantilla de la empresa, al conseguir una producción nivelada.
- c) Incrementar la flexibilidad de la planta. Una producción nivelada se adapta mejor a pequeñas variaciones que pueda experimentar la demanda.

Un sistema de producción nivelado balancea diariamente la producción de todos los productos para conseguir un flujo continuo y variable de producción, en contraste con un sistema de producción tradicional que manufactura por lotes un producto A, hasta alcanzar su demanda requerida. Posteriormente, realiza los cambios pertinentes en la línea de producción y empieza a manufacturar el producto B hasta que de nueva cuenta alcanza la demanda requerida.

La principal ventaja que ofrece la producción nivelada, es que, por ejemplo, en caso de que se opte por la producción en lote y se produzca un problema, por ejemplo una avería, es seguro que habrá algún modelo del cual no se podrá fabricar o se tendrá en cantidades pequeñas. En cambio, si la producción es en lotes pequeños (nivelada) se contará con la variedad de productos para satisfacer las necesidades del cliente, esto se muestra en la figura 2.15, la cual compara la diferencia de producir de manera tradicional y nivelada.

⁶ Rajadell Carreras, F. & Sánchez García, J. (2010). Lean manufacturing. Madrid, España: Díaz de Santos.

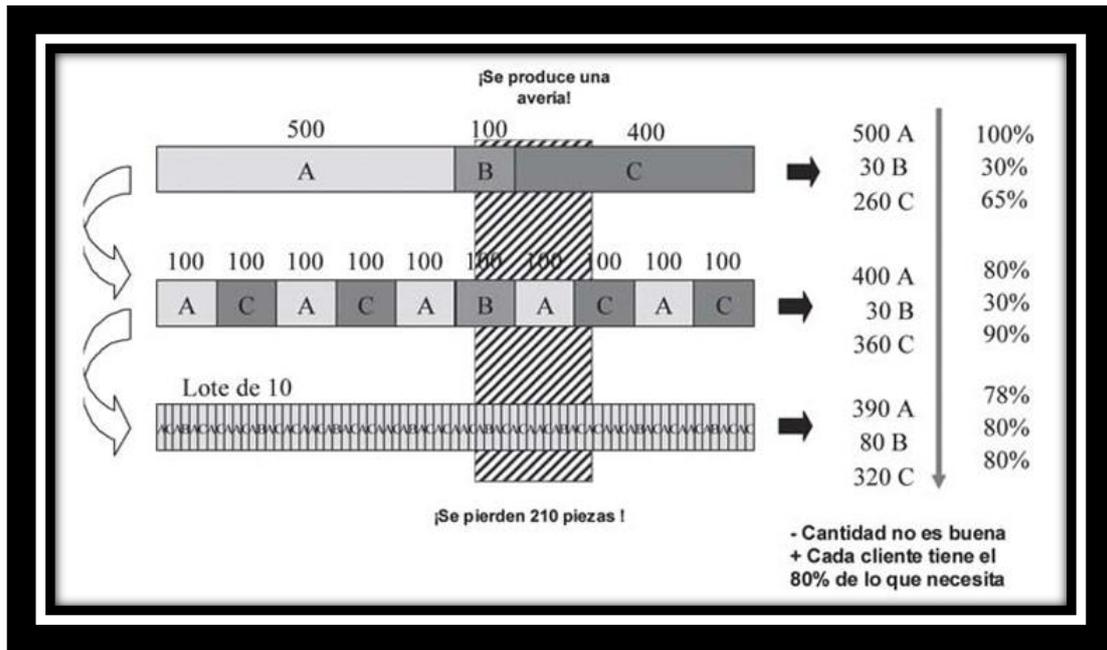


Figura 2.15 Ejemplo de producción nivelada

En el primer caso, de la figura 2.15, se producen 500 unidades de A, 100 de B y 400 de C. En un determinado momento se detiene la producción de los productos, en la cual el producto A se ha acabado completamente, pero del producto B solo se realizaron 30 piezas y del C 260 piezas. Para el segundo caso, hubo una producción un poco más nivelada, en la cual se produjo 400 de A, 30 de B y 360 de C. Por último, en el tercer caso, se produjeron 390 piezas de A, 80 piezas de B y 320 piezas de C, lo que permite obtener una mayor variedad de productos y una mayor oportunidad de satisfacer las necesidades del cliente al instante.

Esta metodología es útil para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante una jornada de trabajo. Si hay una nula o poca variación en la producción en cuanto a tipos de producto, es posible que no sea necesaria esta sofisticación, sin embargo es una herramienta fundamental dentro de la manufactura esbelta.

Implementación de Heijunka

Esta herramienta de manufactura se puede aplicar identificando los siguientes conceptos dentro del proceso:

- Islas de producción, consiste en la eliminación de los puestos de trabajo aislados, que no participan de manera activa en el proceso, donde puede haber desperdicios de movimientos innecesarios de personas y productos.
- Mejora de procesos, conlleva mejorar el tiempo de ciclos de producción mediante un proceso eficiente, apoyándose del SMED.

- Sobreproducción, dentro de este sistema, al igual que en otras herramientas de la manufactura esbelta, se trata de reducir el exceso de productos no acabados o semielaborados. Pero, a diferencia de otras herramientas Heijunka, trata de tener una diversidad de productos en lugar de un exceso de un mismo producto no terminado.

Heijunka busca la optimización del proceso combinando las estaciones de trabajo ligadas en secuencia, eliminando el flujo estancado de material y los desplazamientos innecesarios.

Una vez establecidos estos conceptos se puede evaluar cómo se ajustan dentro del proceso, tratando de que Heijunka sirva como una herramienta efectiva.

Lo que se trata de llevar acabo al implementar Heijunka puede observarse en el ejemplo de la figura 2.16, donde se tiene una producción nivelada acorde a la demanda del cliente. En este caso práctico, cada semana se fabrica de manera equilibrada los productos A, B y C. No se manufactura solamente un determinado producto en cierto tiempo, para luego pasar al siguiente producto, sino se fabrican en cantidades proporcionales y, como se ha mencionado, en caso de que ocurra alguna falla en el proceso, se podrá contar con cierta variedad de productos, y no solamente de uno en particular.⁷

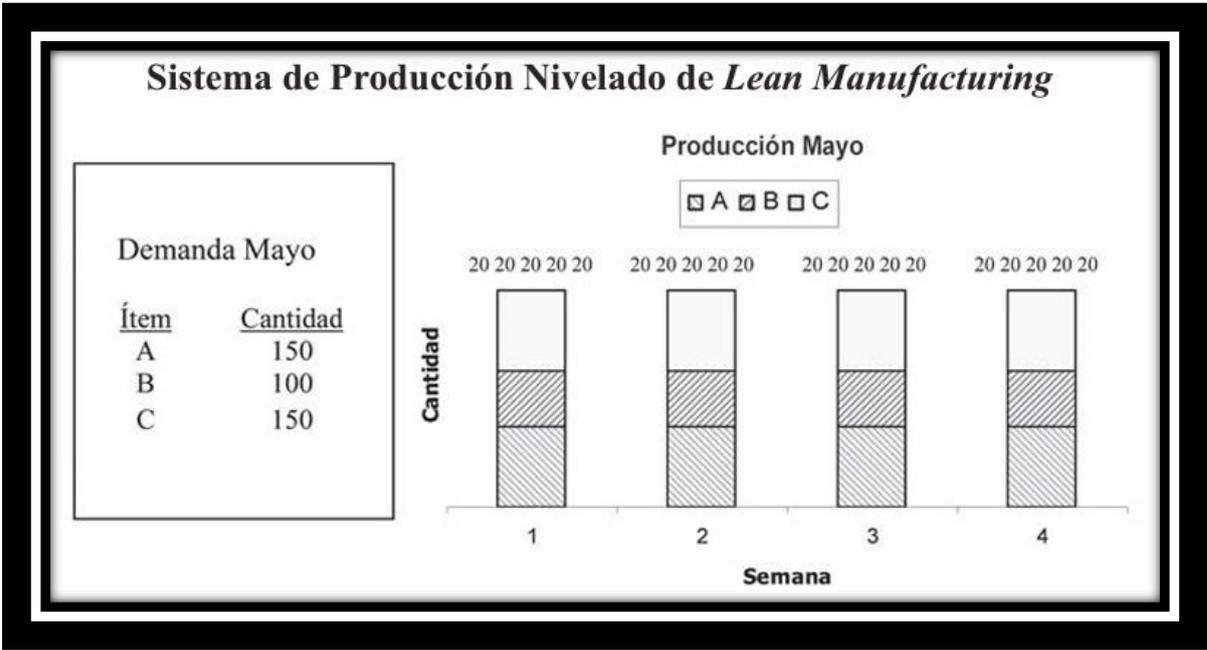


Figura 2.16 Implementación de Heijunka

⁷ Rajadell Carreras, F. & Sánchez García, J. (2010). Lean manufacturing. Madrid, España: Díaz de Santos.

Heijunka se puede aplicar a la par que el sistema kanban, para poder dar una mayor eficiencia y control al flujo continuo dentro del proceso y diversidad al mismo, lo cual es fundamental para una producción lean.

La práctica de heijunka requiere una buena comunicación y análisis de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos de manufactura, exige una alta atención a la estabilización de los productos, para poder determinar el tamaño de los lotes que se deben producir.

Con estos elementos mencionados se puede diseñar un proceso de acuerdo a las necesidades de los clientes y los lineamientos de la producción, recalcando que ninguna herramienta de la manufactura esbelta actúa de manera individual, se recomienda su aplicación en conjunto.

SMED (cambio rápido de herramienta)

El SMED (single minute exchange of die), o cambio rápido de herramienta, tiene como función principal la reducción del tiempo de cambio de herramienta (setup) como su nombre lo indica. Este tiempo de cambio se define como el tiempo transcurrido entre la última pieza manufacturada del producto A y la primera pieza por manufacturar del producto B.

Dentro del sistema SMED el número de minutos de tiempo de preparación para producir una nueva pieza, se maneja, generalmente, un tiempo inferior a 10 minutos. Este tiempo se ha logrado reducir a menos de un minuto, en la actualidad, gracias a las nuevas tecnologías.

Esta necesidad proviene de la reducción de los tiempos de preparación, debido a que con ésto se disminuye el tiempo de cambio de herramienta entre un producto A y un producto B, facilitando el trabajo en series cortas de productos, obteniendo una producción nivelada, siendo un muy buen complemento de heijunka, obteniendo una mayor diversificación de series de productos y una rápida adaptación a la demanda del cliente.

En la tabla 2.3, se muestran los diferentes tiempos de cambio que se pueden encontrar en el proceso, los cuales trata de disminuir y eventualmente eliminar SMED.

Procedimiento de tiempo de cambio	Descripción de los procedimientos de cambio.
Cambiar herramienta y utensilios	Estos procedimientos son típicos en talleres mecánicos, donde los operadores fijan y retiran moldes, sierras, etc.
Cambiar parámetros estándar	Este se da cuando se tiene máquinas de corte de presión elevada o equipos de proceso químico, donde los operadores cambian los parámetros estándares usados en diferentes tareas del proceso.
Cambiar piezas a ensamblar y otros materiales	El cambio del modelo de producto, requiere la recepción de nuevas piezas y otros materiales que se incorporan al nuevo modelo.
Preparación general previa a la fabricación	Este tipo de preparación involucra actividades como arreglar el equipo, herramientas o accesorios, limpieza general, asignar tareas, revisar planos, etc.

Tabla 2.3 Cambios de herramienta

Además de que SMED ayuda a facilitar la aplicación de otras herramientas de la manufactura esbelta y reducir el desperdicio de tiempo dentro del proceso. A continuación, se presentan las principales razones de esta necesidad:

- Se puede reducir la calidad del producto, porque las operaciones internas requieren que la maquinaria se encuentre parada y durante las operaciones de reajuste los productos pueden presentar defectos.
- Se dificulta la implantación de un heijunka. En la medida que las unidades se producen bajo un tamaño de lote prefijado es posible que parte de la cantidad producida no sea necesaria, o incluso resulte difícil de vender, debido a que se generan demasiadas unidades de un mismo producto en comparación con los otros.

Implementación de las técnicas SMED

En la figura 2.17, se muestra la secuencia recomendable para implementar el SMED.

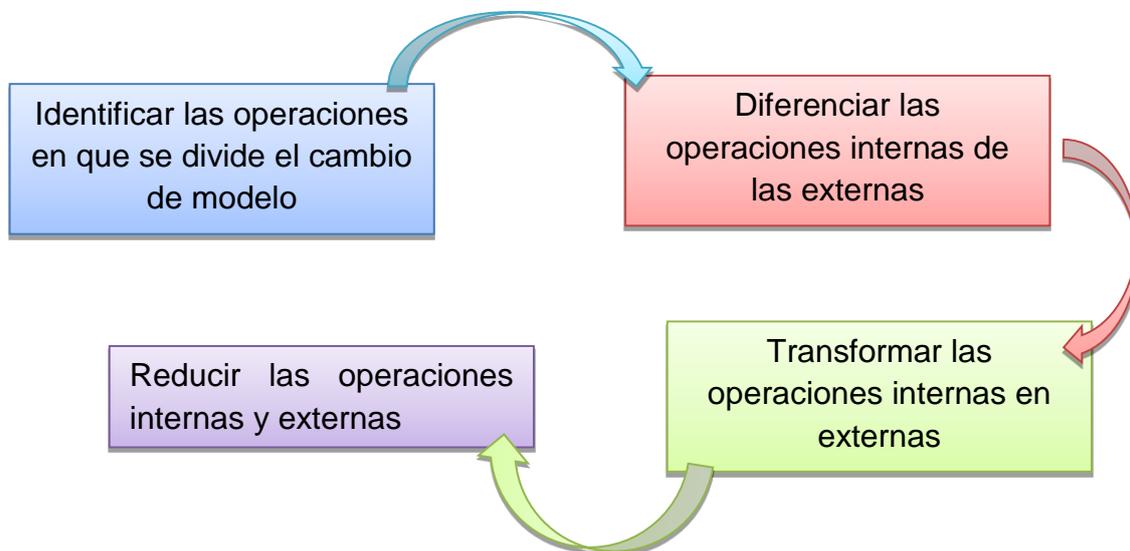


Figura 2.17 Implementación de las técnicas SMED

- 1) Identificar las operaciones en que se divide el cambio de modelo.

En este paso se deben detallar todas las tareas de un cambio y cronometrar todas y cada una de las secuencias, anotando los tiempos.

- 2) Diferenciar las operaciones internas de las externas.

Se deben identificar las tareas o actividades de preparación que se realizan en un cambio, diferenciando entre las operaciones internas, que se realizan cuando la maquinaria está parada, de las externas, que se ejecutan cuando la maquinaria está en marcha.

Las operaciones internas deben tratar de limitarse a retirar la herramienta anterior y fijar la nueva, ya que representaría el mínimo tiempo con la máquina parada. Mientras que, las operaciones externas pueden ser la preparación y transporte de troqueles, matrices, herramientas y materiales, esto puede realizarse con la máquina en funcionamiento.

- 3) Transformar las operaciones internas en externas.

Este paso es uno de los principales del SMED, implica un análisis minucioso de todas las actividades para ver si hay posibilidad de convertir algún paso identificado como interno en externo.

- 4) Reducir las operaciones internas y externas.

La reducción de las operaciones internas y externas se puede lograr mediante las siguientes recomendaciones:

- Utilizar una técnica manual de cambio rápido para los componentes y soportes.
- Eliminar herramientas no utilizadas (destornilladores, llaves Allen, etc.).
- Utilizar códigos de colores (para facilitar la gestión visual).
- Establecer posiciones prefijadas de herramientas a la hora de cambiar.

En resumen, esta metodología trata de minimizar los tiempos analizando los pasos que ocurren en cada operación y catalogándolos a una manera acorde, para tratar de reducirlos.

Esta herramienta es altamente utilizada en la Formula 1, donde en tiempos muy cortos el personal logra cambiar piezas y cargar gasolina a los vehículos. Por ejemplo, los equipos de trabajo logran cambiar las cuatro llantas del vehículo en menos de 10 segundos, cuando en estaciones de servicio convencionales pueden demorar de 7 a 15 minutos.



Figura 2.18 La herramienta SMED aplicada en la Formula 1

Mantenimiento en la producción

El objetivo de esta herramienta es asegurar que el equipo de fabricación se encuentre en perfectas condiciones para operar y cumpla con los estándares de calidad en un tiempo de fabricación adecuado.⁸

La manufactura esbelta exige que cada máquina esté lista para trabajar en cualquier momento en respuesta a los requerimientos de los clientes. Con esto se trata de garantizar que el equipo sea altamente fiable, desde el arranque hasta que se detenga, con un funcionamiento perfecto y sin averías.

⁸ Swärd, Knut. (1972). Mantenimiento de las máquinas y herramientas. Barcelona, España: Blume.

Los principales objetivos del mantenimiento en la producción se exponen a continuación:

- Consultar y apoyarse en todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos, en la implementación del mantenimiento.
- Fomentar el mantenimiento creando pequeños grupos de trabajo, con el fin de fortalecer el trabajo en equipo, además de crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí, con el fin de conseguir un entorno creativo de trabajo, seguro y agradable.
- Generar capacidades competitivas duraderas en el tiempo gracias a su contribución a la mejora del proceso y la reducción de los costos operativos.
- Incrementar la eficiencia del equipo y de las instalaciones, eliminando o reduciendo tiempos muertos debidos a averías, preparaciones y ajustes.
- Desarrollar un programa de mantenimiento ideal para mantener una buena vida útil de los equipos.

Tipos de mantenimiento

Existen diferentes tipos de mantenimientos, los cuales se pueden aplicar en la industria manufacturera y que a continuación se describen:

a) Mantenimiento planificado

El mantenimiento planeado, basado en valoraciones de las condiciones del equipo, se caracteriza en ser planificado en función de las prioridades y los recursos. Este mantenimiento está orientado a corregir, prevenir y predecir averías, esto incluye la planeación y abastecimiento de materiales.

Este mantenimiento requiere la colaboración de los departamentos implicados en el proceso y, además, se debe programar en momentos que no alteren los programas de entrega y de producción.

A lo largo de la vida útil del equipo, se recomienda utilizar cuadernos de registro, con el fin de tener el historial del funcionamiento del equipo desde el momento de la compra hasta su desmantelamiento. En esta documentación se pueden incluir elementos como fechas, ubicación, detalles, costos de reparación, mantenimiento y mejoras.

Sin embargo, en ocasiones, es complicado llevar un registro debido al trabajo rutinario, además puede llegar a resultar innecesaria toda esta documentación, derivado de esto no hay un formato estándar para los registros de mantenimiento.

b) Mantenimiento de emergencia

El mantenimiento de emergencia es todo trabajo no planeado que deberá realizarse el mismo día, y por sus características, no permite tener una planeación adecuada. Este tipo de mantenimiento se debe reducir al mínimo y no debe exceder el 10% del trabajo total de mantenimiento.

Dentro del proceso, se recomienda tener un departamento de mantenimiento y éste a su vez, debe estar consciente de las posibilidades para manejar este tipo de mantenimiento, las cuales son:

- 1) Introducir el mantenimiento de emergencia en la programación cotidiana, para luego seleccionar los trabajos con tiempo extra y los trabajadores disponibles, con el fin de que se le ceda una capacidad de carga a este tipo de mantenimiento.
- 2) Estimar la cantidad de mantenimiento de emergencia dentro del proceso y asignar trabajadores hábiles en la resolución del problema y dedicados a este tipo de trabajo.

En la mayoría de las industrias manufactureras se opta por la primera alternativa, debido a que se espera que resulte en una mayor utilización de la capacidad laboral, aunque la segunda alternativa ofrece la capacidad de responder con rapidez.

c) Mantenimiento preventivo

Su objetivo es la reducción del número de paradas en la producción, derivadas de averías imprevistas. Se basa en paradas de producción, programadas para realizar una inspección detallada y para sustituir piezas desgastadas.

El principal cuestionamiento que debe hacerse al usar este tipo de mantenimiento es, ¿qué tareas deben realizarse para impedir una falla?, esto se puede responder con una deducción lógica sobre cómo impedir la falla del equipo.

Las actividades básicas que implica un programa de mantenimiento preventivo se enumeran a continuación:

- 1) Limpieza.
- 2) Lubricación.
- 3) Inspección periódica de máquinas, instalaciones y equipos (normalmente combinada con control de calidad y corrección de averías y errores).

Este tipo de mantenimiento es preferible, sobre otros tipos de mantenimiento, con base en las siguientes razones:

- 1) La frecuencia de fallas puede reducirse realizando lubricaciones adecuadas, limpieza, ajustes e inspecciones.

- 2) Si la falla no puede ser prevenida, la inspección y mediciones en el equipo ayudan a reducir la severidad de la falla y el posible efecto dominó, en el que una falla genere otras más en la máquina o en el proceso, reduciendo las consecuencias que ocasione.
- 3) Se puede analizar la degradación de un parámetro, como la calidad de un producto o la vibración de una máquina, con el fin de detectarse una falla inminente con el tiempo.
- 4) Una principal razón es que, una falla imprevista afecta directamente a la producción, además de que el costo de un mantenimiento de emergencia es mayor que uno planeado y de que la calidad de la producción puede verse afectada.
- 5) Menos paros de producción al reducirse las averías.
- 6) Mejor conservación y duración más larga del equipo.
- 7) Mayor calidad del producto, con menos defectos debido al ajuste del equipo.
- 8) Más seguridad y mejor protección de la instalación.

El departamento de mantenimiento, o los encargados, deben tener precaución al realizar el trabajo de inspección ya que, de no realizarlo adecuadamente, pueden causar desajustes, lo que deriva en desequilibrios e incluso averías.

Actualmente, existen diversas tecnologías de diagnóstico, las cuales permiten conocer las condiciones del equipo, entre ellas se encuentran las siguientes:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de lubricantes
- Termografía
- Ultrasonido

También, se debe considerar que el intervalo de tiempo que se detenga la producción afecta directamente el flujo del proceso. Sin embargo, puede llegar a ser necesario, ya que el número de averías puede llegar a aumentar en caso de que el problema no se solucione adecuadamente en el tiempo necesario.

d) Mantenimiento predictivo

El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en la detección y diagnóstico de averías antes de que éstas se produzcan, con el fin de programar paradas del sistema en los momentos adecuados.

Sus objetivos principales son los siguientes:

- Reducir averías y accidentes ocasionados por los equipos.
- Disminuir los tiempos y costos de mantenimiento.
- Aumentar los tiempos operativos y la producción.
- Mejorar la calidad de los productos y servicios.

La principal diferencia entre el mantenimiento preventivo y el predictivo, es que el primero se enfoca en la reducción de paradas derivadas de averías mediante paradas programadas para realizar una inspección al equipo, mientras que el predictivo se enfoca en detectar y diagnosticar las averías antes de que se produzcan para entonces programar una parada.

Este tipo de mantenimiento tiene como limitante que solo sirve cuando se pueden detectar las averías mediante cierto tipo de parámetros en los equipos. Su principal ventaja es que cuando se detectan averías en los equipos, que pueden ocasionar una gran pérdida a la empresa o su reparación puede ser bastante costosa, este tipo de mantenimiento ayuda a detectarla con tiempo para encontrar una solución adecuada.

En la tabla 2.4, se muestran herramientas que ayudan a detectar las posibles averías en los equipos, lo cual sirve de mucho apoyo para este tipo de mantenimiento.

e) Mantenimiento correctivo (reparaciones)

Este mantenimiento tiene conexión con el mantenimiento de emergencia ya que la avería se encuentra presente dentro del proceso, pero ésta puede no ser tan urgente como en el de emergencia, el cual debe ser tomado con cierta rapidez.

Cabe mencionar que, las averías y paros son posibles aún en fábricas con un mantenimiento preventivo muy bueno. Para la rápida y efectiva solución de estas fallas se necesita un buen equipo de reparaciones.

Para llevar a cabo un mantenimiento correctivo adecuado, se recomienda considerar los siguientes puntos:

- En caso de tener más de una avería al mismo tiempo, puede que el equipo no sea suficiente para acudir a todas las solicitudes de manera inmediata, con lo que el jefe de mantenimiento debe establecer cuáles son las más importantes y empezar por ellas. Estos deben estar instruidos en la fácil detección de fallas y métodos de resolución de fallas, mediante ejercicios, los cuales se pueden consultar en el libro de “Mantenimiento de las máquinas y herramientas”, editorial Blume, cuyo autor es Knut Swärd, segunda edición.
- El jefe de equipo debe planificar el trabajo y, en caso de ser necesario, también tiene que definir las herramientas y útiles especiales que debe proveerse al trabajador, este equipo debe ser de buena calidad y de fácil transporte, debe componerse de las herramientas elementales para resolver el problema, con el fin de evitar recurrir demasiado al almacén.
- Utilizar los diagramas de funcionamiento como auxiliares en la detección de averías.

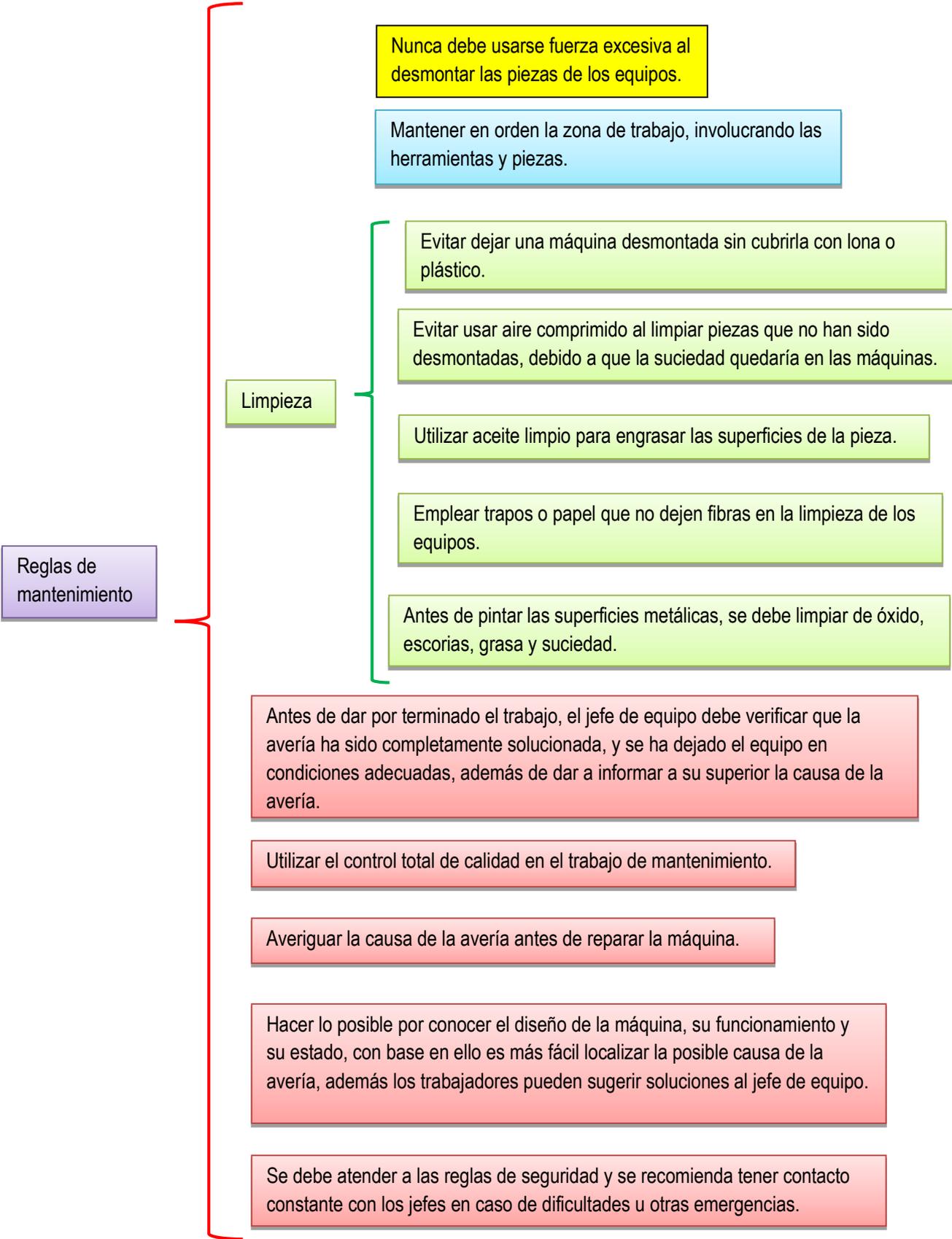
- Se deben considerar las reglas generales para trabajos de mantenimiento, las cuales se muestran en el cuadro sinóptico de la siguiente página.

En la figura 2.19, se muestran algunos equipos que pueden ayudar a la detección de fallas mediante parámetros, como las vibraciones de los equipos.



Figura 2.19 Detección de fallas en los equipos

Para efectuar un mantenimiento adecuado en los equipos se recomienda tomar en cuenta las reglas generales de mantenimiento mostradas en el cuadro sinóptico 2.



Cuadro sinóptico 2 Reglas de mantenimiento

Recomendaciones para la aplicación de un mantenimiento adecuado en la industria manufacturera:

Como se ha mencionado, existen nuevas tecnologías que se pueden aplicar a la detección de fallas y diagnóstico de máquinas, algunos de estos se pueden observar en la tabla 2.4.

Técnica	Descripción
Métodos térmicos	Incluyen la utilización de pintura térmica, con lo que se puede ver el sobrecalentamiento en el caso de los motores, así como termografía para la verificación de la temperatura de los hornos y las condiciones de los armarios y conducciones eléctricas.
Monitorización de lubricantes	Estos métodos cubren un amplio rango de sofisticación desde la monitorización del color, oxidación y contenido de partículas del metal del lubricante hasta el análisis espectro químico.
Detección de fugas	Las fugas que provienen de los recipientes de presión se detectan usando ultrasonido o gases halógenos.
Detección de grietas	Estas se pueden detectar usando fluidos magnéticos, resistencia eléctrica, corrientes inducidas, ondas de ultrasonido o radiación.
Monitorización de vibraciones	Se utilizan impulsos de choque y otros métodos, principalmente en máquinas con piezas móviles.
Monitorización de corrosión	Se utiliza la emisión acústica y otros métodos para monitorizar el estado de las partes metálicas.
Monitorización de ruidos	Diferentes tipos de mecanismos monitorizan el estado de los equipos a través del ruido que generan

Tabla 2.4 Métodos de detección y diagnóstico de máquinas

Para instituir un sistema de manufactura óptimo, se deben tomar en cuenta los siguientes pasos, que tienen cierta coincidencia con las 5S's.

- 1) Mantener limpias y en buen estado las máquinas, herramientas y los elementos necesarios en el proceso de manufactura, debido a que es más fácil distinguir las posibles anomalías que pueden producir una anomalía en la máquina.

- 2) Eliminar las fuentes de suciedad tales como fugas de aire o de aceite, caídas de material, virutas de metal, etc. Ya que se deben considerar como posibles causas de mal funcionamiento de los equipos, para eliminar las fuentes de suciedad se puede aplicar el principio de los 5 por qué's, el cual es mostrado en este mismo capítulo en la sección de lean seis sigma. Además de eliminar las fuentes de suciedad, también se deben eliminar las zonas de difícil acceso que conllevan un desperdicio de tiempo, espacio y movimiento.
- 3) Inspeccionar adecuadamente el equipo.
- 4) Utilizar la mejora continua, proponiendo mejoras en las máquinas que permitan tener una mayor efectividad ante posibles fallas o averías.

El mantenimiento con el enfoque de la manufactura esbelta tiene una gran importancia, ya que prevé las fallas en los equipos y las resuelve, con esto se pueden evitar desperdicios de tiempo, dinero, personal, pero sobretodo, detener, la producción.

Los 7 desperdicios

Toyota identificó siete tipos de desperdicios, los cuales se pueden observar en la figura 2.20. Estos desperdicios no agregan valor al producto y pueden ser contrarrestados al aplicar las herramientas de la manufactura esbelta.

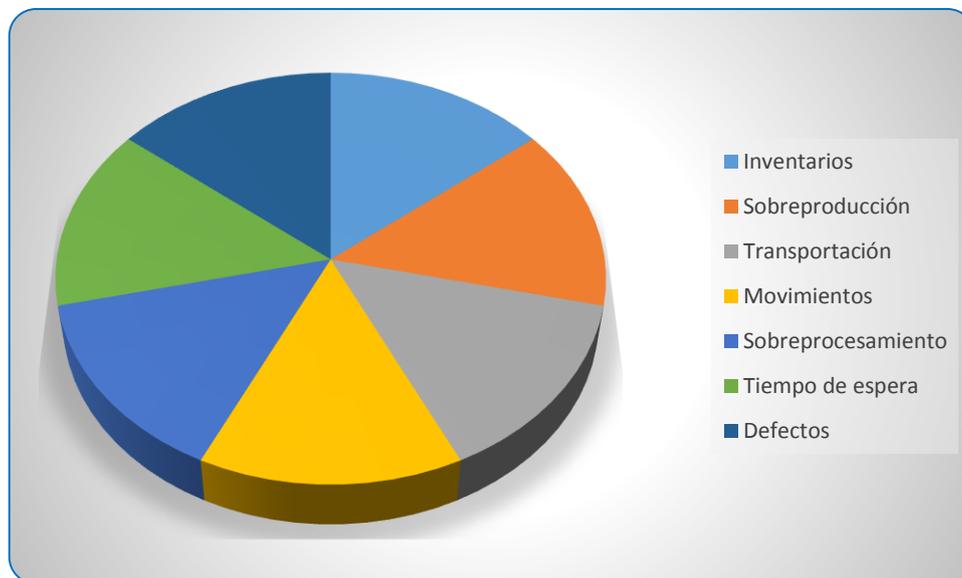


Figura 2.20 Los siete desperdicios

A continuación, se mencionan los siete desperdicios y qué herramientas pueden facilitar la disminución o eliminación de éstos:

a) Movimiento.

Los empleados deben tener las herramientas siempre a la mano para evitar traslados y pérdida de tiempo innecesarios. Acciones innecesarias como mirar, buscar, caminar, puede ser vinculado con un desperdicio. Esto se puede contrarrestar aplicando las 5S's, ya que mediante éstas se busca mantener un área de trabajo ordenada y limpia.

b) Tiempo de espera.

Los operadores deben trabajar con una buena planificación las máquinas y las materias primas para que el proceso no tenga desperdicios en cuanto a tiempo. Éste debe minimizarse con una buena planificación y comunicación con el suministro de materiales, herramientas e información.

Como se menciona en este capítulo, la utilización de los sistemas kanban, SMED, just in time y pull, minimizan este desperdicio de tiempo, planifican adecuadamente la producción a los requerimientos del cliente y, además, generan un suministro adecuado de materiales y herramientas.

c) Sobreproducción.

Este desperdicio involucra no producir más de lo que demanda el cliente, así como evitar producir con una excesiva anticipación. Ya que de otra manera la producción será almacenada con lo que se incrementará el inventario y el costo de almacenamiento.

La producción en exceso se puede evitar con la aplicación de heijunka, la cual ayuda a mantener una producción nivelada, acorde a la demanda del cliente. Así como el sistema kanban facilita conocer el número de piezas que se están fabricando al momento, para entonces poder regularlo a la demanda requerida.

d) Productos defectuosos o retrabajos.

Los productos defectuosos son perjudiciales desde cualquier punto de vista, ya que, multiplican los costos, el tiempo de trabajo y requieren tiempo para conseguir una solución inmediata.

Esto se puede tratar de disminuir mediante Jidoka y un sistema de control de calidad adecuado en el proceso, ya que estas dos herramientas tratan de minimizarlos al mínimo, al encontrar la fuente que los genera y solucionar el problema de manera inmediata.

e) Inventarios.

Se deben tratar de minimizar el exceso de materia prima, inventario en proceso o productos terminados, hasta tener solo lo necesario, ya que involucran un costo financiero, así como un espacio de almacenamiento.

La mejor manera de reducir los inventarios es mediante la aplicación del sistema pull y kanban. En esencia, los inventarios y el kanban permiten conocer con cuántos bienes se cuenta, pero el sistema kanban permite conocer estos bienes dentro del proceso y además regularlos, adecuadamente, a las necesidades del cliente, evitando la sobreproducción, que es algo que puede ocurrir con los inventarios. Con base en esto, es preferible incorporar un sistema kanban dentro del proceso.

f) Transportación.

El movimiento innecesario de algunas partes durante la producción es un desperdicio, se propone contar con un área de almacenamiento, en el lugar de fabricación, con el fin de evitar traslados innecesarios. Al igual que con el desperdicio de movimiento, esto se puede evitar aplicando las 5S's.

g) Sobreprocesamiento o procesamiento incorrecto.

Para evitar que la producción no cumpla los requerimientos del cliente o tenga características innecesarias, es importante aclarar esto desde el principio con el cliente, e informarle las características con las que contará el producto final, esto con el fin de evitar los procesos innecesarios e incorrectos, los cuales agregan un valor económico de más al producto.

Las herramientas de la manufactura esbelta son de gran ayuda para evitar todo tipo de desperdicio dentro del sistema, éstas se deben aplicar de manera continua; es decir, no se deben sistematizar como una receta, sino tratar de implementarlas día a día para tratar de mejorar el proceso aunque éste ya halla sido mejorado, además de que no deben instaurarse de manera aislada, sino de manera conjunta, se tienen que tomar en cuenta todas las herramientas al tratar de implementarlas en el proceso, lo cual garantiza un mayor éxito.

2.7 Seis sigma (Six sigma, 6 σ)

Seis sigma es una metodología estadística para monitorear defectos y mejorar la calidad, el objetivo de esta metodología es reducir el nivel de defectos.

La meta de seis sigma es llegar a un máximo de 3.4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO, defectos por millón de oportunidades), considerando como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente.

Los DPMO se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$DPMO = \frac{\text{Número de defectos}}{(\text{Número de unidades})(\text{Número de oportunidades})} * 10^6$$

Se puede clasificar la eficiencia de un proceso con base en su nivel de sigma de acuerdo a la tabla 2.5:

Sigma	DPMO	Eficiencia del proceso en por ciento %	Clasificación
1	690000	31	No competitivo
2	308538	69	No competitivo
3	66807	93.3	Promedio
4	6210	99.38	Promedio
5	233	99.977	Clase mundial
6	3,4	99.99966	Clase mundial

Tabla 2.5 Clasificación acorde a seis sigma

Seis sigma busca mejorar, continuamente, los procesos y productos apoyado de la aplicación de herramientas estadísticas.

Esta metodología fue introducida por primera vez en Motorola en 1987, con el propósito de reducir los defectos de sus productos electrónicos. Desde entonces ha sido muy bien recibida, enriquecida y generalizada por un gran número de compañías, entre ellas se encuentran Allied Signal y General Electric (GE). Un factor del éxito que tuvieron estas dos empresas es que sus respectivos presidentes les dieron una firme aplicación en los programas de sus organizaciones. Mientras que en Latinoamérica, la empresa Mabe es una de las

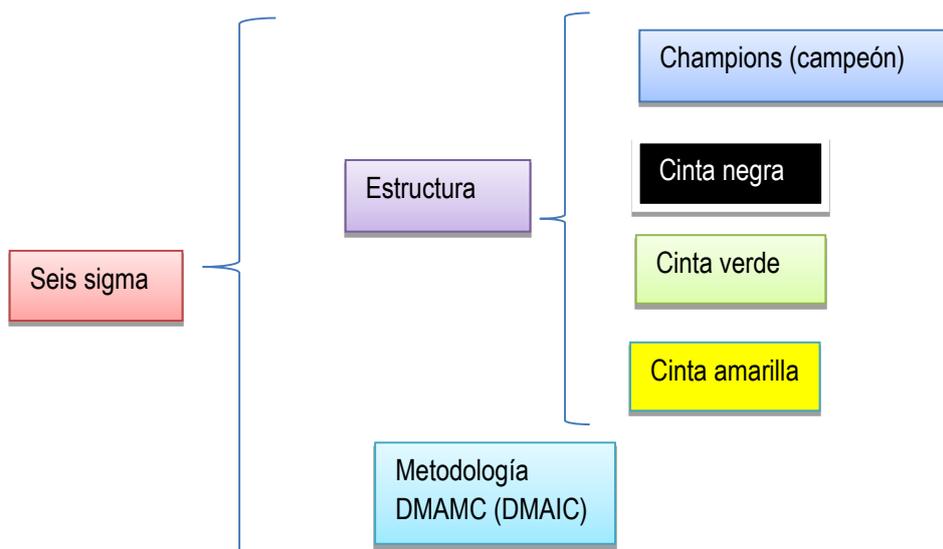
que ha logrado consolidar uno de los programas de seis sigma más exitoso a nivel mundial.

Sus principales herramientas estadísticas son el diagrama de flujo, el diagrama de Ishikawa (Causa y efecto), el diagrama de Pareto, el histograma, el diagrama de dispersión, el modelo de regresión lineal y gráficos de los distintos defectos que se presentan en un determinado tiempo.

Seis sigma esbelto (lean seis sigma)

Seis sigma esbelto consiste en la estructura de seis sigma reforzado por la filosofía de la manufactura esbelta. Sus objetivos son exactamente los mismos que en la manufactura esbelta (conseguir la mayor calidad posible, satisfacer los requerimientos del cliente y minimizar los desperdicios dentro del proceso).

En esta sección del trabajo se estudiará la estructura mostrada en el cuadro sinóptico 3:



Cuadro sinóptico 3 Estructura de seis sigma

Tanto para seis sigma como para seis sigma esbelto, se plantean la siguiente estructura y recomendaciones dentro de la empresa:

- 1) Las estrategias de seis sigma deben ser apoyadas desde la dirección de la empresa, empezando por su máximo líder.
- 2) Seis sigma se apoya de una estructura directiva que involucra gente de tiempo completo. En esta estructura se integrarían los líderes del negocio, proyectos y expertos que ocupan ciertos rangos y características, los cuales se pueden observar en la figura 2.21. Estos rangos son basados en las artes marciales, tomando en cuenta las cintas negra, verde y amarilla. Éstos son usualmente reconocidos y aplicados en seis sigma.

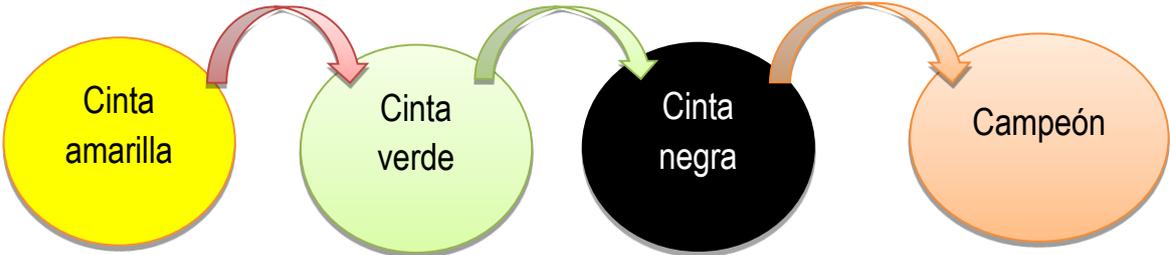


Figura 2.21 Rangos en seis sigma

Rango	Rol	Características
Campeón y/o patrocinador	Son gerentes de planta y área. Se apropian los problemas, establecen sus prioridades sobre ellos y son responsables de garantizar el éxito de la metodología seis sigma en sus respectivas áreas.	Son directivos medios y superiores, cuya labor es establecer los proyectos a desarrollar y patrocinarlos. Alinean seis sigma con la estrategia del negocio.
Cinta negra	Son dedicados completamente a seis sigma, realizan y asesoran proyectos.	Lideran y asesoran proyectos. Tienen pasión por los proyectos y le dan soporte a estos. Conocen DMAMC y herramientas estadísticas.
Cinta verde	Engloba ingenieros, analistas financieros, expertos en el proceso, los cuales están dedicados parcialmente a seis sigma.	Participan y lideran proyectos. Atacan los problemas de sus áreas de trabajo. Conocen DMAMC y herramientas estadísticas a un nivel práctico.
Cinta amarilla	Personal de planta.	Participan activamente en proyectos aportando información y datos. Aportan sugerencias en búsquedas de causas y soluciones.

Tabla 2.6 Roles en seis sigma

En la tabla 2.6, también, se menciona el tipo de características o rol que deben poder realizar los trabajadores de seis sigma.

Dentro de seis sigma las mejoras de calidad no deben ser implementadas al azar, sino con el apoyo de los proyectos se debe tratar de demostrar que con los datos es posible mejorar la ejecución de un proyecto. Sin embargo, los datos obtenidos no resuelven los problemas, éstos deben ser acompañados con la metodología DMAMC en cinco fases, las cuales son definir, medir, analizar,

mejorar y controlar (en inglés se define como DMAIC, cuyas siglas define, measure, analyse, improve and control).⁹

Metodología DMAMC (DMAIC)

La metodología DMAMC conlleva cinco fases o etapas para poder desarrollar un proyecto o resolver las fallas en el proceso, las cuales se muestran a continuación:

1- Definir el proyecto

Definir el problema/ seleccionar el proyecto.

Consiste en describir el efecto provocado por un defecto, una avería, o el proyecto de mejora que se desea realizar dentro del proceso, con la finalidad de entender la situación actual y definir los objetivos pertinentes.

Se debe de seleccionar un equipo buscando que con las habilidades de los mismos integrantes abarquen todas las necesidades necesarias para poder definir y seleccionar la mejora o solución al problema, además de establecer un objetivo de manera clara y completa.

La selección de proyectos por lo regular es responsabilidad de los campeones o los cinta negra, éstos deben estar alineados con los objetivos, ser alcanzable, realista, claro y medible.

Una vez que se tiene definido el proyecto, el campeón asigna un líder responsable del proyecto, el cual puede ser un empleado con grado cinta negra o verde, o alguno cercano a esta categoría, quien debe contar con conocimientos operativos del problema, motivación y liderazgo para dirigir a su equipo.

El campeón también debe entregarle el marco del proyecto al líder del equipo, el cual debe especificar diferentes elementos, en los cuales debe establecer claramente de qué trata el proyecto, lo que involucra, los beneficios esperados, propósito, objetivo, alcance del problema, patrocinadores, recursos, equipo con el que se puede contar, fechas de inicio y fin del proyecto, así como lo que se debe entregar al culminarlo.

2- Medir

El objetivo de esta etapa es entender y cuantificar, de la manera más óptima. los problemas o situaciones que aborda el proyecto.

⁹ Gutiérrez Pulido, & H. De la Vara Salazar. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. Distrito Federal, México: Prentice-Hall.

Se establece como se evaluarán las mediciones, con las que se determinará el éxito del proyecto. Se analizará y evaluará el sistema de mediciones para garantizar la consistencia de las mismas.

Las herramientas de mayor utilidad en esta etapa son: mapeo de procesos, métodos para evaluar la repetitividad y reproducibilidad, entre otras herramientas.

Básicamente, en esta etapa se entiende y cuantifica a detalle la magnitud del problema a estudiar. Además de comprobar que es factible el sistema de medición a utilizar.

3- Analizar

Los objetivos de esta etapa son determinar las causas raíz del problema, las variables significativas, las variables del proceso, las cuales son las mismas que se definen en la medición en la etapa anterior, las cuales deben ser confirmadas por medio de experimentos y/o estudios especializados, para poder determinar la contribución de estos factores dentro del proceso.

Para conocer la profundidad del proceso, se propone la **técnica de los 5 por qué's**, los cuales son preguntas con respuestas de forma sucesiva para entender el problema.

En la tabla 2.7 se tiene como ejemplo la parada de una máquina, y se busca conocer el motivo de su parada, para ello se utiliza la metodología de los cinco por qué's, buscando encontrar la causa de raíz.

Preguntas	Respuestas
¿Por qué se detuvo la máquina?	Se quemó un fusible por sobrecarga.
¿Por qué hubo una sobrecarga?	No había suficiente lubricación en los rodamientos.
¿Por qué no había una lubricación adecuada?	La bomba no estaba bombeando lo suficiente.
¿Por qué no estaba bombeando lo suficiente?	El eje de la bomba estaba vibrando por la abrasión.
¿Por qué había abrasión?	No había filtro, lo que permitía el paso de partículas a la bomba.
Verdadera causa, raíz del problema	El filtro es el problema.

Tabla 2.7 Los cinco por qué

Las herramientas para analizar las causas son muy variadas, entre ellas se encuentra la lluvia de ideas, el diagrama Ishikawa, mapeos de proceso, los cinco por qué, diseños de experimentos, prueba de hipótesis sobre las causas, diagramas de dispersión, los cuales son herramientas de seis sigma. Sin

embargo, los cinco por qué's es de los más utilizados y aceptados en la industria debido a su fácil institución y efectividad.

4- Mejorar

El objetivo de esta etapa consiste en proponer e implementar soluciones que atiendan las causas de raíz, en otras palabras, asegurarse de que se corrija o, al menos, se reduzca la causa de raíz.

Para generar alternativas de solución se puede hacer uso de herramientas como la lluvia de ideas, técnicas de creatividad, diseño de experimentos, poka yoke, entre otras. La clave es analizar la posible fuente del problema y no los efectos, para hallar una solución adecuada.

5- Controlar

Una vez que se han logrado las mejoras, en esta etapa se diseña un sistema que las mantenga. Muchas veces ésta es la etapa más complicada debido a que se busca que los cambios realizados se vuelvan permanentes. Esto involucra la participación de todos los trabajadores dentro del proceso, por lo que se puede presentar resistencias y complicaciones.

Lo importante de la etapa de control es que las mejoras soporten el paso del tiempo, para ello se establece un sistema de control para:

- Prevenir que los problemas del proceso no se repitan.
- Evitar que las mejoras y conocimientos obtenidos se olviden.
- Mantener la mejora continua.

Con base en esto, se presentan acciones de control en tres niveles, los cuales son: estandarizar el proceso, documentación y monitoreo. A continuación, se explica cada uno:

a) Estandarizar el proceso

La estandarización en el proceso consiste en obtener parámetros aproximadamente esperados para las circunstancias o espacios y debe presentar una secuencia.

Para estandarizar el proceso se tienen que tomar decisiones de manera inicial para garantizar las mejoras, mediante los cambios en los sistemas y estructuras que constituyen el proceso.

Básicamente, se deben buscar cambios pertinentes en los procesos y sus métodos de operación. En este punto el sistema poka yoke, mencionado previamente, puede resultar de gran utilidad.

b) Monitorear el proceso

En esta fase, se deciden las mejoras al monitoreo para tener evidencia sólida de que la mejora se mantiene. El monitoreo puede realizarse tanto para entradas claves del proceso, como para variables de salida.

Las herramientas principales para monitorear son gráficos que proporcionen información sobre el número de artículos defectuosos en el proceso.

Las variables que se pueden observar son, por ejemplo, coloración, densidad, estética, esto depende del tipo de producto y lo que se desea evaluar.

c) Cerrar y difundir el proyecto

En esta última fase, se asegura que el proyecto seis sigma sea fuente de evidencia de logros y aprendizaje.

La difusión del método ayuda a elevar el compromiso de los trabajadores a mantener el proyecto, así como fortalecer el aprendizaje y la mejora continua.

Se recomienda que el equipo de trabajo realice las siguientes actividades:

- Documentar el proyecto mediante una carpeta que maneje el historial del proyecto.
- Los elementos considerados para seleccionar y definir el proyecto.

2.8 Implementación de la manufactura esbelta

El orden para establecer las herramientas de la manufactura esbelta se sugirió al inicio en la sección 2.2. Sin embargo, si el lector considera que le resulta más efectivo aplicarlas en otro orden, lo puede realizar, pero siempre debe tener en cuenta las condiciones del proceso que se presentan, sin olvidar que el objetivo principal es tratar de alcanzar la menor cantidad de desperdicios posible.

El proceso de implantación de un sistema esbelto, así como la metodología, no debe seguirse como una receta de cocina, debido a que hay muchas variables para cada proceso que permiten la selección de las herramientas que puedan causar un mayor impacto de manera inicial. Sin embargo, se debe estudiar el proceso para poder aplicar estas herramientas de la mejor manera.

La implementación de las herramientas debe empezar en donde los resultados esperados puedan resultar más espectaculares, y el primer paso para lograr esta filosofía es aceptar la necesidad de un cambio.

Por otra parte, varias compañías han adoptado las herramientas de la manufactura esbelta pero no han entendido lo que realmente impulsa este sistema es la mejora continua. No se trata de sistematizar las herramientas, sino tratar de mejorar el proceso con el apoyo de este día a día. Estas mejoras se

deben hacer con impulso, trabajo en equipo, alma, espíritu y la inteligencia necesaria para hacer sostenible la empresa.

Varios de los beneficios de implantar la manufactura esbelta, de manera adecuada, conducen a una reducción considerable de los costos de producción, a la reducción de inventarios y los tiempos de entrega (lead time), también implica la disminución de los desperdicios, la sobreproducción, la mejora de la calidad y una mayor eficiencia.

A continuación, se enlistan algunas de las principales ventajas que ofrece la implantación de la manufactura esbelta en los procesos:

- Establecer una organización para cada producto dentro del proceso.
- Reducir la sobreproducción.
- Minimizar el tamaño de lotes.
- Establecer un ritmo constante de fabricación.
- Buscar la mayor calidad posible y los requerimientos especificados por el cliente.

Existen diversas empresas que utilizan la manufactura esbelta, entre las que se encuentran Toyota, Nike, Nissan, Peugeot, Tetra Pak, Seat, Schneider Electric, Nestlé, Dell, y otras que son líderes a nivel mundial.

2.9 Situación actual y futura de la manufactura esbelta

La industria manufacturera busca satisfacer la demanda del cliente, con los requerimientos exactos que solicite y en un tiempo acorde.

Los monopolios son una consecuencia de la globalización, que afecta directamente la industria, obligando a las empresas a competir por los mercados. Sin embargo, esta competitividad no se ha logrado de una manera adecuada, debido a los costos de las distintas pérdidas o desperdicios, indicados en este capítulo, y al mal manejo del proceso de manufactura.

En los últimos años, diversas empresas han optado por la filosofía de la manufactura esbelta para tener una alta calidad en sus productos y ser competentes en el mercado, consiguiendo los objetivos principales.

Aunque la manufactura esbelta no es algo nuevo, ya que apareció hace ya muchos años, desarrollado principalmente por Toyota, es una tendencia que tienen las empresas para poder obtener procesos de manufactura eficientes, buscando tener los mínimos desperdicios posibles y cumplir con los requerimientos y tiempos establecidos por el cliente.

La metodología lean es bastante reconocida a nivel mundial y se irá adaptando a los avances que tenga la tecnología, ofreciendo metodologías para que las empresas puedan ser altamente competitivas y ofrezcan la mayor calidad a los clientes, cuidando al mínimo los desperdicios que se pudieran generar en el proceso de manufactura.

Los directivos de las empresas que planean establecer la filosofía de la manufactura esbelta lo hacen con la intención de reducir sus actuales niveles de costos, eliminar los excesos en la producción, incrementar el nivel de satisfacción de sus clientes, mejorar la calidad del producto y optimizar el espacio de uso productivo, entre otros beneficios.

Capítulo 3. Manufactura concurrente

3.1 Introducción a la ingeniería concurrente

La ingeniería concurrente se enfoca en que los desarrolladores de los productos tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, abarcando desde el diseño conceptual, hasta su introducción al mercado, incluyendo calidad, costo y necesidades de los clientes. Mientras que en la ingeniería convencional se utiliza un desarrollo conocido como “comunicación sobre la pared”. En este contexto cada departamento dentro de la empresa ejecuta la parte que le corresponde y posteriormente transfiere su subproducto al sector siguiente. El cual puede recibir un producto defectuoso acorde a la perspectiva de la especialidad del área y la devolverá al área anterior para los ajustes correspondientes.

Esto genera muchos cambios y retroalimentaciones en las diferentes etapas, originados porque algunas características necesarias no se consideran desde el diseño, lo cual influye directamente en el incremento de los costos y el tiempo de desarrollo del producto.

A partir de esto, la ingeniería concurrente exige que se gaste más tiempo en la definición detallada del producto y en la planificación. Así, las modificaciones para cumplir las especificaciones del cliente y calidad, se hacen en la fase del diseño, mucho antes de que salga el prototipo o las muestras de producción, lo que permite una reducción del costo de producción.

Aunque bajo estas consideraciones el tiempo que requieren las primeras etapas de diseño se puede incrementar, éste se ve reducido en el tiempo total de ciclo de producción, debido a que engloba menores errores y cambios al diseño original.

La manufactura concurrente contempla todos los aspectos de fabricación desde la etapa de diseño, englobando, principalmente, su facilidad de manufactura y ensamble.

Los objetivos principales de la manufactura aplicada a la ingeniería concurrente son reducir el tiempo de diseño y el de fabricación, realizando las actividades de manera simultánea, esforzándose en reducir los costos en el proceso de diseño y mejorar la calidad del producto.

3.2 Ciclo de vida de un producto en la ingeniería concurrente

Los productos manufacturados constan de dos etapas principales dentro de su tiempo de vida, el primero consta del proceso de diseño y desarrollo del mismo, mientras que el segundo consta de su introducción, crecimiento, madurez y declive en el mercado. En la primera etapa el producto se caracteriza por no generar ingresos, por el contrario se necesitara una inversión, la cual se podrá recuperar a largo plazo. Dentro de la ingeniería concurrente se necesita tomar en cuenta todo el ciclo de vida del producto en la etapa de diseño.¹⁰

Esta primera etapa tiene tres fases principales: el estudio, el desarrollo y la manufactura del producto, como se muestra en la figura 3.1.

Primera etapa:

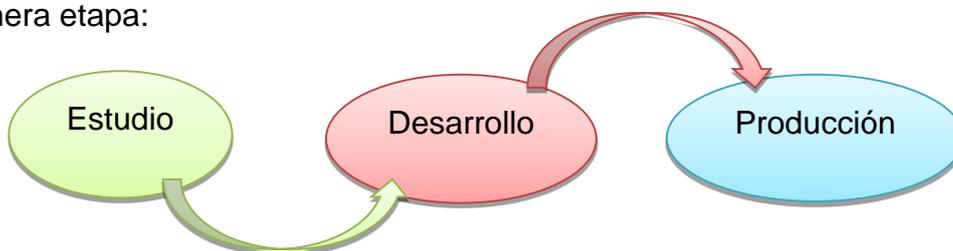


Figura 3.1 Primera etapa del ciclo de vida del producto

Primera etapa:

a) Estudio

En esta fase se analiza el tiempo y costo de manufactura, vigilando la factibilidad del proyecto con base en las ganancias económicas y criterios de rentabilidad, entre estos últimos influye la demanda del mercado y las oportunidades de mejora que se puede lograr con los avances de la tecnología al aplicarlos en la manufactura, de igual forma se estudian factores externos como la política, los fines de la empresa y calidad acorde a lo que se desea fabricar.

b) Desarrollo

El desarrollo del producto incluye las actividades de prueba y el control de los requerimientos para llevar a la práctica el producto. Representa una mayor carga creativa y dentro de la ingeniería concurrente debe tomar en cuenta los posibles problemas que tendrá el producto en las demás fases de su ciclo de vida, con el fin de evitar las dificultades de manufactura o defectos.

¹⁰ Aguayo González, F., & Solvero Sánchez, V. (2003). Metodología de diseño industrial, un enfoque desde la ingeniería concurrente. Distrito Federal, México: Alfa Omega.

c) Producción

Esta última fase contempla la construcción del prototipo de diseño, la preparación de los sistemas de manufactura y el inicio de la producción.

En esta etapa se busca conseguir y establecer las máquinas y herramientas necesarias para la fabricación del producto, o bien, la modificación de las líneas de fabricación existentes, para lograr esto se necesita realizar pruebas y ajustes en el nuevo proceso y comprobar que se cumple con una calidad adecuada en los productos antes de comenzar a producir.

Segunda etapa:

La primera etapa termina cuando se introduce el producto en el mercado y es justo cuando este empieza a generar ingresos, los componentes de esta segunda etapa se pueden observar en la figura 3.2.

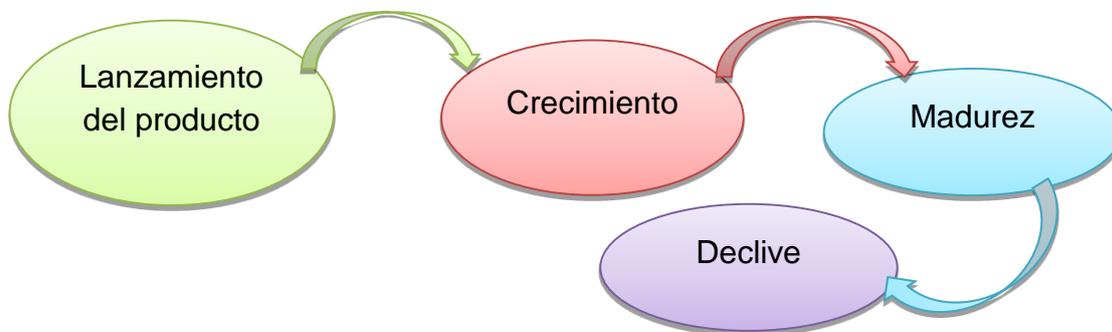


Figura 3.2 Segunda etapa del ciclo de vida del producto

a) Introducción o lanzamiento del producto

En esta fase el producto es ofrecido a los mercados que en la fase de estudio se han considerado como los más rentables. Si el producto responde de manera adecuada a los requerimientos del cliente, se puede ir introduciendo aunque aún con volúmenes de venta bajos y con ingresos por ventas que aún no cubren la totalidad de la inversión.

A continuación se enuncian a algunos puntos que caracterizan a esta fase:

- El incremento de ventas generalmente es lento.
- Las operaciones del periodo introductorio se caracterizan por ser costosas, en las que puede haber pérdidas y una distribución limitada.
- El precio influye considerablemente en los productos nuevos, ya que tienden a ser más elevados que cuando ya se encuentran introducidos, esto se puede deber a las siguientes razones:
 - Reducida distribución del producto.
 - Existencia de pocos competidores.
 - Grandes gastos de promoción.
 - Costos elevados por producciones reducidas.

b) Crecimiento

Conforme el producto es aceptado en el mercado, se incrementa la demanda del cliente y se registran fuertes incrementos en las ventas, esta fase se caracteriza por los siguientes puntos:

- El producto es reconocido en el mercado.
- Incremento amplio de ventas.
- Utilización de mejoras tecnológicas en el proceso y en los servicios.
- Mayor competitividad.
- En esta fase se puede reducir el precio del producto en el mercado como promoción, en caso de que las cifras de negocios lo permitan.

c) Madurez

En esta fase el producto se consolida en el mercado y se caracteriza por los siguientes puntos:

- El ritmo de ventas sigue aumentando pero más lentamente, llega a cierto punto en que las ventas se estabilizan y comienzan a descender.
- La competencia hacia el producto es mayor.
- Se incrementa el gasto en técnicas e implementaciones para mantener el producto en vigencia.
- Existe la posibilidad de la ampliación de vida del producto mediante modificaciones a éste, o realizando un cambio de precios.

d) Declive

Por diversas razones, como la aparición de nuevos productos que sustituyen su función, el cansancio del cliente, nuevas tecnologías, etc. El producto entra en un declive teniendo un menor volumen de ventas conforme avanza el tiempo. Para disminuir los efectos de esta fase se recomiendan los siguientes puntos:

- Es recomendable realizar un estudio de la rentabilidad del producto y sobre las posibles modificaciones que se le pueden realizar de acuerdo a las nuevas demandas del mercado, o a las nuevas posibilidades que ofrezca la tecnología.
- Disminuir la gama de productos, eliminando aquellos que sean menos rentables.
- Verificar que los programas de mercadotecnia y de producción sean lo más eficientes posibles, lo segundo se puede lograr mediante la aplicación de la manufactura esbelta.

- Aumentar el control en los gastos y desperdicios que tenga el producto, con el fin de reducir los costos al mínimo, buscando optimizar la rentabilidad del producto en el poco tiempo que le quede.

En la figura 3.3, se puede observar la tendencia que siguen las ventas de los productos de acuerdo con el tiempo que transcurre desde que son introducidos al mercado.



Figura 3.3 Gráfico ventas vs tiempo a partir de la introducción de un nuevo producto al mercado

3.3 Ventajas de la ingeniería concurrente sobre la ingeniería secuencial

El problema de la ingeniería secuencial o convencional parte de que el departamento de diseño envía los planos al departamento de producción, los cuales nunca han visto el diseño y tendrán la tarea de implementar modificaciones siguiendo una serie de actividades de rediseño, los cuales implican desperdicio de tiempo y dinero. Además de que el personal de manufactura puede ser incapaz de aportar ideas para mejorar el diseño del producto, debido a que el proceso puede estar tan avanzado que los cambios que se pudieran proponer serían difíciles de introducir, con base en el tiempo y dinero requeridos. Lo mismo ocurriría en caso de que la producción llegara hasta el departamento de calidad y presentara defectos, se tendrían que hacer reparaciones que involucrarían pérdidas para el proceso.¹¹

Estos aspectos del diseño secuencial se pueden evitar utilizando de manera adecuada la ingeniería concurrente, la cual engloba todos los posibles problemas que se podrían encontrar en los demás departamentos de la empresa,

¹¹ Aguayo González, F., & Solvero Sánchez, V. (2003). Metodología de diseño industrial, un enfoque desde la ingeniería concurrente. Distrito Federal, México: Alfa Omega.

previéndolos desde la etapa de diseño. Sin embargo, un método inadecuado de resolución sería enviarle listas de requerimientos al departamento de diseño, involucrando las cosas que no debe hacer, porque de nueva cuenta se está haciendo uso de la manufactura secuencial pero en sentido contrario, ya que el producto puede no presentar problemas en el departamento de producción, pero si a la hora de montaje o manufactura.

El modelo de diseño aplicado a la ingeniería concurrente sigue el flujo mostrado en la figura 3.4. En éste, el producto parte de su investigación dentro del mercado y la viabilidad económica que podría presentar, para posteriormente estimar la inversión necesaria para su fabricación y el número de unidades a manufacturar con el fin de determinar el tamaño aproximado de la producción. Una vez establecido ésto se prosigue a realizar un pre diseño que debe iniciar con la conceptualización de éste, la fabricación de prototipos y el análisis del comportamiento de éstos mediante pruebas, para posteriormente documentarlo y dárselo a verificar a los departamentos de producción. En caso de que cumpla con los requerimientos de los demás departamentos se puede proseguir a su fabricación y, finalmente, ser introducido al mercado con el apoyo del departamento de marketing y ventas.

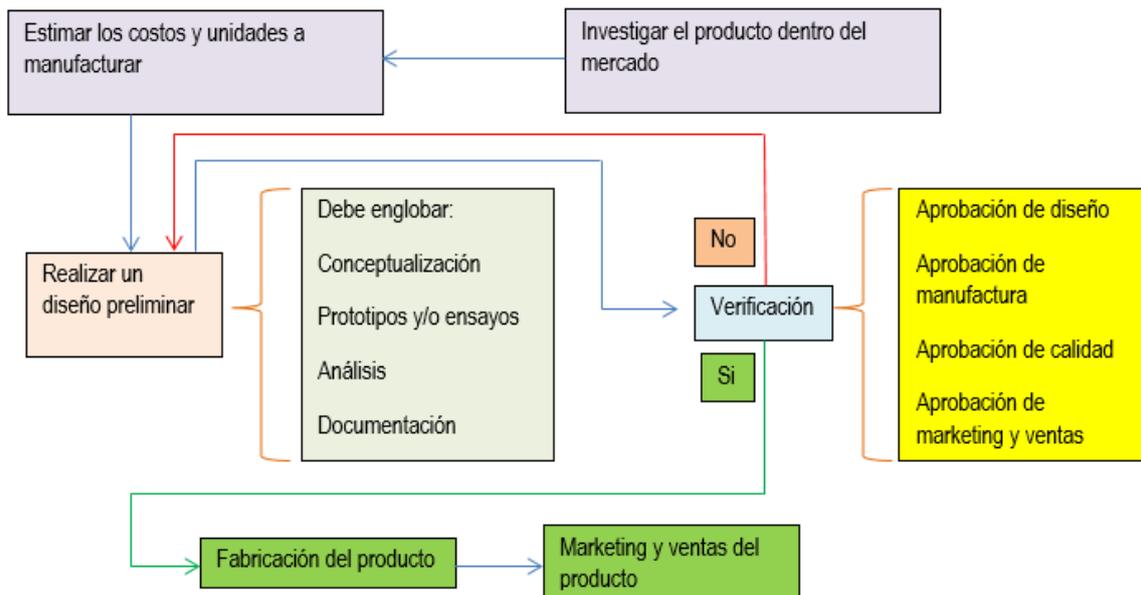


Figura 3.4 Modelo de proceso aplicado a la manufactura concurrente

Un estudio de Ford Motor Company revela que mientras la etapa de diseño del producto representa aproximadamente 5% del costo de fabricación del producto, ésta puede influir hasta en un 70% del costo total del producto.

Esta etapa de diseño comienza con el concepto de un producto original e innovador. Sin embargo, también se puede tratar de una modificación o un diseño más actualizado de un producto ya existente, que es lo que ocurre con las computadoras, los teléfonos celulares, los automóviles o las aeronaves.

Por otra parte, en el estudio de mercado deben tenerse muy claro los usos previstos para el producto y el desempeño esperado dentro del mercado mediante la ayuda de un analista de ventas que aportaría información actualizada sobre el ramo y sería un apoyo para determinar la viabilidad del proyecto, considerando todas las variables dentro del proceso.

3.4 Estrategias de la manufactura concurrente

El objetivo principal de la manufactura aplicada a la ingeniería concurrente, es cooperar en la etapa de diseño para generar un producto funcional, bien manufacturado, fácil de ensamblar, durable (funciona adecuadamente para el propósito asignado) y conservable (tiene componentes que se pueden reparar o reemplazar con facilidad).

Aunque este trabajo tiene un enfoque hacia la manufactura, se deben considerar todos los factores del ciclo de vida del producto e involucrarlos en la etapa de diseño, entre ellos destacan la estética, la ergonomía, su costo de adquisición, mantenimiento, rendimiento, seguridad, facilidad almacenaje, así como su fácil transportación y la repercusión que tendría hacia el medio ambiente, todo lo cual debe revisarse al diseñar un producto, junto con todos los aspectos relativos al ciclo de vida del producto, que en conjunto conforman el diseño para x (diseño para la excelencia), lo cual se puede observar en la figura 3.5.



Figura 3.5 Diseño para x

Dentro de este trabajo se estudiará el diseño para el desensamble, el diseño para el medio ambiente, el diseño para el ensamble y el diseño para la manufactura. Sin embargo, como se mencionó previamente, es necesario considerar las distintas metodologías de diseño que implican generar un diseño de excelencia.

Por otra parte, es posible que se considere que la manufactura concurrente no sea tan indispensable para una producción pequeña, pero es mejor elaborar el diseño bien hecho desde el inicio para cualquier proceso.

Consideraciones para mantener un entorno de manufactura concurrente óptimo

Un entorno de manufactura concurrente engloba mantener un equipo de trabajo adecuado, tener una información compartida dentro del proceso y la implementación de la automatización y las tecnologías que ayuden a mejorarlo.

La base de la manufactura concurrente es conseguir que los trabajadores desarrollen de manera conjunta el producto, incluyendo todas las áreas involucradas en su etapa de diseño y manufactura. Puede que de manera inicial sea complicado de implementar y tome tiempo, especialmente si los departamentos de producción no están acostumbrados a trabajar en equipo, pero los beneficios que se pueden llegar a alcanzar son altos.

La manufactura concurrente involucra reducir el tiempo de desarrollo, mejorar la calidad y reducir los costos de desarrollo del producto, lográndolo mediante una buena interacción del personal de diseño y manufactura. Combinándola experiencia del departamento de manufactura, con el fin de responder adecuadamente la facilitación de la manufactura y la reducción de su costo.

De ser aplicado adecuadamente se lograría diseñar un producto más fácil de fabricar, debido a que la aportación de los ingenieros de manufactura permitiría una mayor optimización en esa área. Se recomienda buscar lo mismo para cada departamento, conteniendo una retroalimentación de información adecuada al diseño del producto. Sin embargo, para los fines de la manufactura es vital que el ingeniero de producción mantenga comunicación continua con el ingeniero de diseño.

Para que la manufactura concurrente tenga éxito se recomienda seguir la secuencia que se muestra en la figura 3.6.

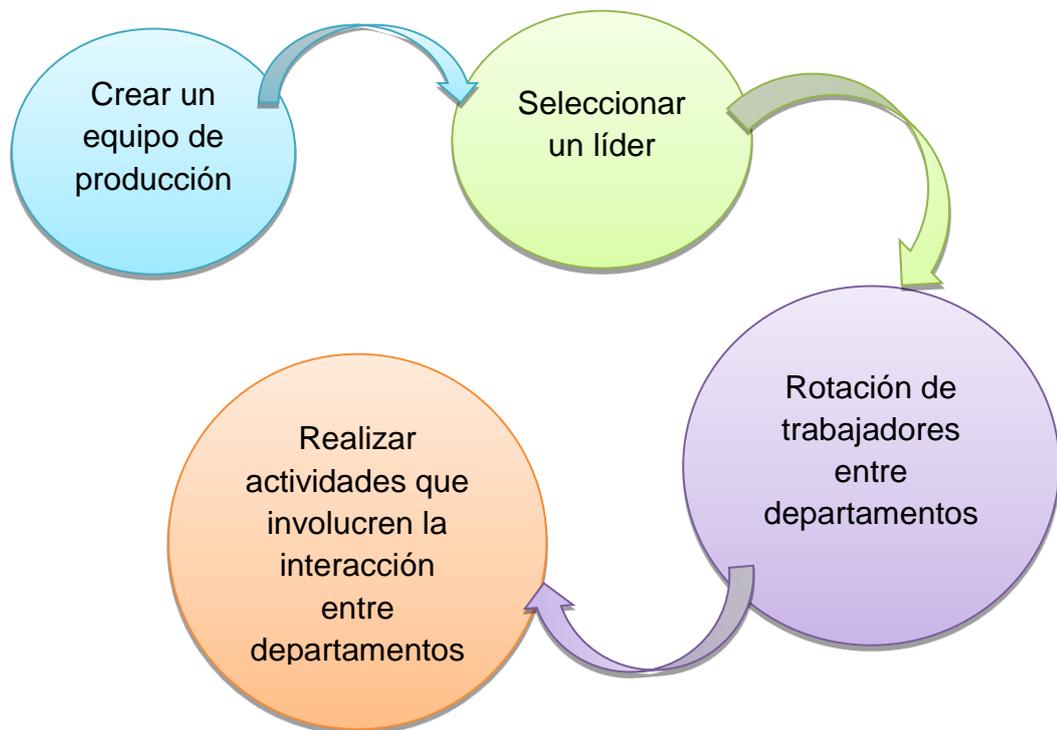


Figura 3.6 Implementación de la manufactura concurrente

- Crear un equipo de producción, el cual tendría que ser permanente y multidisciplinario, con el fin de que pueda laborar, adecuadamente, en todos los aspectos que involucren el producto conforme el proyecto de diseño avance. Además, deben fomentar el trabajo en equipo y eliminar las barreras entre los departamentos del proceso.
- Se puede seleccionar un líder el cuál debe tener las características de trabajo en equipo, que tenga experiencia dirigiendo proyectos y que no solo los coordine, debe tratar de minimizar los costos del producto en cada oportunidad que se le presente y debe cumplir con un plazo de tiempo, así como con los requerimientos del cliente.
- Se puede llevar a cabo una rotación de trabajadores entre los departamentos de diseño y manufactura.
- Llevar a cabo el proyecto basado en actividades, que involucren a los departamentos pero de manera ordenada sin perder de vista el objetivo de las actividades.

Todo lo anterior, con el fin de mantener una comunicación eficiente, buscando que los cambios del diseño del producto se propaguen rápidamente, al igual que las ideas y sugerencias sobre el diseño del mismo.

3.5 Herramientas de la manufactura concurrente

Diseño para la manufactura y el ensamble (Design For Manufacturability and Assembly, DFM&A)

Esta metodología de diseño también suele ser llamada diseño para fabricación e inicia analizando si las funciones del producto a desarrollar pueden ser cubiertas con un menor número de piezas, esto debido a que entre más piezas sean se dificulta más el ensamble, se tiene un mayor almacenaje y mantenimiento en el proceso, así como un mayor costo de fabricación.¹²

Para poder utilizar esta metodología se recomienda, primero, analizar el ensamble y la simplificación del modelo a diseñar, enfocándose en disminuir la cantidad de piezas y una mejor estructura del producto. Posteriormente, se debe analizar los materiales que mejor cubran los requerimientos de su manufactura y los del producto terminado, para, finalmente, enfocarse en como disminuir los costos de manufactura. Esta metodología se puede observar en la figura 3.7.

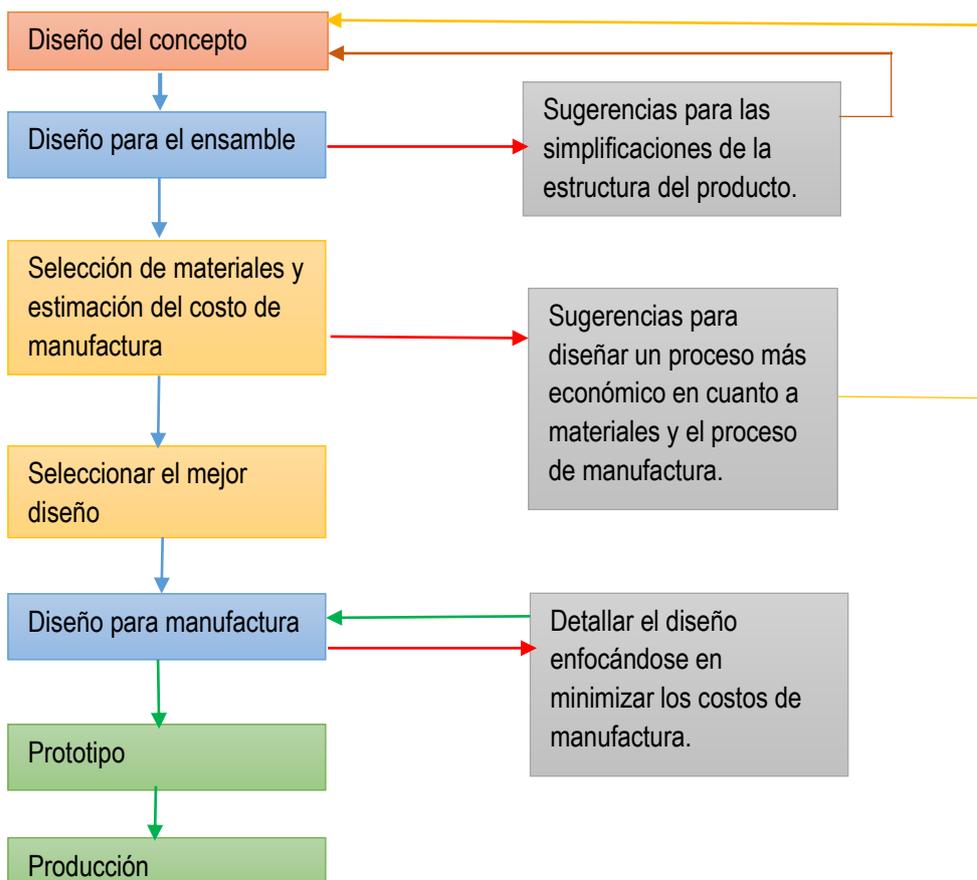


Figura 3.7 Metodología del diseño para facilitar la manufactura y ensamble

¹² Boothroyd, G. (2011). Product design for manufacture and assembly. Nueva York, Estados Unidos: CRC Press. Tercera edición.

Al aplicar adecuadamente DFM&A se pueden obtener grandes beneficios, entre los que destacan la reducción del tiempo de ensamble, la reducción del tiempo de manufactura así como los costos y el incremento de una mejora inicial en la calidad y rentabilidad del proceso.

Diseño para ensamble

El ensamble, además de ser un factor importante que puede elevar considerablemente el costo y el tiempo de manufactura de un producto, representa un conjunto de actividades que comprende más que unir piezas. Dichas actividades se pueden observar en la tabla 3.1.

Actividad	Características
Clasificación	Esta actividad se basa en mantener una logística acorde a la planeación de la producción y los tiempos de trabajo, para poder llevarla a cabo de manera adecuada se recomienda auxiliarse de las herramientas de justo a tiempo, especialmente del sistema pull.
Transporte	El transporte conlleva trasladar piezas entre las estaciones o áreas de trabajo, esta distancia se debe de mantener lo más corta posible.
Presentación de partes	En esta actividad se colocan las piezas de tal modo que el ensamble pueda ocurrir sin problemas, para facilitar esta actividad se deben evitar todo tipo de obstáculos.
Acoplamiento de partes	Esta actividad se encarga de ensamblar las partes entre sí.
Unión de piezas	La unión de piezas acompaña el acoplamiento e involucra cierta velocidad a este proceso, además de que las une mediante soldadura o pegamento o mediante alguna otra sustancia o mecanismo.
Inspección	En esta se determina si el ensamble ha sido completado de manera correcta.
Documentación	Esta es una actividad indirecta que graba los resultados de la prueba y provee de los problemas que se pueden encontrar para poder hallar su causa con el fin de mejorar el proceso de ensamble.

Tabla 3.1 Actividades que engloba el ensamble

Muchos procesos de fabricación incluyen ensamble, especialmente para la industria electrónica y ciertos componentes de la industria automotriz, que deben

tener en cuenta este tipo de actividades, por lo que se recomienda analizar cada actividad, buscando la eliminación de tiempos muertos.

Entre las recomendaciones y técnicas para facilitar el ensamble se encuentran las mostradas en la figura 3.8:

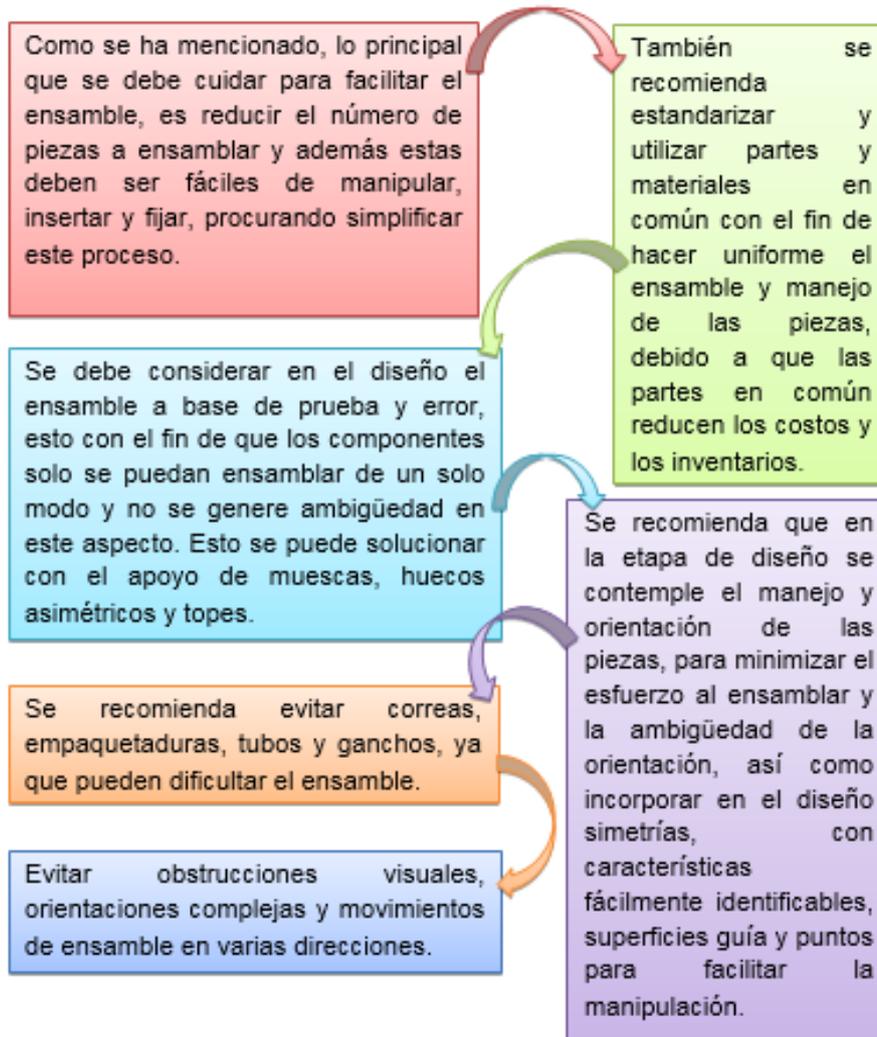


Figura 3.8 Recomendaciones para implementar el diseño para ensamble

Además de las recomendaciones previas, también se debe tomar en cuenta el diseño para mejorar la eficiencia de unión y su velocidad, poniendo atención en los roscados donde componentes como las tuercas, tornillos, pernos y arandelas que son componentes utilizados en los ensambles y son difíciles de automatizar, lo que puede complicar el ensamble.

Con base en lo anterior, se debe buscar estandarizar estos componentes y minimizar su variedad, así como analizar su sustitución por otras alternativas como broches de presión o adhesivos que son más rápidos de utilizar.

Un ejemplo de los beneficios que implica diseñar para facilitar el ensamble se observó en los adaptadores para cargar el celular en el automóvil que fue

desarrollado por Motorola, quienes obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 3.2.

	Producto anterior	Producto nuevo
Eficiencia del ensamble %	4	36
Tiempo de ensamble (s)	2742	354
Unidades ensambladas	217	47

Tabla 3.2 Rediseño de cargador para celular de Motorola aplicando diseño para el ensamble

Como muestra la tabla, se logró reducir considerablemente el tiempo de ensamble de 2742 segundos a 354 segundos.

Por otra parte, se recomienda mantener una estimación para la eficiencia del ensamble del proceso, esto se mide como un índice que es la relación entre el tiempo mínimo teórico de ensamble y el tiempo real de ensamble del producto, y se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice DFA} = \frac{(\text{Número mínimo teórico de piezas}) \cdot (3 \text{ segundos})}{\text{Tiempo total estimado de ensamble}}$$

Donde los 3 segundos son el tiempo mínimo teórico de ensamble que se recomienda tener al ensamblar una pieza, esto involucra que la manipulación y el insertar perfectamente la pieza en el ensamble. Debe ser tan rápido y fácil como colocar una bola en un agujero circular con el espacio adecuado. Se estima que un Índice DFA de 6 es considerablemente eficiente.

Para concluir este segmento, se establece que, para maximizar la facilidad del ensamble la pieza, debe tener un alineamiento sencillo, se recomienda que se inserte desde arriba del conjunto, en dirección z, debido a que la gravedad ayuda a estabilizar el ensamble, también debe tener una orientación adecuada, no depender de más de un trabajador para realizar esto, ni de herramientas, así como tener un movimiento lineal en el cual baste de solo empujar la pieza para que quede ensamblada, para, posteriormente, asegurarla en caso de que la pieza lo requiera por algún método como un apriete o el vulcanizado.

También, se puede considerar que el cliente complete el ensamble de alguna pieza, sin embargo esto dificulta un poco más el diseño, debido a que la pieza debe entrar con mucha facilidad y de un sólo modo, principalmente, para evitar errores si el cliente no revisa las instrucciones.

Diseño para manufactura

Este tipo de diseño involucra la facilidad con la que se puede manufacturar una pieza. Un problema que se puede presentar consiste en que, con base en la experiencia del ingeniero de diseño, éste puede llegar a optar por escoger los

procesos y materiales en los que ha adquirido experiencia y confianza, olvidando las posibilidades de nuevas tecnologías de producción. Además, se pierden oportunidades de una mayor productividad. Debido a esto, se recomienda que se coloque al diseñador en el papel de ingeniero de producción, asumiendo sus responsabilidades y problemas para manufacturar la pieza.

Esta metodología de diseño para la fabricación se puede aplicar en las diferentes etapas de diseño, las cuales se mencionan a continuación:

- En la etapa del diseño conceptual, cuando aún no están definidos los métodos de manufactura, se puede proponer la simplificación de piezas, o simetrías.
- Posteriormente, en la etapa de planificación inicial de requerimientos (materias primas, maquinaria, etc.), el ingeniero de producción junto al de diseño, deben decidir que piezas tienen la facilidad de ser manufacturadas en la propia empresa, así como de si hay alguna que se debe mandar a fabricar, debido a la dificultad de manufactura con la tecnología que se llegara a tener en disposición.
- Cuando ya se establecieron los métodos de fabricación, se deben detallar, a mayor profundidad, utilizando manuales específicos (handbooks) y documentos internos de la empresa que tengan la experiencia de fabricación.

De igual manera, se pueden usar programas de simulación para conocer cómo se puede llevar a cabo cierto proceso, esto permite conocer las características finales del producto a maquinar y su viabilidad.

Se recomienda tener en cuenta las recomendaciones para facilitar la manufactura mediante el diseño, mostrados en la figura 3.9

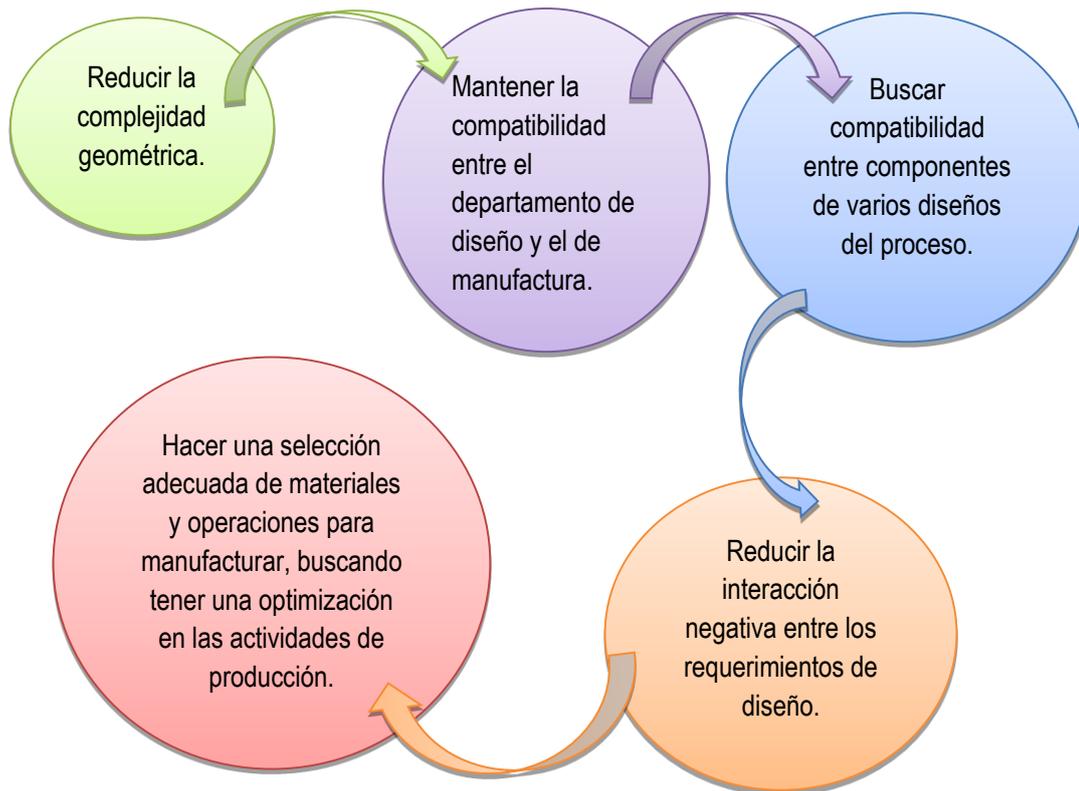


Figura 3.9 Recomendaciones del diseño para manufactura

Reducción de costos

Uno de los factores que tiene el diseño para manufactura, en cuanto a la reducción de costos, es la reducción del costo de componentes, buscando estrategias que guíen hacia la reducción de costos del producto a manufacturar.

Se deben entender las restricciones del proceso y el costo que involucra manufacturar una pieza, esto con el fin de que, por ejemplo, si el diseñador especifica que se debe hacer un radio interno en la esquina de una pieza maquinada, tal vez no está considerando que eso requiere una costosa operación de maquinado por electroerosión, o introducir tolerancias muy estrictas, que son difíciles de alcanzar en la producción. Este tipo de cosas en ocasiones no son necesarias y se pueden evitar en la etapa de diseño, rediseñando la pieza para que tenga la misma función pero evitando costosos pasos de manufactura.

Se recomienda buscar la disminución del número de pasos del proceso a solamente los necesarios o eliminar los que representan un costo elevado por otras alternativas. Además, verificar que el material sea compatible con el proceso de manufactura.

Por otra parte, se puede seleccionar la escala económica apropiada para procesar la pieza ya que, por lo general, el costo de manufactura de un producto

baja a medida que aumenta el volumen de producción, a este fenómeno se le conoce como economía de escala. Esto se presenta por dos motivos:

- 1) Los costos fijos se dividen entre más unidades se manufacturen (Los costos fijos representan el valor económico de las máquinas).
- 2) Los costos variables bajan más porque la empresa puede justificar la implementación de equipos más eficientes y más grandes. (Ejemplos de costos variables son los costos de los materiales o los moldes).

Por ejemplo, considerando una pieza de plástico moldeada por inyección en un molde que cuesta 50,000 dólares y que la empresa fabrica 50,000 unidades en la vida útil de éste, cada pieza tendrá que asumir un dólar del costo del molde, pero si se producen 100,000 unidades cada pieza asumirá 0.5 dólares del costo del molde. Cuando el proceso fabrica en volúmenes grandes, la empresa puede justificar la utilización de moldes de cuatro cavidades, con lo que el ciclo del moldeo produce cuatro piezas en lugar de una. Llegando a la conclusión de que los costos de herramental suelen ser bastante elevados, pero si se dividen en el costo unitario del producto, resulta ser pequeño y es factible considerar este tipo de equipos para manufacturar.

El diseñador debe tener en cuenta las decisiones que va realizando sobre materiales, formas, dimensiones, tolerancias, acabados superficiales, componentes y uniones, con la finalidad de que esto facilite el proceso de fabricación.

En las tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, se indican algunas recomendaciones para la manufactura de piezas dependiendo del proceso con el que se lleve a cabo.¹³

Recomendaciones para el proceso de fundición.
Procurar formar cuerpos sencillos, de fácil desmoldeo.
Prever los ángulos de desmoldeo, especialmente si las paredes son altas.
Procurar paredes aproximadamente del mismo grosor en la pieza con la finalidad de evitar porosidad.

Tabla 3.3 Recomendaciones para el proceso de fundición

¹³ Riba Romeva, C. (2002). Diseño concurrente. Barcelona, España: Ediciones UPC.

Recomendaciones para el proceso de forja.
Procurar formas sencillas y de ser posible simetrías.
Eliminar rebajes que impidan la separación de la matriz.
Prever los ángulos de desmoldeo. Procurar repartir los ángulos de desmoldeo a ambos lados de la partición.
Evitar secciones excesivamente delgadas.
Orientar correctamente las superficies al mecanizar en relación a las herramientas (de las brocas, de las fresas).

Tabla 3.4 Recomendaciones para el proceso de forja

Recomendaciones para el proceso de torneado.
Procurar dar formas simples. Prever los radios adecuados para las herramientas.
Evitar ranuras y formas interiores, especialmente si deben tener tolerancias estrechas.
Prever las zonas de agarre.
Evitar tornear piezas con diferencias de diámetro excesivas.
Dar tolerancias estrechas solo a partes que lo requieran.

Tabla 3.5 Recomendaciones para el proceso de torneado

Recomendaciones para piezas fresadas.
Buscar diseñar superficies de fresado planas. Evitar la multiplicidad de superficies y de orientaciones.
Prever el radio de fresa en las formas de la pieza.
Seleccionar adecuadamente las superficies de fresado para facilitar la accesibilidad de las herramientas.
Prever resaltes en las partes que deban ser fresadas.

Tabla 3.6 Recomendaciones para el proceso de fresado

Finalmente, se recomienda estandarizar los componentes y el proceso. Los componentes estándar se caracterizan por ser comunes a más de un producto.

Esta estandarización permite tener un volumen alto de componentes, lo cual involucra que se disminuya el costo unitario del producto, como se mencionó previamente.

Uso de prototipos

Se pueden manufacturar prototipos rápidos con el fin de detectar cómo influyen factores ambientales (temperatura y humedad), efectos de vibración, un uso indebido o conocer el comportamiento estático y dinámico que tendría el producto de acuerdo a las fuerzas que interactúan en él, así como resistencia. También, se pueden manufacturar prototipos para poder determinar si es necesario realizar modificaciones al diseño original, a los materiales, a la manufactura u otras variantes que influyan dentro del proceso de diseño y fabricación.

Estos prototipos pueden ser físicos o analíticos, se recomienda utilizar ambos debido a las ventajas que ofrecen:

- ✓ Por una parte, el dispositivo físico permite visualizar fenómenos imprevistos que no están relacionados con la función del prototipo, debido a que todas las variables físicas interactúan en este tipo de prototipo.
- ✓ Por otra parte, el prototipo analítico (mediante software) representa una aproximación matemática del producto, tiene la ventaja de permitir la resolución rápida de las ecuaciones que modelan el prototipo y permiten realizar grandes cambios al prototipo, en comparación con el físico. Se recomienda, primero, realizar este prototipo para, después, afinar o confirmar el diseño con el prototipo físico, por ejemplo, se muestra el prototipo y el diseño final de una carriola, en la figura 3.10.



Figura 3.10 Prototipo y diseño final de una carriola para bebé

Diseño y desarrollo asistidos por computadora

La manufactura asistida por computadora facilita la organización y el manejo de datos sobre los materiales y el proceso. Esto lo realiza apoyando a los ingenieros de manufactura con las tareas de control numérico de máquinas, programación de robots para manejo y ensamble de piezas, diseño de herramientas entre otras ventajas que ofrece la utilización de software.

Con ayuda de estas tareas se puede diseñar y especificar las características con las que contaría el producto, tales como dimensiones, acabado superficial y los materiales que lo componen. La selección de materiales se puede lograr con la colaboración del ingeniero en materiales el cual está calificado y puede apoyar al ingeniero de diseño.

Posteriormente, se puede solicitar el apoyo del ingeniero de manufactura para conocer sus sugerencias respecto al cómo se va a ensamblar un componente particular al producto final, con el fin de facilitar más adelante esta tarea.

Una vez hecho el diseño del producto con el apoyo de los demás departamentos, se puede realizar una producción virtual de prototipos; éste es un apoyo que utiliza gráficos y ambientes de realidad virtual que permiten a los diseñadores conocer el comportamiento del producto, esto se puede realizar con paquetes de software especializados.

CAD (“Computer Aided Design”, Diseño asistido por computadora)

Entre los paquetes que apoyan la manufactura concurrente se encuentra el CAD, siendo el diseño asistido por computadora. Su principal función es la de generación de planos y fácil modificación y manipulación del diseño, además de dar una gran precisión a los ingenieros de diseño, como se puede observar en la figura 3.11.¹⁴

Entre las principales tareas que se pueden desarrollar con esta herramienta se encuentran las siguientes:

- ❖ Modelado geométrico 2D/3D.
- ❖ Dibujo técnico y diseño de todo tipo de planos.
- ❖ Animación y realidad virtual.
- ❖ Base de datos gráficas y propiedades tecnológicas: materiales, tolerancias, dimensionales y geometrías, así como acabados del producto.
- ❖ Diseño estético.

¹⁴ McMahon, C., & Browne, J. (1993). CAD/CAM, from principles to practice. United Kingdom: Addison-Wesley Publishing Company.



Figura 3.11 Diseño asistido por computadora

CAM (“ComputerAided Manufacturing”, Manufactura asistida por computadora)

Por otra parte, el CAM consiste en la manufactura asistida por computadora, admitiendo desde la robótica y el control numérico, hasta la planificación y el control de la producción.

Entre las tareas que se pueden realizar con el apoyo de esta herramienta se encuentran las siguientes:

- Herramientas de programación y control numérico, como se puede observar en la figura 3.12.
- Simulación de procesos de fabricación por control numérico.
- Programación de robots.
- Mantenimiento asistido por computadora.



Figura 3.12 Manufactura asistida por computadora

CAE (“Computer Aided Engineering”, Ingeniería asistida por computadora),

El CAE permite realizar análisis mediante el método de elemento finito y resuelve problemas de resistencia de materiales, de transmisión de calor, como se puede observar en la figura 3.13. Además de la generación automatizada de programas de mecanizado CNC.

El CAE se puede definir como una herramienta que permite resolver problemas de diseño, combinando información geométrica con modelos matemáticos del comportamiento del sistema, permitiéndolo un eficiente análisis de ingeniería. Esto permite optimizar y documentar los análisis de los diseños.

Entre las principales tareas que se pueden desarrollar con esta herramienta se encuentran las siguientes:

- ❖ Determinación de propiedades másicas como: volumen, masa, centro de gravedad, radio de giro, entre otras.
- ❖ Análisis estructural, para determinar la rigidez, la resistencia mecánica y estabilidad de componentes mecánicos.
- ❖ Análisis cinemático y dinámico, con la finalidad de determinar los movimientos y las fuerzas asociadas en los mecanismos.
- ❖ Análisis térmico en régimen estacionario y transitorio de fenómenos de conducción y radiación de calor, con lo que se puede predecir el comportamiento de los materiales frente a la temperatura.
- ❖ Análisis tensorial, tanto estático como dinámico.
- ❖ Análisis reológico o de fluidos.
- ❖ Análisis vibro-acústico.
- ❖ Simulación de procesos de fabricación.
- ❖ En el caso de componentes eléctricos o electrónicos, permite el análisis electrostático y electromagnético.

Entre las ventajas de usar estas herramientas asistidas por computadora con un enfoque de manufactura concurrente se encuentran las siguientes:

- ✓ Aumento de la competitividad.
- ✓ Reducción del costo de diseño y producción.
- ✓ Aumento de la productividad en la realización de los planos.
- ✓ Mejora de la calidad del producto.
- ✓ Reducción del tiempo de diseño y desarrollo.
- ✓ Automatización de tareas del proceso de diseño.
- ✓ Diseño más eficiente y preciso.
- ✓ Las decisiones sobre el diseño se toman con base en el impacto del desempeño del producto.

- ✓ Los diseños pueden evaluarse y refinarse utilizando simulaciones computarizadas en lugar de hacer pruebas a prototipos físicos, ahorrando tiempo y dinero.
- ✓ Las aplicaciones CAE brindan conocimientos sobre el desempeño más temprano en el proceso de desarrollo, cuando los cambios al diseño son menos costosos de hacer.
- ✓ Las aplicaciones CAE, también, sirven de apoyo a los equipos de ingeniería para administrar riesgos y comprender las implicaciones en el desempeño de sus diseños.

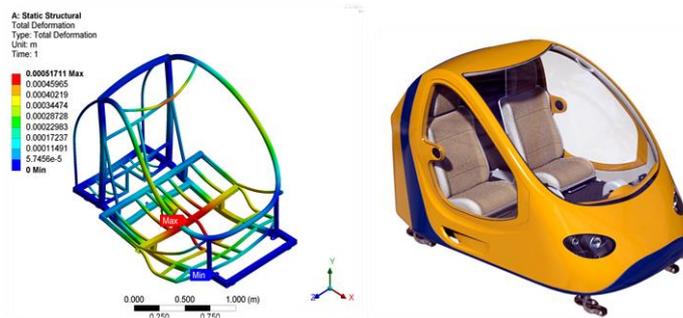


Figura 3.13 Ingeniería asistida por computadora

También, existen otras técnicas aplicadas con el apoyo de la computación como el CAQ (Computer Aided Quality), que es el control de calidad asistido por computadora, que se usa para administrar las operaciones de control y los sistemas automatizados de control, como las máquinas automatizadas de medición. De igual forma, se encuentra el CAPP (Computer Aided Process Planing), entendida como la planificación de procesos asistida por computadora, consistente en la utilización de software para planear la secuencia de operaciones necesaria para manufacturar el producto.

Estas herramientas virtuales se pueden usar en conjunto y el objetivo principal es mejorar el ciclo de vida del producto y su proceso de manufactura, tomando la mejor decisión de materiales, proceso de maquinado, condiciones de manufacturar y diseño, reduciendo los tiempos muertos y mejorando su calidad al prever su comportamiento mediante el análisis de cómo influyen factores ambientales (temperatura y humedad), efectos de vibración, o conocer cómo se comportaría el producto ante un uso indebido por parte del cliente o, también conocer el comportamiento estático y dinámica que tendría el producto de acuerdo a las fuerzas que se le pudieran aplicar, así como resistencia. El conjunto de resultados ayuda a determinar si es necesario realizar modificaciones al diseño original, a los materiales, a la manufactura u otras variantes que influyan dentro del proceso de diseño y fabricación.

Gestión de datos

El PDM (*Product Data Management*, “Gestión de datos del producto”), es un sistema que permite llevar un registro de los estados de diseño y cambios por los que ha pasado el proyecto de diseño. Permite acceder a los datos instantáneamente, gestionar de forma concurrente las tareas y actualizar a las últimas versiones de diseño. Su principal ventaja, con respecto a un sistema convencional de compartir información, es que reduce el tiempo de intercambio de información y permite un número mayor de cambios en la etapa de diseño y una actualización constante en el diseño del producto. Permitiendo a los diseñadores poder ver desde el primer diseño hasta la última versión guardada en cuestión de instantes.

El sistema PDM fue desarrollado para dar fuerza a procedimientos de ingeniería bastante estrictos y puede encontrarse comercialmente en softwares de diseño como Solid Works o Siemens.

Se recomienda su utilización con el fin de tener un mayor flujo de información entre los distintos departamentos del proceso de diseño, manufactura y producción.

Diseño robusto

El diseño robusto es aquel que permite manufacturar la pieza aún cuando no se presenten condiciones ideales, estas variables se pueden clasificar en factores controlables y de ruido (no controlables). Estos últimos son muy difíciles de controlar o puede resultar costoso el hacerlo. Entre los principales factores de ruido se encuentran:

- Variaciones en las condiciones de manufactura (por ejemplo, cambios de temperatura).
- Variaciones en el proceso de manufactura (por ejemplo, la velocidad de corte).
- Deterioro (variaciones en el producto debido al uso y al paso del tiempo).

El objetivo principal del diseño robusto es aportar factores que afecten la calidad y funcionalidad del producto, con el fin de controlarlos desde la etapa de diseño del producto.¹⁵

El diseño de experimentos es una herramienta que facilita la identificación de los parámetros que se pueden controlar y los que son ruido. Estos experimentos permiten obtener resultados que se pueden tomar en cuenta para obtener un mejor diseño, combinables con el conocimiento teórico.

¹⁵ Barba Ibáñez, Enric. (2001). Ingeniería concurrente, guía para su implementación en una empresa. Barcelona, España: Gestión 2000.

Se recomienda tener en cuenta estos factores ya que pueden influir en el proceso de manufactura, y resulta conveniente considerarlos desde la etapa de diseño.

3.6 Implementación de la manufactura concurrente

Al igual que con la implantación de la manufactura esbelta, existen dificultades para establecer esta metodología, entre ellas se encuentran las siguientes:

- La resistencia al cambio ante una nueva estrategia.
- El requerimiento de contar con una plantilla de trabajadores motivados, responsables y con la filosofía de mejorar día con día.
- La disponibilidad económica para conseguir nuevas tecnologías.

Para introducir la manufactura concurrente al proceso de manufactura se consideran tres principios: organizacionales, de mejora de proceso y de gestión de información.

La organización que debe mantener los departamentos que intervengan en la etapa de diseño, debe ser flexible y bien estructurada para que permita una fácil interacción con el proceso de diseño. (Barba Ibáñez, Ingeniería concurrente, guía para su implementación en una empresa, 2001)

Además de esto, se necesita de actitudes orientadas al servicio del cliente y a la colaboración con proveedores, promover la cooperación entre los departamentos de producción y diseño, incremento de la responsabilidad del trabajador, principalmente al diseñar, así como fomentar las habilidades de liderazgo y de coordinación.

Por otra parte, la mejora de procesos se dirige hacia el desarrollo del producto y a la mejora continua en las actividades de su ciclo de vida y para lograrlo se pueden utilizar tecnologías asistidas por computadoras, o técnicas de control estadístico como seis sigma.

Finalmente, la gestión de información tiene como objetivo alcanzar niveles de flujo de información óptimos, así como la adecuada gestión de los recursos humanos y administrativos de la empresa.

3.7 Beneficios de aplicar la manufactura concurrente

Las empresas japonesas del sector automotriz Nissan, Honda, Mazda, Toyota, entre otras, fueron pioneras en la adopción de la Ingeniería y manufactura concurrente, lo hicieron con el fin de desarrollar productos que tuvieran una reducción de tiempo de manufactura y que asegurara que el producto tuviera una calidad aceptable.

Posteriormente, Ford siguió el precedente con su programa “Taurus-sable” en el cual se incluyeron los diferentes departamentos, entre ellos el de manufactura y producción, con el fin de que puedan expresar sus opiniones mientras aún es viable modificar el diseño. Este equipo colaboró con los ingenieros de manufactura para lograr diseños que eran compatibles con sus métodos de fabricación. Para lograr el éxito del programa integraron ingenieros de diseño, especialistas de producción y de marketing, que, en conjunto, seleccionaron el diseño del producto y el proceso de manufactura.

Otra empresa que también aplicó el principio de ingeniería concurrente es General Motors, esta empresa lo define como *“un desarrollo concurrente del diseño de proceso y del sistema de fabricación asociado, con objeto de satisfacer las expectativas del cliente mediante los esfuerzos de un equipo multidisciplinario”*.¹⁶

General Motors lo usó en su proyecto Saturno, con la meta de reducir los costos de este modelo y rediseñar sus métodos de desarrollo y manufactura de vehículos. Al igual que en Ford, participaron miembros de distintos departamentos que, en conjunto, diseñaron el producto y el proceso de manufactura, también seleccionaron los proveedores, el diseño de útiles, y la distribución dentro de la empresa.

Esta metodología de diseño, también, es utilizada en la industria aeronáutica, por ejemplo Boeing usó esta metodología para desarrollar el avión modelo 777, logrando una reducción del 30% de desarrollo, con respecto a su modelo previo, el 767.

Otro ejemplo de aplicación es el caso de Kodak, que replanteó la metodología de diseño con el fin de terminar de manufacturar una nueva cámara para competir con su rival Fuji, quien anunció una cámara de 35 mm, y para poder competir adecuadamente necesitaba recortar el tiempo de desarrollo pero debido a que manejaban un proceso de ingeniería secuencial, esto les tomaría alrededor de 70 semanas.

¹⁶ Barba Ibáñez, Enric. (2005). Innovación de productos mediante ingeniería concurrente. Barcelona, España: Gestión 2000.

Para recortar este tiempo Kodak analizó la reingeniería de este proceso y decidió poner en marcha una serie de actividades con un enfoque concurrente, en el cual se desarrollaban las piezas de la nueva cámara para ensamblarlas al final del proceso.

En vista de esto, Kodak decidió mejorar la comunicación de cambios en el diseño entre los departamentos, así como mejorar su participación en el ciclo de diseño. Para lograr esto, Kodak decidió utilizar un sistema de CAD con una base de datos integrada, en la cual cada día de trabajo de los ingenieros y trabajadores pudiera inspeccionarse en la base de datos si los cambios de diseño, o el diseño original, afectaban de algún modo negativo o si se creaba algún problema dentro del proceso de manufactura y, a la vez, pudieran aportar sugerencias y opiniones al diseño del producto.

Con esto, Kodak logró reducir el periodo de desarrollo a 38 semanas, y también logró que el costo de desarrolló fuera 25% menor al previsto. Diseñando una cámara fácil de manufacturar involucrando las opiniones de los trabajadores y los proveedores.

Esta metodología de diseño también ha sido utilizada por Four Square (Gran Bretaña), esta empresa es una división de bebidas del grupo Mars Ltd. Ellos se dedican a la fabricación y suministro de máquinas dispensadoras de cafés y bebidas.

Esta empresa le dio formación a su personal sobre la metodología de diseño para manufactura y el ensamble, el personal realizó revisiones de componentes y conjuntos en las que participaron todos los miembros del equipo, apoyándose del software CAD.

Como resultado, lograron una reducción del 40 por ciento en el número total de piezas, además de que éstas fueron más fáciles de ensamblar y presentaron un costo menor de manufactura para el proceso.

En la actualidad, esta tendencia requiere que en los proyectos de manufactura concurrente participe un equipo multidisciplinario, que tengan una dedicación y un compromiso con el proyecto y el trabajo en equipo.

Esta tendencia de la manufactura, generalmente, es utilizada en empresas del sector automotriz, pero también es empleada en otros sectores industriales como la ferrocarrilera, electrónica, diseño y fabricación de equipos de aire acondicionado, entre otros.

Por otra parte, una vez que el producto ha terminado su ciclo de ventas, y éstas comienzan a decaer, se debe implementar la manufactura esbelta, ya que es trascendental disminuir los desperdicios al mínimo, para lograr que el proceso sea más eficiente, con la finalidad de aumentar un poco más el tiempo del ciclo de vida del producto. Permitiendo a la empresa poder sacarle un poco más de

provecho a la manufactura del producto. Sin embargo, aunque el producto no se encuentre en éstas circunstancias, se recomienda implementar la manufactura esbelta dentro del proceso, para lograr una mayor eficiencia de producción.

Capítulo 4. Manufactura verde

4.1 Introducción a la manufactura verde

Previamente, la manufactura se definió como una actividad humana que busca la fabricación de bienes y artículos hechos a mano, o, especialmente, por maquinaria y, frecuentemente, en gran escala. Esta definición con un enfoque verde implica que se busque la fabricación de productos mediante materiales y procesos que minimicen el impacto negativo al medio ambiente, con un rumbo en la aplicación de energías renovables, seguras y eficientes; así como, el diseño de productos que tengan la facilidad de ser reutilizados, reciclados y fáciles de desensamblar.¹⁷

Es una de las tendencias más recientes y atiende un enfoque en el cual se toma en cuenta el agotamiento de recursos, la contaminación industrial y el ciclo de vida cerrado del producto, todo esto sin perder de vista mejorar la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

Esta tendencia implica que se tomen en cuenta todos los factores ambientales y algo importante que se puede destacar es que, previamente, los procesos de manufactura solamente se enfocaban en la calidad, cantidad y eficiencia del proceso, donde el impacto ambiental pasaba a segundo plano.

La manufactura es intermediaria entre la materia prima y los productos terminados, por lo que se debe buscar que los productos en su etapa de diseño puedan cerrar su ciclo de vida con facilidad y esto se debe fomentar en la empresa y en los clientes, debido a que los consumidores tienden a buscar el producto manufacturado como tal sin preocuparse de su manufactura y cuál será el fin del ciclo de vida del producto. Por esto es, responsabilidad de la empresa buscar la disminución del impacto ambiental, del manejo de la materia prima y que el producto pueda cerrar su ciclo de vida. Estos son los puntos que se abordan en este capítulo.

¹⁷ Groover, Mikell P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice-Hall.

4.2 Manufactura y economía verde

La economía verde es aquella en la cual se debe mejorar el bienestar del ser humano, buscando la reducción del impacto que se ocasione al medio ambiente.

Aplicando esto hacia la manufactura se debe cambiar el modo en el que se manufacturan los productos, buscando siempre la reducción de los desperdicios y costos, como se manejaron en los capítulos anteriores, pero reduciendo el impacto hacia el medio ambiente.¹⁸

Dentro de la economía verde, los materiales que se utilizan son divididos en dos tipos:

- **Materiales biológicos**, son aquellos como la comida, residuos vegetales, madera y fibras textiles, los cuales son consumidos y deben ser regresados al entorno como composta o fertilizante para devolver los nutrientes a la tierra, o, en dado caso, ser procesados para producir energía.
- **Materiales técnicos**, estos materiales son los utilizados en ingeniería, se debe buscar su reutilización, facilidad de reparación o reciclaje buscando tener un ciclo de vida del producto cerrado.

Se recomienda realizar una innovación en el diseño y la manufactura de los productos buscando desarrollar una nueva gama de productos que tengan una mayor vida útil y que tengan la facilidad de ser reutilizados, arreglados o desmontables, así como poder reutilizar o reciclar sus componentes.

La transición de una economía tradicional, en la cual no se toma en cuenta el problema de dañar al medio ambiente o el agotamiento de los recursos, hacia una economía verde, en la cual se contemplan estos puntos. Además, se buscan mejorar los sistemas actuales, involucra un trabajo en equipo entre los clientes que adquieran los productos y colaboren para que el producto prosiga un ciclo cerrado y las industrias manufactureras que desarrollen diseños y utilicen materiales que faciliten este objetivo, sin perder de vista tener la mayor calidad posible en los productos y cumplir con los requerimientos del cliente.

¹⁸ <http://www.generationawake.eu/es/hacer-mas-verde-la-economia-de-la-ue/que-es-la-economia-verde/> consultado por última vez el 2 de noviembre de 2014.

4.3 Ciclo de vida del producto en la manufactura verde

A diferencia de la manufactura concurrente, que se enfoca en la etapa de diseño y producción del ciclo de vida del producto, en la manufactura verde se contempla el fin del ciclo de vida del producto, buscando que éste sea cerrado.

El principal objetivo de la manufactura verde es, obtener un ciclo de vida del producto cerrado, mediante el cual el producto pueda ser reutilizado, reciclado o fácil de desensamblar con el fin de que sus piezas puedan ser utilizadas nuevamente o el producto sea fácil de reparar.

El ciclo de vida del producto con un enfoque en la manufactura verde, abarca las siguientes etapas:

- **Obtención de las materias primas**

Esta etapa involucra todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas, incluyendo el transporte previo a la producción.

- **Proceso de manufactura**

Como se ha mencionado previamente, esta etapa involucra todas las actividades necesarias para convertir las materias primas en productos terminados y con el enfoque de manufactura verde también involucra la forma de obtener la energía que se requiere para lograr este proceso, así como el manejo de sustancias nocivas para el medio ambiente.

- **Distribución y transporte**

Básicamente, involucra la distribución y el traslado del producto final al cliente.

- **Uso, reutilización y mantenimiento**

Esta etapa involucra el tiempo de vida que le da el cliente, para que el tiempo de vida se prolongue es necesario que en la etapa de diseño se consideren los factores indicados para que el producto se pueda desensamblar con facilidad con el fin de que las reparaciones y el mantenimiento no causen mayor problema.

- **Reciclaje**

Esta etapa inicia una vez que el producto ha sido utilizado para su función inicial y ya no es factible que sea reparado, con lo que existe la posibilidad de que éste sea reciclado a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje), o pueda entrar a un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).

- **Gestión de los residuos**

En caso de que el producto ya haya cumplido con su función y no se pueda reutilizar ni reciclar se tiene que devolver al medio ambiente como residuo, buscando que éste afecte de la menor manera posible.

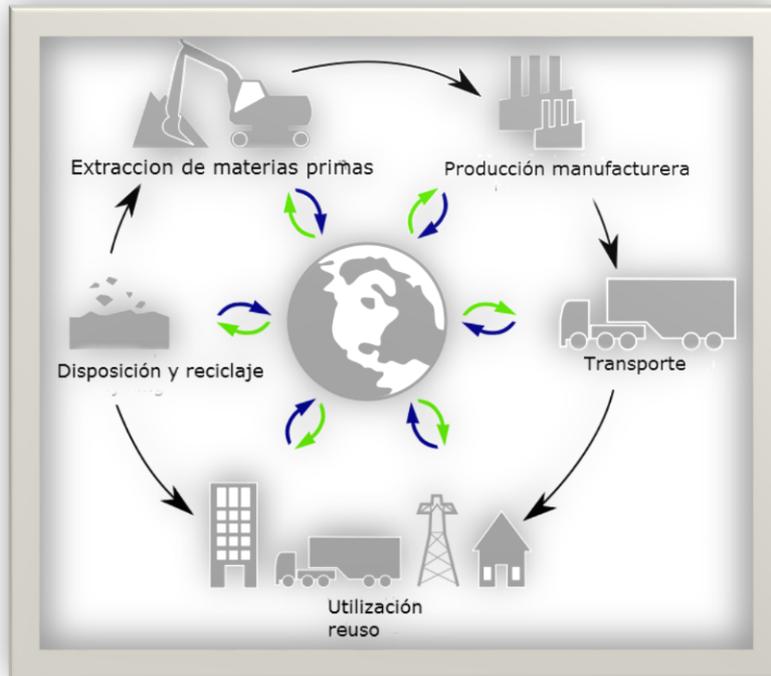


Figura 4.3 Ciclo de vida del producto

El ciclo de vida del producto se puede observar en la figura 4.3, éste ciclo aplicado a la manufactura verde debe considerar la minimización de la contaminación y desperdicios dentro del proceso. También, debe involucrar el diseño para el medio ambiente, el proceso económico, la protección con respecto al medio ambiente y la conservación de las materias primas.

Para mantener un ciclo de vida adecuado con este enfoque, se recomienda cumplir con los siguientes puntos:

- Eliminar el uso de recursos naturales no renovables (incluyendo fuentes de energía no renovables).
- Descartar el desecho de materiales sintéticos e inorgánicos que tardan mucho tiempo en descomponerse.
- Excluir la formación de desechos tóxicos ajenos al ciclo de vida natural.

4.4 Tecnología y herramientas aplicadas a la manufactura verde

Tecnología verde

La tecnología verde es una tendencia que surgió en Latinoamérica al inicio de los años 70's, en la actualidad ha tomado mayor fuerza debido al interés por la sustentabilidad (La sustentabilidad es la cualidad de poderse mantener por sí mismo, sin ayuda exterior y sin agotar los recursos disponibles) y el empezar a aplicarla en la industria.¹⁹

La tecnología verde implica el diseño de soluciones y/o la aplicación de dispositivos basados en una eficiencia positiva para el medio ambiente. En otras palabras, busca garantizar la seguridad y el buen desempeño en la fabricación, reduciendo al mismo tiempo su impacto al medio ambiental.

Esta tendencia surge a partir de la necesidad de generar ahorros y disminuir el impacto ambiental, buscando que las empresas que implementan este tipo de mejoras puedan contar con una mejor reputación hacia el público en general.

En la figura 4.4, se muestran las características con las que debe contar un producto que cumpla con esta metodología:

¹⁹ <http://www.altonivel.com.mx/tecnologia-verde-en-que-consiste.html> consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.

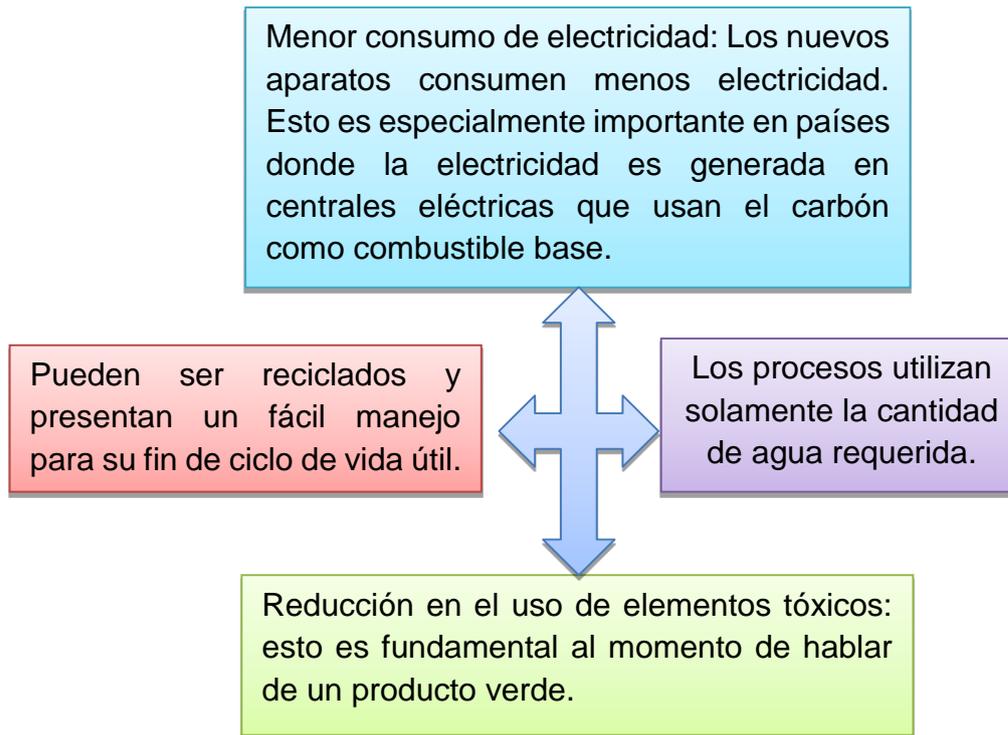


Figura 4.4 Características de un producto en la tecnología verde

Existen diferentes maneras en las que una empresa puede involucrarse en el concepto de la Tecnología Verde. Esto implica cualquier acción que se haga dentro de la empresa, por ejemplo el ahorro de hojas de papel cuando se generan reportes y se analizan bases de datos, sin necesidad de imprimirlos o utilizar formatos digitales. Las empresas pueden contribuir con campañas de concientización dirigidas a los empleados sobre acciones tan sencillas como apagar los dispositivos electrónicos y la luz al salir de la oficina, buscando que esta tendencia se aplique en todo momento, incluyendo en puestos de trabajo como la gerencia.²⁰

También, se pueden cuantificar las emisiones de carbono que se producen dentro del proceso y la contaminación que se genera con el fin de que esta se pueda revertir o reducir dentro del proceso.

Diversas empresas comunican a los clientes acerca de su elección eco-responsable. Esta tendencia de estrategias de venta, representa al marketing verde.

Este marketing verde suele asociar el ahorro de energía y el reciclaje de los productos, este tipo de marketing permite hoy en día a las marcas valorizar su imagen ante sus clientes.

²⁰ <http://www.manufactura.mx/industria/2011/06/27/la-tecnologa-verde-hoy> consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.

Por ejemplo, en la figura 4.5 se muestra el marketing verde empleado por la empresa Coca Cola en las etiquetas de su producto. Sin embargo, este tipo de marketing se debe utilizar con conciencia e independientemente de él, los procesos deben implementar procesos más amigables con el medio ambiente porque nos beneficia a todos tener una menor contaminación ambiental.



Figura 4.5 Marketing verde de Coca Cola. Fuente:

<http://www.clubdarwin.net/seccion/packaging/coca-cola-lidera-el-mercado-de-envases-pet-biodegradables>

Materiales y residuos tóxicos

Los residuos tóxicos son sustancias que son inflamables, corrosivas, tóxicas o pueden producir reacciones químicas, cuando están en concentraciones que pueden ser peligrosas para la salud o para el ambiente.

Se recomienda sustituir los materiales y sustancias tóxicas y dañinas de los procesos por alternativas no tóxicas. A continuación, se mencionan algunos contaminantes que son nocivos para el medio ambiente y llegan a utilizarse en la industria.

➤ **Cadmio**

El cadmio presenta una toxicidad considerable por lo que se encuentra sujeto a normas ambientales. Si se contaminan las aguas con cadmio, éste puede incorporarse a los peces generando problemas en hígado, riñones y, en última instancia, envenenamiento.

➤ **Cloro**

Los gases que contienen cloro, como los clorofluorocarbonos (CFC), destruyen el ozono estratosférico y son gases de efecto invernadero. En su forma de hipoclorito de sodio es un compuesto oxidante.

➤ **Cromo**

El cromo hexavalente es reconocido como altamente tóxico. Los trabajadores que se han expuesto por largos periodos han reportado que es capaz de provocar cáncer de pulmón, además de causar efectos negativos al medio ambiente.

➤ **Mercurio**

Cuando el mercurio entra en contacto con el medio acuático, éste se transforma en metilmercurio, el cual se acumula por medio de una cadena trófica, en los peces, la fauna silvestre que de ellos se alimenta y el ser humano.

➤ **Plomo**

El polvo, el agua y los gases contaminados con plomo perjudican el cerebro, los riñones, el hígado y otros órganos.

➤ **Fenol, éteres, solventes orgánicos**

Pueden ocasionar lesiones neurológicas, riesgos reproductivos, enfermedades de la piel, además de ser precursores de procesos cancerosos.

➤ **Polvo y fibras de asbesto**

El asbesto es un agente cancerígeno, además precursor de la enfermedad de asbestosis. Las fibras de asbesto pueden contaminar el aire y el agua.

➤ **Materiales químicos de laboratorio no identificados o nuevos compuestos de efectos ambientales no conocidos**

Varios de estos compuestos suelen ser utilizados en la industria química, por lo que se deben tomar en cuenta los reglamentos que implican su manejo y de no ser indispensables dentro del proceso. Se recomienda buscar un material menos tóxico.

Contaminación del agua

El agua es un compuesto esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas, por lo que se debe cuidar su disponibilidad.

Las extracciones de agua destinadas a la industria a nivel mundial representan aproximadamente el 22% del uso total de agua y para 2025 se espera que la industrial represente cerca del 24% del total de extracciones de agua dulce.²¹

Derivado de esto, es altamente recomendable que se reduzca la cantidad de agua utilizada en los procesos a lo esencial y se evite contaminarla de cualquier forma.

Una de las formas de contaminación es la térmica, la cual consiste en la descarga de desechos calientes en cuerpos de agua, esto trae consigo problemas de perturbaciones ecológicas ya que al aumentar la temperatura descende la cantidad de oxígeno en el agua, además de acelerar la putrefacción, afectando la fauna de las especies que viven en lagos, ríos o mares.

Algunas alternativas para solucionar este problema es la inclusión de torres de refrigeración y estanques. Sin embargo, el problema que presentan es que requieren de un terreno más grande.

²¹<http://www.aguas.org.mx> consultado por última vez el 2 de noviembre de 2014.

Contaminación por aguas residuales industriales

La contaminación por este tipo de aguas depende de qué industria se trate. Por ejemplo, en la industria del papel y la alimenticia prevalecen los compuestos orgánicos, mientras que en otras, como los productos químicos, las de pinturas y las fundidoras predominan los compuestos inorgánicos. O en el caso de la industria textil, la azucarera y la minera, predomina la materia en suspensión.

En general, la mayoría de las aguas residuales de origen industrial no sirven en absoluto para beber ni para ser utilizadas en riego, debido a que contienen sustancias tóxicas perjudiciales para la agricultura y los seres vivos.

Es altamente recomendable no dañar los ríos, lagos o mares con residuos industriales ya que son los más difíciles de tratar, y, en vez de esto, se debe buscar la manera adecuada de retirarlos del proceso. Una opción es buscar tratar el agua empleada dentro del proceso con el fin de poder reutilizarla en el mismo.

A continuación, se enlistan las industrias que presentan mayor contaminación de acuerdo a la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales):

- Minería
- Construcción
- Química
- Manufacturera
- Azucarera
- Automotriz
- Celulosa y cartón
- Cementera
- Vidriera
- Petrolera
- Metalúrgica

Se recomienda buscar retirar todo tipo de sustancias nocivas de tal manera que afecten lo menos posible a los ecosistemas y las reservas de agua potable ya que solo el 2.5% del agua en el mundo es dulce y poco menos del 1% es apta para el consumo humano. Además de que existen diversos depósitos que se encuentran sobreexplotados.

4.5 Optimización de la materia prima y diseño verde

Un producto diseñado con un enfoque hacia la manufactura verde debe considerar el tipo de material, es decir, que deben ser materiales amigables con el medio ambiente y que puedan ser económicamente reciclables. En tanto que, por parte de las empresas, se debe buscar el diseño necesario para que el producto tenga la capacidad de ser reciclado, reparable y reutilizado.

Diseño para el medio ambiente (Design for environment, DFE)

El diseño para el medio ambiente implica contemplar los efectos negativos del diseño hacia el impacto ambiental, así como optimizar la materia prima en los productos.

Las metas principales que se recomienda tener al implementar la manufactura verde son las siguientes:

- Reducir el uso de materias primas y elegir las más abundantes y renovables, también se recomienda eliminar los materiales tóxicos del proceso y disminuir los desperdicios, además de incrementar el uso de materiales reciclados.
- Encontrar usos secundarios para el producto.
- Utilizar el mismo material o materiales similares con el fin de facilitar el reciclaje del producto
- Seleccionar y diseñar los procesos, de tal manera que tengan una alta eficiencia de energía.
- Excluir empaques tóxicos y peligrosos, así como reutilizar los empaques.
- Diseñar el producto con el fin de que cumpla con un mayor tiempo de servicio.
- Examinar los componentes en el diseño que pueden ser reutilizados en caso de falla o bien de desensamble, con el fin de que estos puedan proseguir su ciclo de vida.
- Facilitar el desensamble en la etapa de diseño, así como habilitar la recuperación de componentes y facilitar su reciclado.
- Utilizar tecnologías limpias.
- Utilizar materiales que tengan tratamientos superficiales o sean de mayor calidad, arreglos en la estructura del material con el fin de que se protejan de la suciedad, corrosión y del desgaste.

Para lograr estas metas, se debe trabajar con una responsabilidad ética y tomando en cuenta las legislaciones ambientales hacia los productos. Sin embargo, las empresas manufactureras también deben anticipar las nuevas leyes que puedan aparecer.

Para implantar este diseño se recomienda seguir los siguientes pasos:

- 1) Definir y seleccionar las metas que se buscará alcanzar con el diseño del producto, así como formar un equipo para lograrlo.
- 2) Considerar los factores internos y externos que afectaría al diseño, tales como la calidad del producto, imagen pública, reducción de costos, responsabilidad, ética, posible conducta del cliente, la legislación industrial pertinente, la demanda comercial, la competencia, los proveedores y las presiones sociales hacia los responsables del proceso por el compromiso hacia el medio ambiente. Se deben considerar todos estos factores al momento de diseñar el producto y seleccionar los materiales.
- 3) Posteriormente, se deben identificar los efectos ambientales que se podrían presentar, tales como deforestación, la degradación del suelo, la contaminación del aire y del agua, y la generación de desechos del proceso, con el fin de minimizarlos desde la etapa de diseño y selección de materiales.
- 4) Evaluar los efectos ambientales que se identificaron previamente durante todo el ciclo de vida del producto es el paso que sigue y es una etapa importante que comprende como el producto, se utiliza durante su ciclo de vida, como se recicla y que ocurre cuando se desecha al medio ambiente. Para efectuar esta evaluación se puede recurrir a listas de materiales que proveen de información como los métodos de transportación, flujos de desechos, métodos de reciclados y medios de desecho. Esto con el fin de obtener una base para considerar el desempeño ambiental que tendría el producto.
- 5) Posteriormente, se puede hacer modificaciones al diseño buscando disminuir o eliminar los efectos ambientales.
- 6) Finalmente, se puede reflexionar sobre qué beneficios se obtuvieron al aplicar esta metodología de diseño, evaluando qué tan amigables son los materiales empleados con el medio ambiente, qué porcentaje de estos materiales puede ser reciclado, qué fracción de los componentes puede ser desensamblado con facilidad y qué porcentaje de los componentes puede ser reutilizado en el proceso de manufactura.

Diseño para el desensamble

Es necesario el desensamble de los productos debido a que es una oportunidad de recuperar partes o materiales reciclables al final del ciclo de vida del producto, este diseño facilita el mantenimiento de los productos, las reparaciones y el diagnóstico del estado de los productos.

Hay dos estrategias en la planeación del desmontaje de un producto:

- Remover las piezas más valiosas, primero, y detener el desmantelamiento del producto cuando este se vuelve desfavorable.
- Maximizar el campo de desmontaje al desmontar varias piezas a la vez.

Las recomendaciones para diseñar, adecuadamente, un producto para que sea desensamblado son las siguientes:

- ✓ Diseñar el producto para su reúso.
- ✓ Eliminar la necesidad de separar las partes mediante métodos complicados.
- ✓ Reducir el número de los diferentes materiales que integran el producto.
- ✓ Habilitar la separación simultánea de piezas.
- ✓ Colocar las partes en grupos de acuerdo al reciclaje y la secuencia del desensamble.
- ✓ Identificar y señalar los puntos de separación y los tipos de materiales.
- ✓ Facilitar la clasificación de materiales no compatibles con el reciclaje.
- ✓ Utilizar materiales que tienen la posibilidad de ser reciclados.
- ✓ Proveer de técnicas seguras para eliminar los materiales peligrosos o nocivos.
- ✓ Seleccionar una secuencia eficiente de desensamble y que en dado caso este pueda ser realizado por el mismo usuario. Por ejemplo se muestra el un vehículo desensamblado en la figura 4.6.



Figura 4.6 Piezas de un automóvil desensamblado

Diseño para el reciclaje

Esta metodología de diseño incorpora criterios en la fase de diseño de los productos con el fin de que estos tengan la facilidad de ser reciclados y/o reciclables. El uso de esta metodología no debe afectar la calidad y la función del producto, por el contrario debe buscar disminuir el costo y el impacto hacia el medio ambiente por parte del producto, a lo largo de todo su ciclo de vida.²²

Los productos reciclados son los que se manufacturaron con materiales reciclados o componentes que terminaron su ciclo de vida (re-manufacturados). Mientras que los reciclables son los que se manufacturan para ser reciclados al final de su ciclo de vida, dentro de la metodología de reciclaje se deben

²² T. E. Graedel (1996). Design for environment. Editorial Prentice Hall.

considerar ambos puntos, con el fin de alargar el tiempo del ciclo de vida del producto.

Para implementar esta metodología de diseño se recomienda lo siguiente:

- Evitar materiales nocivos hacia el medio ambiente y los seres vivos.
- Diseñar el producto buscando una facilidad de desensamble, que permita realizar una fácil examinación del estado del producto, además de poder sustituir las piezas que pudieran ser dañadas en el transcurso del ciclo de vida del producto.
- Buscar emplear materiales reciclados en los productos.
- Tratar de recuperar las piezas o productos que para el cliente ya no tenga un valor útil, con el fin de reciclarlos en el proceso.
- Seleccionar materiales que puedan ser reciclados.
- También, se debe buscar alcanzar la mayor calidad posible y satisfacer completamente las necesidades del cliente.

Varios de los materiales que económicamente pueden reciclarse se presentan a continuación:

- **Metales:** Aceros, hierro, cobre, aluminio, plomo.
- **Termoplásticos:** Polipropileno, ABS, polietileno, nylon, acrílico, PVC, policarbonato.
- **Otros materiales comunes:** Madera, papel, cartón, vidrio no laminado.

Por otra parte, algunos de los materiales que no son económicamente reciclables incluyen los materiales laminados como plásticos y vidrios, espuma de plástico y vinilo, aleaciones de distintos metales como el acero galvanizado, los cerámicos, plásticos termoestables como los compuestos fenólicos y partes que son pegadas o remachadas juntas. Por lo que, se recomienda buscar la posibilidad de cambiarlos por otros materiales. Por ejemplo en la figura 4.7 se puede observar una silla fabricada con productos reciclados.



Figura 4.7 Silla manufacturada con materiales reciclados

Recomendaciones para la re-manufactura o re-procesamiento

En el caso del diseño para la re-manufactura se tienen que seguir y considerar los siguientes pasos en el proceso:

- 1) Desensamble.
- 2) Limpieza.
- 3) Inspección y clasificación.
- 4) Sustitución de componentes.
- 5) Re-ensamblaje.

Para que se pueda hacer fácilmente la re-fabricación o el reproceso, es necesario considerar que las piezas del producto deben ser fáciles de desensamblar, limpiar e inspeccionar, además de que se puedan reemplazar por otras con facilidad.

4.6 La energía en la manufactura

El sector manufacturero tiene un alto impacto en el ambiente, la manufactura es responsable de aproximadamente 35% del consumo eléctrico del mundo, de más del 20 % de emisiones de dióxido de carbono y del 25% de la extracción de recursos naturales primarios (Fuente CEGESTI (Centro de Gestión Tecnológica), año 2012).

Debido a esto, se recomienda el uso de energías alternas, ya que no dependen de un combustible no renovable y ocasionan un daño menor al ambiente. Además, se recomienda aumentar la eficiencia del proceso con el fin de utilizar solo la elemental.

En esta sección, se estudiará, primero, el impacto que tiene la combustión en el medio ambiente, debido a que es altamente usada para obtener energía calorífica, la cual, por medio de equipos, se puede convertir en energía mecánica y energía eléctrica.

Combustión

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias, llamada combustible que reacciona con el oxígeno. En esta reacción se forma una llama, que libera energía calorífica y luminosa. Esta reacción, generalmente, es utilizada en las plantas termoeléctricas, donde se quema combustóleo para calentar agua en una caldera y generar vapor, el cual es enviado a una turbina, ésta convierte la energía del vapor en energía mecánica y energía eléctrica.

Para lograr una mayor eficiencia, en esta reacción, es altamente recomendable introducir oxígeno en exceso con el fin de que los compuestos reaccionen de la mejor manera y evitar la obtención de subproductos, los principales compuestos

que intervienen en la combustión son: **O₂**, **H₂O** en forma de vapor, **N₂**, **H₂**, **CO** y **CO₂**.

El monóxido de carbono (**CO**) es un compuesto dañino para la salud, puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados y bajo cierto tiempo de exposición. Se produce, generalmente, en la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera.

También, se puede formar carbono en forma de hollín (partículas sólidas de carbono de un tamaño muy pequeño).

Otro compuesto que se puede formar, es el dióxido de azufre (**SO₂**). Éste compuesto es nocivo para la salud bajo ciertas cantidades y tiempos de prolongación, su principal problema es que genera problemas e irritaciones en el sistema respiratorio, además de ser el principal causante de la lluvia ácida.

También, se pueden generar óxidos de nitrógeno (**NxOy**), los cuales son compuestos inorgánicos de la combustión a altas temperaturas (superiores a los 1000 °C) y a una baja cantidad de oxígeno.

Éstos traen problemas al medio ambiente, por ejemplo, el dióxido de nitrógeno (**NO₂**) es uno de los gases responsables de la lluvia ácida, ya que al disolverse en agua origina ácido nítrico, además de ser un gas tóxico e irritante. Este gas está altamente regulado por diversos estándares.

Efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno mediante el cual determinados gases, que forman parte de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite al haber sido calentado por la radiación solar.

La problemática de este fenómeno parte de que la energía solar que recibe constantemente la Tierra no puede volver de manera inmediata al espacio, produciendo a escala mundial un efecto similar al observado en un invernadero.

Los principales gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera son:

- El vapor de agua (**H₂O**)
- Dióxido de carbono (**CO₂**)
- Óxido nitroso (**N₂O**)
- Metano (**CH₄**)
- Ozono (**O₃**)

Para luchar en contra del cambio climático se firmó el Protocolo de Kioto, en el cual se establece un calendario de reducción de gases de efecto invernadero, en función de las emitidas por cada país. Aunque son diversos gases lo que ocasionan este efecto, el dióxido de carbono es determinante porque representa

aproximadamente el 80% del total de estos gases. De acuerdo con la Agencia Europea de Medio Ambiente, el sector energético es responsable del 80% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en la Unión Europea, esto, principalmente, debido al protagonismo que tienen los combustibles fósiles dentro de este sector.

Contaminación atmosférica

En la Ciudad de México se emiten, anualmente, alrededor de 4 500,000 toneladas de contaminantes a la atmosfera, lo que implica una generación de problemas a la población que van desde el incremento de enfermedades (principalmente respiratorias), hasta la formación de lluvia ácida, además de la contaminación de compuestos perjudiciales para la capa de ozono y compuestos que generan el efecto invernadero.

La calidad del aire se establece con base en los contaminantes que se encuentran en mayor frecuencia y en mayores concentraciones, estos estudios de calidad, generalmente, se realizan en las grandes ciudades y en las industrias.

Existen diversos tipos de contaminantes atmosféricos, los cuales se pueden clasificar acorde a la tabla 4.1.

Clase	Subclase	Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Gases y vapores inorgánicos	Compuestos de azufre	SO₂, H₂S	SO₃, H₂SO₄
	Compuestos de nitrógeno	NO, NH₃	NO₂, HNO₃
	Óxidos de carbono	CO, CO₂	
	Otros	HCl, HF, Cl₂, F, H₂	O₃
Gases y vapores orgánicos	Hidrocarburos	Metano, Butano, Benceno, Fenoles, Butadieno, entre otros.	Aldehídos, cetonas, ácidos o alcoholes
	Aldehídos y cetonas	Formaldehído, acetona, alcoholes, hidrocarburos clorados, ácidos orgánicos, entre otros.	
Partículas	Partículas sólidas	Humo, plomo, polvo, cenizas, carbón, asbesto.	
	Partículas líquidas	Aerosoles, grasas, niebla.	

Tabla 4.1 Contaminantes atmosféricos

La tabla 4.1, muestra que los contaminantes primarios son aquellos que proceden directamente de su fuente de emisión y los secundarios se generan por reacciones entre los componentes primarios y las sustancias presentes en la atmósfera.

Dentro de los procesos industriales se debe buscar que no se generen gases contaminantes y, en caso de que se generen, se debe buscar controlarlos y transformarlos en componentes menos dañinos.

A raíz de la contaminación que involucra la combustión de fósiles, se recomienda obtener la energía eléctrica necesaria para el proceso mediante fuentes de energía alterna. Pero en caso de que no se pueda implementar otro tipo de energía menos contaminante, se debe de optar por controlar las emisiones de gases contaminantes.

Existen varias maneras en las que se pueden controlar los gases contaminantes generados en la industria, entre las principales se encuentran:

- Por absorción de los contaminantes por un líquido.
- Absorción de los contaminantes en una superficie sólida.
- Condensación.
- Transformación química.
- Incineración.

La elección del método depende del tipo de contaminante que se deseé eliminar, la concentración de este contaminante, la eficiencia del tratamiento y de las características del lugar.

Por otra parte, los clorofluorocarbonos son compuestos utilizados para los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado, estos compuestos también son utilizados en los aerosoles, en componentes electrónicos y mecánicos. Su inconveniencia radica en que cuando llegan a la troposfera se rompe el enlace que los estabiliza por el efecto de la radiación ultravioleta, lo que genera que reaccionen con el ozono, provocando su eliminación. Estas son las razones por las que se debe evitar el uso de estos compuestos.

Una alternativa para los clorofluorocarbonos es la implementación de hidroclorofluorocarburos (HCFC) y los hidrofluorocarburos (HFC), debido a que presentan una baja reactividad, además de que sus propiedades les confieren cualidades para poder ser utilizados en los ciclos de refrigeración.

Aunque el ozono (O_3), se encuentra en la capa de ozono y nos protege de los efectos producidos por la radiación solar, si éste se encuentra en la troposfera resulta dañino para los seres vivos y, por lo tanto, es un contaminante atmosférico. En la troposfera es producido como resultado de reacciones entre los óxidos de nitrógeno, emitidos por los automóviles y por la industria, con vapores orgánicos volátiles, procedentes tanto de la industria (gasolina, disolventes y otros) como de la vegetación natural, siendo un contaminante secundario.

En México, los procesos industriales y la combustión industrial generan una cantidad considerable de contaminantes atmosféricos. Sin embargo, hay otras actividades humanas que también intervienen, como los vehículos o el uso de solventes.

Fuentes de energía alternas

Existen distintas energías alternas, las cuales se muestran en la tabla 4.2. Para utilizar estas fuentes de energía alterna, se necesita realizar un estudio, con el fin de obtener un panorama sobre la afectación que resultaría hacia el medio ambiente y si es viable su uso.

Dentro de estas fuentes de energía alternas se puede incluir la energía nuclear. Sin embargo, es poco práctica para la industria manufacturera, y, aunque no

produce emisiones de gases contaminantes, no es tan conveniente porque genera residuos radioactivos que tardan muchos años en poder retirarse, además de necesitar de una gran cantidad de agua de enfriamiento dentro de este proceso y ser una fuente de energía no renovable.

<p>Fuentes de energía alternas</p>	
<p>Energía eólica</p> <p>La energía eólica es generada gracias a los vientos que se forman en la atmósfera terrestre. Ésta se basa en la utilización de turbinas eólicas, cuyo funcionamiento se da gracias al giro de aspas movidas por los vientos que permiten transformar esta energía en eléctrica.</p>	
<p>Energía geotérmica</p> <p>Las capas profundas, están a temperaturas elevadas y, a menudo, a esa profundidad hay capas freáticas en las que se calienta el agua: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones en la superficie, como los géiseres o las fuentes termales, utilizadas para baños desde la época de los romanos. Actualmente, el progreso en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo.</p>	
<p>Energía hidroeléctrica</p> <p>La energía hidroeléctrica es generada aprovechando la energía del agua en movimiento. La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable, y permite el movimiento de una turbina hidráulica la cual trasmite la energía mecánica a un alternador que la convierte en energía eléctrica.</p>	

<p>Fuentes de energía alternas</p>	
<p>Energía mareomotriz</p> <p>La energía mareomotriz se produce gracias al movimiento generado por las mareas, esta energía es aprovechada por turbinas, las cuales a su vez la transmiten a un alternador que genera energía eléctrica.</p>	
<p>Energía solar</p> <p>La energía solar es una fuente de energía renovable que proviene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad. Existen varias métodos para aprovechar los rayos del sol, lo que da lugar a los distintos tipos de energía solar: La fotovoltaica (que transforma los rayos en electricidad mediante el uso de paneles solares), la foto térmica (que aprovecha el calor a través de los colectores solares) y termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta).</p>	
<p>Biocombustibles</p> <p>Los biocombustibles son una mezcla de sustancias orgánicas que se utilizan como combustible en los motores de combustión interna. Estos provienen de especies de uso agrícola como el maíz o la caña de azúcar.</p>	

Tabla 4.2 Fuentes de energía alternas

Panorama global de las energías renovables

En el año 2012 la capacidad total instalada para la generación eléctrica con energías renovables alcanzo un total de 1470.7 GW, de los cuales el 67% fue aportado por energía hidráulica, el 19% por parques eólicos, como se muestra en la tabla 4.3.

Energía	Capacidad instalada (GW)	Crecimiento 2011-2012 en %
Hidráulica	990	3.1
Eólica	283	18.9
Biomasa	83	12.2
Solar fotovoltaica	100	40.8
Geotérmica	11.7	2.6
Solar de alta concentración	2.5	56.3
Mareomotriz	0.5	0
Total	1470.7	8.4

Tabla 4.3 Capacidad instalada de energías renovables

De esta capacidad instalada por energía renovable, los países aportaron las cifras mostradas en la figura 4.9.

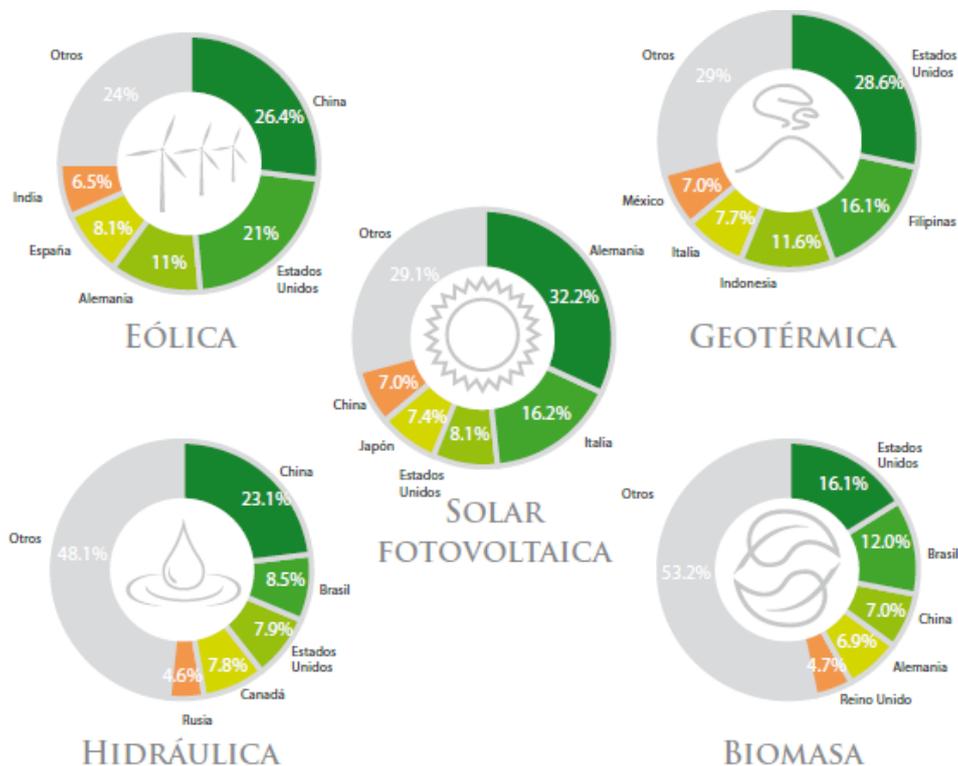


Figura 4.9 Implementación de las energías renovables en los países

Se puede observar que México, está dentro de las 5 naciones que le dan más provecho a la energía geotérmica. Sin embargo, debido a las condiciones

climáticas con las que cuenta el país, podría ser incluido dentro de otras más, pero no se han aprovechado apropiadamente. Los principales países que lideran la utilización de energías alternas son Estados Unidos, Alemania y China.

En México, de acuerdo con CFE (Comisión Federal de Electricidad), la capacidad instalada en el año 2012 con respecto a energías renovables y las que se encuentran en construcción, se muestran en la tabla 4.4.

Tipo de energía	Capacidad instalada en operación (MW)	Capacidad autorizada en construcción (MW)
Eólica	1,289	2,460
Geotérmica	823	0
Hidráulica	11,707	289
Solar	37	156
Biomasa	645	100
Total	14,501	3,006

Tabla 4.4 Capacidad instalada de energías renovables en México

La electricidad generada por las Energías renovables representó, aproximadamente, el 26% de la generación de energía eléctrica global del año 2012 (5640 GW).

De acuerdo con un artículo de CEGESTI, la manufactura fue responsable de, aproximadamente, el 35% del consumo eléctrico global en el año 2012, representando un consumo estimado de 1974 GW.

Es importante que las industrias manufactureras estén concientes de la cantidad de energía eléctrica que demanda el proceso y cómo se obtiene, con el objeto de que utilicen fuentes de energía que garanticen el suministro de energía adecuado para el proceso e impliquen un menor daño al medio ambiente.

Biocombustibles

Los biocombustibles son mezclas de hidrocarburos que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Estos derivan de la biomasa, la cual es materia orgánica originada en un proceso biológico, y puede ser utilizable como fuente de energía.

Se elaboran con materiales producidos por los seres vivos. Los compuestos que se utilizan como biocombustibles son alcoholes, éteres, ésteres y otros compuestos químicos generados a partir de los tejidos de plantas y animales.

Los biocombustibles convencionales como el etanol y el biodiesel proceden, generalmente, del maíz, la caña de azúcar, la remolacha, el trigo o semillas oleaginosas.

Las principales ventajas que implica la implementación de biocombustibles se enlistan a continuación:

- ✓ **Pueden ser mezclados en grandes cantidades con combustibles convencionales y pueden ser utilizados como tal.**
- ✓ **Reducen el porcentaje de emisiones de CO₂.** Debido a que las plantas van absorbiendo el CO₂ a medida que se van desarrollando, además de que emiten una cantidad de CO₂ similar a los combustibles convencionales.
- ✓ **Hay pocas fuentes de energía que provengan de un procesamiento diferente al de la energía fósil.** La clave está en disminuir la energía utilizada en la medida de lo posible, debido a que el petróleo es un recurso no renovable y su uso causa contaminación al medio ambiente, a diferencia de los biocombustibles que junto con las energías renovables representan una alternativa ecológica.
- ✓ **El biodiesel puede ser usado en cualquier motor de diésel cuando es mezclado con diésel mineral.** En algunos países, las compañías manufactureras construyen sus motores de diésel bajo la garantía de que puedan utilizar el B100. En muchos países Europeos, un 5% de la mezcla de biodiesel es ampliamente usada y está disponible en miles de estaciones de gas. Además, éste es un combustible oxigenado, es decir, que éste contiene una cantidad reducida de carbono y un contenido alto de hidrógeno y oxígeno más que el diésel fósil. Esto mejora la combustión del biodiesel y reduce las partículas de emisión del carbono no quemado.

Las desventajas que tiene la aplicación de biocombustibles son las siguientes:

- **Contaminación en la Producción:** Muchos estudios muestran que si bien, los biocombustibles no contaminan a la hora de ser quemados, hay indicaciones de que el proceso de crear este combustible es contaminante.
- **Precio de la Comida:** Se dice que la demanda de cultivos para la fabricación del combustible podría afectar los precios de los alimentos.
- **Uso de Agua:** Se necesitan grandes cantidades de agua para regar los campos para cultivar el producto necesario.

Para finalizar, resulta importante tener en cuenta las consideraciones mostradas en la figura 4.10.

Dentro de la industria manufacturera es importante analizar qué tipos de procesos se pueden utilizar para manufacturar el producto, verificar que este sea compatible con los materiales, para posteriormente seleccionar aquel que represente el menor costo posible para la empresa y el menor consumo de energía eléctrica.

Figura 4.10 Recomendación al seleccionar el proceso

4.7 Implementación de la manufactura verde

Dentro del proceso, los ingenieros de manufactura tienen que garantizar que los procedimientos y las plantas de producción sean amigables con el ambiente. También, que cumplan con una calidad adecuada y, además, sean seguras para los trabajadores, además de que sus condiciones de trabajo siempre sean óptimos para los estándares de la empresa y mantenga una filosofía encaminada a la reducción de la energía, el consumo de agua, desechos y emisiones.

Al igual que con las dos tendencias previas, pueden existir dificultades al instituir esta tendencia, entre ellas se encuentran las siguientes:

- La resistencia al cambio ante una nueva estrategia.
- El requerimiento de contar con una plantilla de trabajadores motivados, responsables y con la filosofía de generar un proceso más amigable con el medio ambiente, englobando todas las actividades en las que participen.
- La disponibilidad de trabajar en equipo para generar un producto de alta calidad que sea durable y que presente un ciclo de vida cerrado, apoyados en el diseño para la reutilización y el reciclaje.

Esta tendencia se ha visto aplicada en la industria textil, donde diversas empresas manufactureras textiles están rediseñando procesos y productos con el fin de reducir su impacto en el medio ambiente, y, adicionalmente, están reduciendo el uso de energía y reemplazando los combustibles fósiles con energías renovables y alternas cuando sea posible o práctico, además de reducir el uso de agua y el reemplazo de los procesos más tóxicos.²³

Por ejemplo, la empresa fabricante de alfombras Interface, tiene como meta el de reducir su impacto ambiental a cero para el año 2020, incluyendo el derivar todas sus energías al uso de recursos renovables. Planea lograrlo apoyándose en el mejoramiento de los procesos de manufactura para reducir el uso de energía, así como la modernización de los sistemas de calentamiento, ventilación, aire acondicionado y mejoras en la eficiencia de los sistemas de iluminación.

²³ http://www.textilespanamericanos.com/Ediciones/2010/Enero-Febrero/Articulos/Manufactura_Textil-El_Factor_De_La_Energía consultado por última vez el 17 de noviembre de 2014.

Interface ha disminuido el consumo de energía en sus procesos manufactureros en un 44%, y el uso de energía no renovable por unidad en un 60% desde 1996. Las fuentes de energía renovable tal como solar, hidroeléctrica, gas tipo LFG, y geotérmica, proveen ahora el 28% del total de las necesidades energéticas de la empresa. Siete de sus plantas de manufactura usan electricidad 100% renovable; y el 89% de su energía eléctrica total es de fuentes renovables, incluyendo energía recibida directamente de la red de energía. (Esta energía de la red la adquieren con certificados de energía renovable denominados RECs).

Otra empresa que también ha utilizado otras fuentes de energía es Victor Group, esta empresa de origen canadiense es fabricante de tejidos para la confección, de uso residencial y contra y utiliza la energía hidráulica como su principal fuente de energía, aportando aproximadamente el 91% de la energía usada en sus plantas

Además, compensa la porción de su uso interno de electricidad con energía proveniente de la red, bajo la condición de que ésta provenga de fuentes de energía alterna, al igual que Interface, y se encuentra invirtiendo en opciones de energía alterna local para usos futuros.

La manufactura verde, se puede complementar con la manufactura concurrente desde la etapa de diseño, considerando ambos aspectos de manera simultánea, al momento de definir los materiales, y el diseño que tendrá el producto, con los objetivos de que éste sea fácil de manufacturar, ensamblar, desensamblar, reciclar, reutilizar y que cumpla con los requerimientos del cliente.

Por otra parte, dentro de la manufactura verde, se busca disminuir la sobreproducción, que involucra materia prima que es extraída, procesada, y que no es vendida al cliente, generando una explotación de recursos naturales innecesaria, ocurriendo algo similar con los inventarios, lo cual se puede evitar con herramientas de la manufactura esbelta, como el sistema kanban, el sistema pull y la metodología justo a tiempo.

Además de que el exceso de movimientos, transportación y sobreproducción, requieren una mayor energía y recursos, los cuales se pueden ahorrar mediante una buena planeación, y, aplicando las herramientas de la manufactura esbelta como las 5S's y Heijunka.

Así mismo, es recomendable disminuir los desperdicios de materiales al mínimo, y reciclar los productos defectuosos, con la finalidad de que éstos puedan tener un ciclo de vida cerrado.

Conclusiones

1. La manufactura es una actividad muy importante a nivel mundial y mantiene un gran campo laboral para la Ingeniería Mecánica, de aquí la importancia de que los profesionistas de esta disciplina posean los conocimientos de las recientes tendencias de la manufactura, con la finalidad de que puedan sugerirlas y establecerlas en los procesos de manufactura, ya que esto generaría una mayor eficiencia para el proceso y una ventaja laboral para los ingenieros que conozcan estas tendencias.
2. La manufactura esbelta tiene una gran aplicación en la industria manufacturera ya que ha propiciado importantes resultados en la reducción de desperdicios y el aumento de la calidad de los procesos. Sin embargo, no debe ser implantada como una receta, sino como un compromiso de mejora por parte de los departamentos involucrados para generar un proceso más eficiente.
3. Los sistemas de mantenimiento son muy importantes en la aplicación de la Ingeniería Mecánica, ya que tienen como función principal la detección de posibles fallas y su atención inmediata.
4. El Ingeniero Mecánico puede aportar, de manera contundente, sus conocimientos en las áreas de diseño de productos y el proceso de manufactura, contribuyendo a la disminución de errores en la etapa de diseño de los productos y a mejorar los procesos de manufactura, generando productos de alta calidad.
5. Para poder plantear, analizar y solucionar los problemas y proyectos dentro del proceso de manufactura lo más recomendable es la metodología DMAMC (DMAIC), en la que se define el alcance del proyecto, cómo realizarlo, monitorearlo y hacer que la mejora sea permanente; todo con el fin de que el proceso pueda crecer y tener una mayor eficiencia, gracias a esta estrategia que facilita alcanzar los objetivos.
6. Aunque en este trabajo se explicaron los procesos desde el punto de vista del diseño para la manufactura aplicada a la ingeniería concurrente y la manufactura verde, resulta indispensable considerar los distintos tipos de diseño que involucra la ingeniería concurrente, con la finalidad de generar un diseño de excelencia.

7. Es indispensable que el ingeniero mecánico maneje las distintas herramientas de apoyo al momento de diseñar los productos, tales como el CAD, el CAM y el CAE, con la finalidad de que pueda generar un diseño preciso y tenga una visualización de cómo se comportaría el producto desde una etapa inicial, para posteriormente, poder corroborar lo obtenido mediante la elaboración de prototipos y que, finalmente, se pueda proceder a producirlo.
8. La manufactura verde formula la generación de procesos en los cuales se evite contaminar en la medida de lo posible al medio ambiente, ya sea al agua, al suelo o al aire, debido a que esto ocasiona problemas hacia los ecosistemas y al ser humano.
9. Se puede concluir que, existen diversas fuentes de energías alternas. Sin embargo, se debe realizar un estudio ambiental con el fin de que se contemple el posible daño a los ecosistemas al usarlas. Aunque las fuentes de energías alternas puedan representar un daño a los ecosistemas, se pueden encontrar soluciones para las problemáticas que puedan presentar. Por ejemplo, la energía hidráulica es una de las más limpias y eficientes que existen, sin embargo ésta ocasiona problemas a los peces que tienen que migrar a otras partes. Para solucionar esto, se han diseñado dispositivos que les permiten continuar con sus trayectorias, tales como las escaleras para peces.
10. Se logró cumplir con los objetivos de este trabajo, ya que se presentaron las tendencias actuales de la manufactura, así como las herramientas y recomendaciones para facilitar su adecuada implementación en los procesos de manufactura, con la finalidad de que los profesionistas que consulten este trabajo puedan encontrar herramientas que les sean útiles para mejorar los procesos de manufactura.
11. Se consultaron diversas fuentes bibliográficas con la finalidad de tratar de generar un panorama general, pero no superficial de las tendencias de manufactura y el cómo se pueden implementar en los procesos de manufactura. Éstas quedan a disposición del lector en la sección de referencias bibliográficas, y se encuentran separadas por capítulos.

Referencias bibliográficas por capítulo

Capítulo 1, introducción a la manufactura

Kalpakjan, Seropa, & Shmid Steven R., M. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Estado de México, México: Pearson Education.

Groover, Mikell P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice-Hall.

Referencias electrónicas del capítulo 1

<http://www.inegi.org.mx> consultado por última vez el 16 de noviembre de 2014.

<http://www.edutecne.utn.edu.ar/5s/> consultado por última vez el 12 de septiembre de 2014.

<http://datos.bancomundial.org/indicador/NV.IND.TOTL.ZS> consultado por última vez el 17 de noviembre de 2014.

Capítulo 2, manufactura esbelta

Gutiérrez Pulido, & H. De la Vara Salazar. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. Distrito Federal, México: Prentice-Hall.

Galindo Cota, E. & Villaseñor Contreras, A. (2007). Conceptos y reglas de lean manufacturing. Distrito Federal, México: Limusa.

Monden, Yasuhiro. (2008). El sistema de producción de Toyota. Madrid, España: Editorial Ciencias de la dirección S.A. Tercera edición.

Rajadell Carreras, F. & Sánchez García, J. (2010). Lean manufacturing. Madrid, España: Díaz de Santos.

Steve, Novak. (2006). The Small Manufacturer´s. Nueva York, Estados Unidos: Auerbach Publications.

Gutiérrez Garza, G. (1994). Justo a tiempo y calidad total. Monterrey, México: Castillo. Segunda edición.

Ishikawa, Kaoru. (1986). ¿Qué es el control total de calidad?, la modalidad japonesa. Colombia: Norma.

O´Grady, P. J. (1992). Just in time, una estrategia fundamental para los jefes de producción. Distrito Federal, México: Mc Graw-Hill.

O. Duffuaa, S., A. Raouf, & Dixon Campbell, J. (2000). Sistemas de mantenimiento, planeación y control. Distrito Federal, México: Limusa.

Swärd, Knut. (1972). Mantenimiento de las máquinas y herramientas. Barcelona, España: Blume.

Morrow, L. C. (1973). Manual de mantenimiento industrial, Tomo 1. Distrito Federal, México: Mc Graw-Hill.

Capítulo 3, manufactura concurrente

Barba Ibáñez, Enric. (2001). Ingeniería concurrente, guía para su implementación en una empresa. Barcelona, España: Gestión 2000.

Barba Ibáñez, Enric. (2005). Innovación de productos mediante ingeniería concurrente. Barcelona, España: Gestión 2000.

Aguayo González, F., & Solvero Sánchez, V. (2003). Metodología de diseño industrial, un enfoque desde la ingeniería concurrente. Distrito Federal, México: Alfa Omega.

Capuz Rizo, Salvador. (2001). Introducción al proyecto de producción, ingeniería concurrente para el diseño de producto. Distrito Federal, México: Alfa Omega.

Clausing, D. P. (1994). Total quality development, a step by step guide to world class concurrent engineering. Nueva York, Estados Unidos: Asme Press.

Boothroyd, G. (2011). Product design for manufacture and assembly. Nueva York, Estados Unidos: CRC Press. Tercera edición.

Edward, Magrab. (1997). Integrated product and process design and development. Estados Unidos: CRC Press.

Mcmahon, C., & Browne, J. (1993). CAD/CAM, from principles to practice. United Kingdom: Addison-Wesley Publishing Company.

Riba Romeva, C. (2002). Diseño concurrente. Barcelona, España: Ediciones UPC.

Referencias electrónicas

<http://www.plm.automation.siemens.com/> consultado por última vez el 12 de noviembre de 2014.

Capítulo 4, manufactura verde

Kutz, Myer. (2007). Environmentally Conscious Manufacturing. Nueva Jersey, Estados Unidos: John Willy & Sons, Inc.

Edward, Magrab. (1997). Integrated product and process design and development. Estados Unidos: CRC Press.

Graedel, T. E. (1996). Design for the environment. Estados Unidos: Prentice-Hall.

Giudice, F. (1996). Product design for the environment. Estados Unidos: Prentice-Hall.

Edward B. Magrab, (1997). Integrated product and process design and development. Editorial CRC Press.

T. E. Graedel (1996). Design for environment. Editorial Prentice Hall.

Fabio Giudice (2006). Product Design for the environment. Editorial Taylor & Francis group, CRC Press.

Spellman, F., & Bieber, R. (2011). The science of renewable energy. Estados Unidos: CRC Press.

Hundal, Mahendra S. (2002). Mechanical life cycle handbook, good environmental design and manufacturing. Nueva York, Estados Unidos: Marcel Dekker.

Wilson, Richard. (2008). Energy, Environment and Climate. Estados Unidos: W. W. Norton & Company.

Referencias electrónicas del capítulo 4

<http://www.generationawake.eu/es/hacer-mas-verde-la-economia-de-la-ue/que-es-la-economia-verde/> consultado por última vez el 2 de noviembre de 2014.

<http://www.semarnat.gob.mx> consultado por última vez el 8 de noviembre de 2014.

<http://solo-eolica.blogspot.mx/2009/10/ruidos.html> consultado por última vez el 10 de noviembre de 2014.

http://www.pnuma.org/eficienciarecursos/documentos/GER_synthesis_sp.pdf consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.

http://www.elmundo.es/especiales/2008/04/internacional/crisis_alimentos/bioco_mbustibles.html consultado por última vez el 14 de noviembre de 2014.

<http://www.economia.gob.mx> consultado por última vez el 25 de noviembre de 2014.

http://www.reciclezonafranca.com/media/4500/diss_reci_16_es.pdf consultado por última vez el 14 de noviembre de 2014.

<http://www.altonivel.com.mx/tecnologia-verde-en-que-consiste.html> consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.

<http://www.manufactura.mx/industria/2011/06/27/la-tecnologa-verde-hoy> consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.

<http://www.aguas.org.mx> consultado por última vez el 2 de noviembre de 2014.

<http://seminariosustentabilidad.files.wordpress.com/2011/10/notas-sesion-3-manufactura-verde-2011.pdf> consultado por última vez el 10 de noviembre de 2014.

http://www.textilespanamericanos.com/Ediciones/2010/Enero-Febrero/Articulos/Manufactura_Textil-El_Factor_De_La_Energía consultado por última vez el 17 de noviembre de 2014.

<http://www.cyd.conacyt.gob.mx/215/Articulos/Cromado/Cromado2.html> consultado por última vez el 18 de noviembre de 2014.

http://www.ambientum.com/revista/2001_18/2001_18_ATMOSFERA/LMRCRC ML1.htm consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.

<http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx> consultado por última vez el 20 de noviembre de 2014.