



**UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

TÍTULO DE LA TESIS:

**MANUAL DE APOYO PARA LA CAPACITACIÓN EN
LEAN MANUFACTURING**

PRESENTA

ALEJANDRO PEÑAFLOR ZURITA

ASESORA DE TESIS

M. EN I. SILVINA HERNÁNDEZ GARCÍA

AGRADECIMIENTO:

“Por sus cuidados, consejos, experiencias comunes, lecciones de vida y por procurar una formación integral – comprendida por conocimientos, valores y actitudes que hoy forman la persona que soy- agradezco a mis PADRES, FAMILIA y mis MEJORES AMIGOS”.

Índice Temático:

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Algunos Resultados Logrados
- 1.2. Lean Manufacturing, nuestro objeto de estudio
- 1.3. Objetivo y Alcance de la Tesis
- 1.4. El origen de Lean Manufacturing o Producción Esbelta
- 1.5. La evolución de los sistemas de productivos en la industria automotriz.
- 1.6. Metodología para diferentes procesos y giros de empresa.
- 1.7. Motivos e intereses en el Sistema Productivo.

2. PRINCIPIOS LEAN

- 2.1. Definir el Valor para el Cliente
 - 2.1.1. Definición
 - 2.1.2. Oposición entre lo que desea el Cliente y la Organización.
- 2.2. Identificar el flujo de valor.
 - 2.2.1. Definición
 - 2.2.2. Mapa del flujo de valor (VSM)
- 2.3. Hacer que el valor fluya en la cadena de valor.
 - 2.3.1. Definición
 - 2.3.2. Eliminación de actividades innecesarias
- 2.4. Jalar desde el consumidor final.
 - 2.4.1. Definición
 - 2.4.2. Herramientas útiles para los sistemas “Jalar”
- 2.5. Aspirar a la excelencia.
 - 2.5.1. Definición.
 - 2.5.2. El papel de los líderes y los círculos de calidad

3. LOS 7 DESPERDICIOS MÁS 2

- 3.1. Sobreproducción
- 3.2. Tiempos de espera
- 3.3. Transporte
- 3.4. Procesamiento incorrecto
- 3.5. Inventarios
- 3.6. Movimientos innecesarios
- 3.7. Defectos
- 3.8. No usar la creatividad de los empleados
- 3.9. Inspecciones

4. HERRAMIENTAS LEAN

4.1. Flujo de una sola pieza

- 4.1.1. Definición general
- 4.1.2. Flujos en Bache y Flujos pieza a pieza.
- 4.1.3. Situaciones que deben eliminarse para el Flujo pieza a pieza
- 4.1.4. Conceptos Importantes en el Flujo de una Pieza

4.2. Kanban

- 4.2.1. Definición
- 4.2.2. Sistema de Tarjetas Duales
- 4.2.3. Kanban, ventajas y consideraciones
- 4.2.4. Cálculo de Kanbans
- 4.2.5. Kanban Triangular (Signal Kanban)
 - 4.2.5.1. Cálculo de Kanbans Triangulares
- 4.2.6. Kanban de proveedor (Delivery Kanban)
 - 4.2.6.1. Cálculo de Kanbans de Proveedor

4.3.SMED

4.3.1. Definición

4.3.2. Estrategias para afrontar los cambios de proceso

4.3.3. División del Tiempo en los cambios de Herramientas

4.3.4. El procedimiento SMED

4.3.5. Ejemplos

5. ANEXO (herramientas complementarias)

5.1. Control Visual

5.2. Las 5's

5.3. Nivelación de la Producción (Leveling-Off)

5.3.1. Procedimiento para nivelar la producción

5.4. Operaciones Estándar

5.4.1. Procedimiento para diseñar una operación estándar

5.5. Poka-Yoke

5.5.1. Análisis de los sistemas de Inspección

5.5.2. El Poka-Yoke y sus ventajas

5.5.3. Ejemplos

6. GLOSARIO

7. CONCLUSIONES

8. BIBLIOGRAFÍA

9. REFERENCIAS DE IMÁGENES TOMADAS DE OTRAS FUENTES

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN:

Desde los años setentas la metodología de trabajo llamada Lean Manufacturing, ha acaparado las miradas de las organizaciones. Lo anterior debido principalmente a los resultados que ha obtenido la empresa Toyota, quien fue la que inicialmente difundió el estudio del trabajo desde una perspectiva de sistema.

1.1 Algunos Resultados Logrados

Para ilustrar la importancia de la ventaja competitiva que puede otorgar una metodología como Lean Manufacturing cabe mencionar algunos de los resultados a gran escala que ha obtenido la empresa Toyota, por ser la más conocida:

- 1.1. Durante la crisis del petróleo en Japón en los años 70's mientras la mayoría de las empresas japonesas se ubicaron en una situación crítica de banca rota, Toyota increíblemente a los ojos del mundo, se mantuvo competitiva y obteniendo resultados positivos.
- 1.2. Las utilidades de Toyota al cerrar el año fiscal, en 2003, eran mayores que las de las "3 grandes" automotrices de Estados Unidos juntas (Ford, Chrysler, GM).
- 1.3. Toyota tiene el sistema más veloz de desarrollo del producto a nivel mundial [Liker,2003] al tener un tiempo de 1 año respecto al promedio de 2 a 3 años que lleva a las demás empresas.
- 1.4. En 2003 Toyota tuvo devoluciones un 79% menores respecto a Ford y 92% menor que Chrysler [Liker 2003].

Este enfoque que ha desarrollado la empresa Toyota podría ser resumido en dos puntos básicos: *Mejora Continua y Respeto a las personas*.¹

1.2 Lean Manufacturing, nuestro objeto de estudio.

En los artículos, textos y tesis consultadas se pueden encontrar las siguientes definiciones:

¹ Liker J. "The Toyota Way" . Mc-Graw Hill , 2004, Foreword.

“Lean manufacturing es un proceso de cinco pasos: Definir el valor para el cliente, identificar el flujo de valor, hacer que el valor “fluya” en la cadena de valor, jalar desde el consumidor final y aspirar a la excelencia”²

“El sistema de producción Lean es un sistema de negocios que sirve para organizar y administrar el desarrollo, la operación, proveedores y relaciones con los clientes de los productos. Este sistema requiere menos esfuerzo de la gente, menos espacio, menos capital y menos tiempo para hacer productos con menos defectos.”³

“Manufactura esbelta (Lean Manufacturing) son varias herramientas que le ayudará a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicios y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere.”⁴

Definiciones que aunque tienen similitudes difieren al considerar a Lean Manufacturing (de aquí en adelante referido indistintamente como Lean) a veces como estrategia de negocios, otras veces como un proceso de actuación para la mejora y otras veces como un conjunto de herramientas para producir con menos recursos.

Por esas diferencias y por los conocimientos adquiridos, para tratar de unificar un concepto sobre lo que es Lean Manufacturing me permito dar la siguiente definición:

LEAN MANUFACTURING, es una metodología que establece principios, técnicas y herramientas aplicables a los procesos de producción de las Organizaciones. Estos principios son: Definir el valor para el cliente, identificar el flujo de valor, hacer que el valor “fluya” en la cadena de valor, jalar desde el consumidor final y aspirar a la excelencia y son estos principios los que originan la implantación de herramientas y técnicas como: Kanban, Andon, Nivelación de la producción, Mantenimiento Preventivo Total entre otras.

² *Ibidem*

³ Villaseñor A. y Galindo E. “Conceptos y reglas de Lean Manufacturing”. Limusa, México, 2007.

⁴ Tesis de Raúl Colin Cruz, “El proceso de la mejora continua en la empresa”

Así definido, se diferencia de lo que es el Sistema de Producción Toyota (TPS) que es la forma particular en que Toyota integra a sus recursos (humanos, financieros, productivos, etc.) para llevar a cabo su producción.

1.3 Objetivo de la Tesis

1.3.1 Objetivo

Elaborar un manual de Lean Manufacturing que ayude a la capacitación del área de Operaciones de las Organizaciones para lograr la mejora continua de diferentes procesos.

1.3.2 Alcance

Esta tesis pretende ser un apoyo para la capacitación del personal con un ligero conocimiento previo en el estudio de las operaciones, de forma que puedan comprender y usar las herramientas y técnicas de la metodología Lean. Sin embargo en una situación real habrá factores culturales, personales, de liderazgo de las personas y de limitaciones de recursos que deberán de ser considerados al momento de implementar la metodología Lean y que no son abordados con profundidad en esta tesis.

1.4 El origen de Lean Manufacturing o Producción Esbelta

La metodología Lean debe su nombre a James P. Womack y sus colaboradores, quienes en el estudio elaborado en la década de los 80's y registrado en su libro "The Machine that changed the World" acuñaron inicialmente el término para diferenciar la forma en que algunas empresas japonesas se organizaban para producir, en vez del enfoque que tenían la mayor parte de las industrias de E.U. y Europa, conocido como producción en masa.

Esta metodología nació aproximadamente en 1950, cuando Eiji Toyoda – sobrino del fundador de Toyota, Kiichiro- visitó la planta Rouge de la automotriz Ford. Esta visita sirvió a Toyota para convencerse que si quería crear una industria automotriz sólida en Japón, debería tener otro enfoque⁵, más allá de la producción en masa que permitiera competir en una situación que presentaba:

- a. Un mercado pequeño (a comparación de la demanda del mercado americano y otros países) que demandaba diversos tipos de vehículos – para trabajar granjas, autos de lujo para el gobierno,

⁵ Womack J. et al., "La máquina que cambió al mundo". McGraw-Hill de Management, Traducción 1993.

autos económicos para el ciudadano en general, camiones grandes para transportar mercancías, etc.

- b. Restricciones laborales que favorecían a los sindicatos como una forma de defender el empleo en la posguerra. Donde uno de los logros del sindicato fue el empleo vitalicio.
- c. Falta de capital en el país, lo que impedía a Japón efectuar compras masivas y de alta tecnología.
- d. Las empresas automotrices de otros países presionaban para entrar a Japón y contrarrestar de esta forma las exportaciones japonesas.

Es de esta situación que nace el Sistema de Producción Toyota, (mencionado en adelante como TPS) sistema que busca el mejor aprovechamiento de todos los recursos de la empresa a través de técnicas de estudio del trabajo desarrolladas en años anteriores, técnicas desarrolladas por Toyota, la filosofía de mejora continua, la gestión del personal y los proveedores así como formas distintas a las acostumbradas de organizar los equipos de trabajo en todos los niveles.

Años después, tras un estudio de comparación entre las operaciones llevadas a cabo por empresas automotrices japonesas contra el resto de las automotrices del mundo, Womack llegaría a la conclusión de que el Sistema de Producción de Toyota y el de las automotrices japonesas similares al Sistema Toyota, tenían mayor posibilidad de competir en un mercado global, donde se requería un mayor enfoque al Cliente que es por donde comienza la comprensión de la metodología Lean, por lo que si se deseaba competir contra ellas, habría que mejorar la forma en que operaban las empresas tradicionalmente conocidas como de producción en masa. Esa mejora vendría dada a partir de la adopción de las técnicas y principios de la metodología seguida por Toyota y es a esta metodología a la que actualmente llamamos Lean Manufacturing.

Sin embargo hay que hacer énfasis en que la falla en la implantación de esta metodología por las organizaciones que deseen aplicarla, se debe a que buscan utilizar herramientas como Kanban, eventos Kaizen y 5's sin prestar atención a otros elementos del sistema productivo, elementos que sí integran compañías como Toyota y que intentaré mencionar al momento de describir las herramientas de Lean.

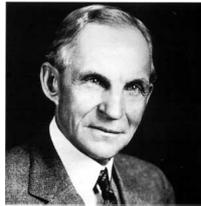
1.5 La evolución de los sistemas productivos en la industria automotriz.

A manera de resumen presento un diagrama que muestra cambios en los modelos productivos de la industria automotriz, para ejemplificar algunas características de cada sistema de producción. Esto ayudará a entender de forma rápida los principios y técnicas que sustentan cada modelo de producción y posteriormente al abordar con mayor detalle a la metodología Lean, se pueda entender la mejora que representa adoptar esta metodología. Posteriormente muestro a los modelos productivos primeramente desde la perspectiva del Cliente, elemento que con sus necesidades da origen a los sistemas productivos y posteriormente señalo características del trabajo en cada modelo.

1890's total predominio de la producción artesanal.



1908 Nace la producción en masa con la aparición de la cadena de montaje y la utilización de piezas intercambiables por Ford.



1920 Ford retiene la mayor producción a nivel mundial de automóviles, consolidando la idea de economías de escala. Sin embargo produce pocos modelos.



1930 General Motors - a través del modelo de adquisición de empresas para diversificar la producción de Alfred Sloan- lidera el mercado. Sigue el predominio de la producción en masa.



1950 Taichi Ohno crea el modelo de producción Lean. Otras compañías japonesas toman el mismo modelo.



1980 Comienza la competencia entre automotrices estadounidenses y japonesas dejando ver importantes ventajas del modelo Lean como: Costos, Calidad y Tiempos de producción.



1982 Proyecto de riesgo compartido, NUMMI, entre GM y Toyota donde GM aprende algunas de las prácticas de producción de Toyota.



1990 Comienza a difundirse la práctica de la producción Lean entre las compañías automotrices.



2009 Toyota supera las ventas totales a nivel mundial de General Motors.



Figura 1 Evolución de los Sistemas Productivos en la Industria automotriz

✍ Producción Artesanal (PA)

Responde de forma **personalizada** a las preferencias de cada Cliente. **Largos tiempos de respuesta** para atender una orden. En parte por los bajos volúmenes de producción. **Poca uniformidad** de los productos aunque partan del mismo diseño. Los **precios** son elevados.

✍ Producción en masa (PM)

Responde a la necesidad de **reducir los costos de la PA** a través de economías de escala. **Mejoran los tiempos de respuesta** de los Clientes por el incremento en los volúmenes de producción. Productos con **mayor uniformidad aunque la calidad pudo haber decrecido** respecto a PA. Hay **poca variedad** de productos, se promueve poco la investigación de nuevos productos.

✍ Producción Lean (PL)

Busca **reducir constantemente actividades que no ayuden a lograr la satisfacción del Cliente** y por tanto de los costos. **Mejoran los tiempos de respuesta** respecto a PM. Productos que logran estándares de calidad y **se mejora la calidad** de los productos. Mayor **adaptación a las demandas** diversas de los consumidores respecto a PM y **mayor rapidez en el desarrollo de nuevos productos**.

CLIENTES

✍ Producción Artesanal (PA)

Uso de **herramientas** manuales en prácticamente todas las actividades. El **trabajo es realizado por especialistas** artesanos que conocen a fondo su oficio. **Productos** que no logran estándares de calidad. La **organización del trabajo** depende de un jefe artesano que coordina el esfuerzo de todos los involucrados: Suministros, clientes, trabajadores y patrones. **Disposición del taller** sin un orden. Manejo constante de materiales.

✍ Producción en masa (PM)

Uso de **maquinaria** poco flexible y de gran tamaño. El **trabajo es repetitivo pero sencillo**. **Productos** que logran estándares de calidad. La **organización del trabajo** depende de un supervisor que conoce poco del proceso. Gran división del trabajo. **Disposición del taller** mejora sin embargo el **tamaño de las fábricas se incrementa** notablemente. Actividades del proceso trabajan habitualmente a **diferentes ritmos** generando importantes volúmenes de WIP.

✍ Producción Lean (PL)

Maquinaria flexible y de menor **tamaño** respecto a PM. El **trabajo es desafiante** y requiere del trabajo **en equipo** para mejorarlo. **Productos** que logran estándares de calidad. La **organización del trabajo** depende de un supervisor que con el tiempo adquirió los conocimientos del proceso, **instruye** a los nuevos y **coordina** esfuerzos. **Disposición del taller** mejora y el tamaño de fábrica se reduce. Hay **menor manejo de materiales**. Introduce el flujo de una sola pieza.

EL TRABAJO

Figura 2 Características de los sistemas productivos desde 2 puntos de vista

1.6 Metodología para diferentes procesos y giros de empresa.

Esta metodología, ha sido aplicada en diferentes empresas para diferentes tipos de actividades. Desde procesos para el desarrollo de nuevos productos y organización de cadenas de suministro, hasta procesos de manufactura y préstamos financieros. Es debido a esta versatilidad que tiene esta metodología para el análisis y mejora de procesos que considero importante llevar a cabo un análisis de los principios y herramientas que utiliza la misma metodología para posteriormente explicarlas en un manual que sirva para la capacitación de personas con un conocimiento básico del área de operaciones y promover con ello el uso de estas herramientas para mejorar la competitividad de las organizaciones.

1.7 Motivos e intereses en el Sistema Productivo.

Los sistemas productivos como se observa en Evolución de los sistemas productivos en la industria automotriz (Ver apartado 1.5), han tenido claramente dos partes interesadas y con motivaciones que suelen oponerse. Por un lado están las necesidades de las personas (comúnmente clientes) que requieren ser satisfechas, estas necesidades pueden reducirse a: Calidad, diversidad, precio, tiempo de entrega y cantidad suficiente. Por otro lado están los intereses de quien trabaja para satisfacer estas necesidades entre los que se encuentra generalmente obtener más utilidades.

Como se ve en el diagrama anterior, con la producción artesanal se lograba satisfacer necesidades de los clientes principalmente la diversidad de productos y la calidad, pero claramente se dejaba de lado el precio, los tiempos de entrega y la cantidad requerida. Además, la producción artesana, no solía generar utilidades suficientes ya sea por los métodos de trabajo o también por las pocas unidades producidas y vendidas.

Posteriormente con la producción en masa, se lograron mejores tiempos de entrega, aumentar la cantidad de artículos producidos, (hasta el grado de sobrepasar la demanda ocasionalmente) se redujeron los precios, sin embargo la diversidad de productos y la calidad se redujeron de forma importante y que se reflejó de forma importante cuando empresas competidoras comenzaron a adoptar la producción ajustada (entiéndase como metodología Lean).

Lo que ha logrado Lean con sus principios, técnicas y herramientas de producción es lograr un mayor balance entre las necesidades de los Clientes y las necesidades de los trabajadores del Sistema Productivo (Inversionistas, profesionistas y trabajadores de piso) a través de la siguiente afirmación:

Eliminar toda actividad que no agregue valor para el Cliente a fin de reducir los costos del bien o servicio y con ello incrementar las utilidades y reducir el esfuerzo necesario para realizar el trabajo.

Es esta última afirmación la que nos lleva a estudiar primeramente los principios de la metodología Lean así como las actividades que no agregan valor al producto, mejor conocidas como **desperdicios (muda en japonés)** dentro de la metodología Lean.

Capítulo 2 PRINCIPIOS LEAN

Como se ha mencionado en la introducción, la metodología Lean establece una serie de principios que tienen por objetivo hacer uso correcto de los recursos de las Organizaciones para, encaminar sus procesos hacia la creación de valor para el Cliente y eliminar actividades que sólo incrementan el costo de los productos innecesariamente (desperdicios o muda). Tener presentes estos principios al momento de aplicar las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing será de crucial importancia para no caer en los errores comunes de algunas Organizaciones al intentar introducir esta metodología a sus sistemas productivos. Los principios Lean son¹:

- a) Definir el Valor para el Cliente
- b) Identificar el Flujo de Valor
- c) Hacer que el Valor Fluya en la Cadena de Valor
- d) Jalar desde el consumidor final
- e) Aspirar a la Excelencia

2.1 Definir el Valor para el Cliente

2.1.1 Definición

En Lean Manufacturing, el concepto de Valor puede definirse como dar al Cliente justo lo que requiere.

Este principio es el punto de partida de Lean. El valor puede ser solamente definido por el Cliente final y tiene sentido únicamente cuando se expresa en términos de un producto/servicio específico. El valor es creado por el Productor quien desde el punto de vista del Cliente, es la razón de que exista el primero².

2.1.2 Oposición entre lo que desea el Cliente y la Organización

No dar al Cliente justo lo que requiere puede crear disgusto por parte del Cliente o bien encarecer el producto innecesariamente y dejar al producto fuera de competencia. Como se verá en el siguiente principio, en general la mayoría de los procesos enfocan poco sus acciones de mejora a eliminar las actividades que “No añaden Valor al Cliente” y normalmente se enfocan a mejorar las que “Añaden valor”.

¹ Womack J. et al. “Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation”, Simon & Schuster, 1996.

² Ibidem pp. 16

El error común al pretender definir el valor por las Organizaciones es que suelen definirlo desde su perspectiva y no desde la perspectiva del Cliente. Perspectivas que suelen diferir de forma importante y se ilustran en la siguiente imagen.

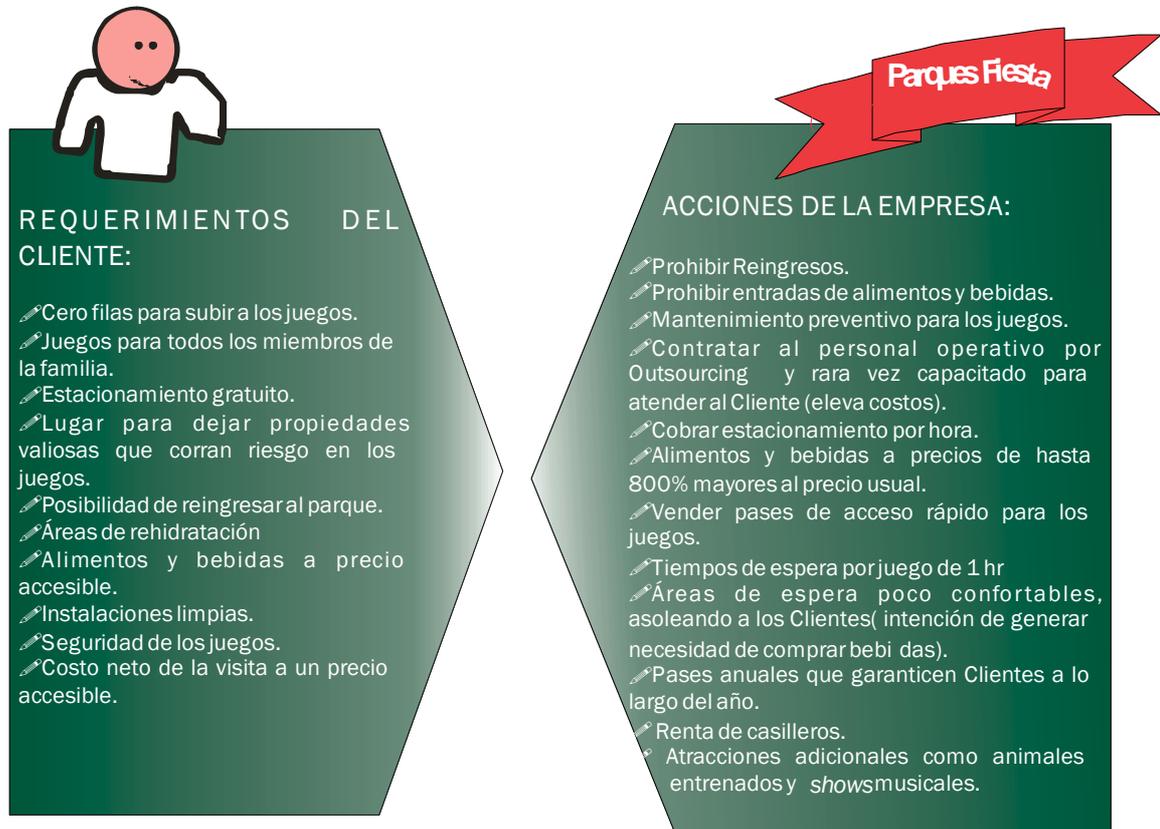


Figura 3 Requerimientos del Cliente vs Acciones de la empresa

El valor debe ser definido para una situación en particular, en este caso se toma de ejemplo los requerimientos de un Cliente de un parque de diversiones que acude con su automóvil.

1. Requerimientos del Cliente en un Parque de Diversiones y las acciones de la Empresa

Como se ve en la ilustración muchas de las acciones realizadas por el Parque se oponen a los requerimientos del Cliente. Desafortunadamente, creyendo que la Empresa tiene poco que hacer para satisfacer los requerimientos de su Cliente, se hace poco por mejorar su experiencia, pensando que de hacerlo las ganancias del Parque se verán afectadas. Sin embargo esto no es del todo cierto, ya que no se tiene en consideración el costo de un mal servicio, un Cliente insatisfecho, la posibilidad de competencia por parte de otros Parques que comiencen a enfocar sus operaciones a los requerimientos de los Cliente e

inclusive el incremento en la participación de mercado que podría lograr la Empresa si enfocara sus acciones a la satisfacción del Cliente. Hay inclusive acciones que incrementan los costos que difícilmente agregan valor para la mayoría de los Clientes como: la atracción de los animales entrenados que sólo encarecen el servicio o shows musicales.

No entender este principio, llevará a resultados parciales en las Organizaciones ya que no permitirá eliminar por completo el desperdicio de sus procesos y crear valor, lo cual nos lleva al segundo principio de Lean definido por Womack: Identificar el Flujo de Valor.

2.2 Identificar el Flujo de Valor

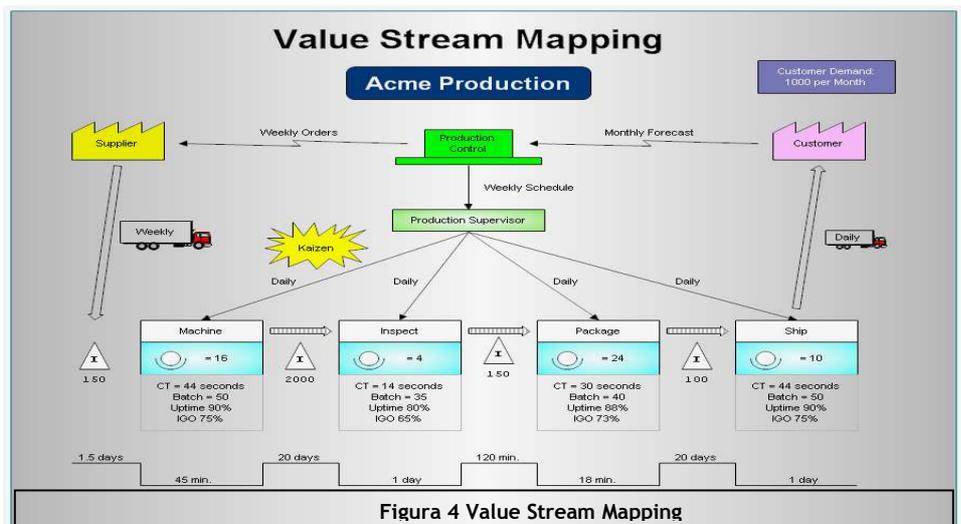
2.2.1 Definición

En Lean Manufacturing, definimos como flujo de valor a la secuencia de actividades realizadas para generar un bien o servicio. Bien en procesos Diseño/Lanzamiento, Orden/Entrega, Materia Prima/Entrega al Cliente, sin demoras, mermas o contraflujos³.

Esta actividad tiene por objetivo: distinguir entre las actividades de valor agregado y aquellas que generan desperdicio de recursos (muda).

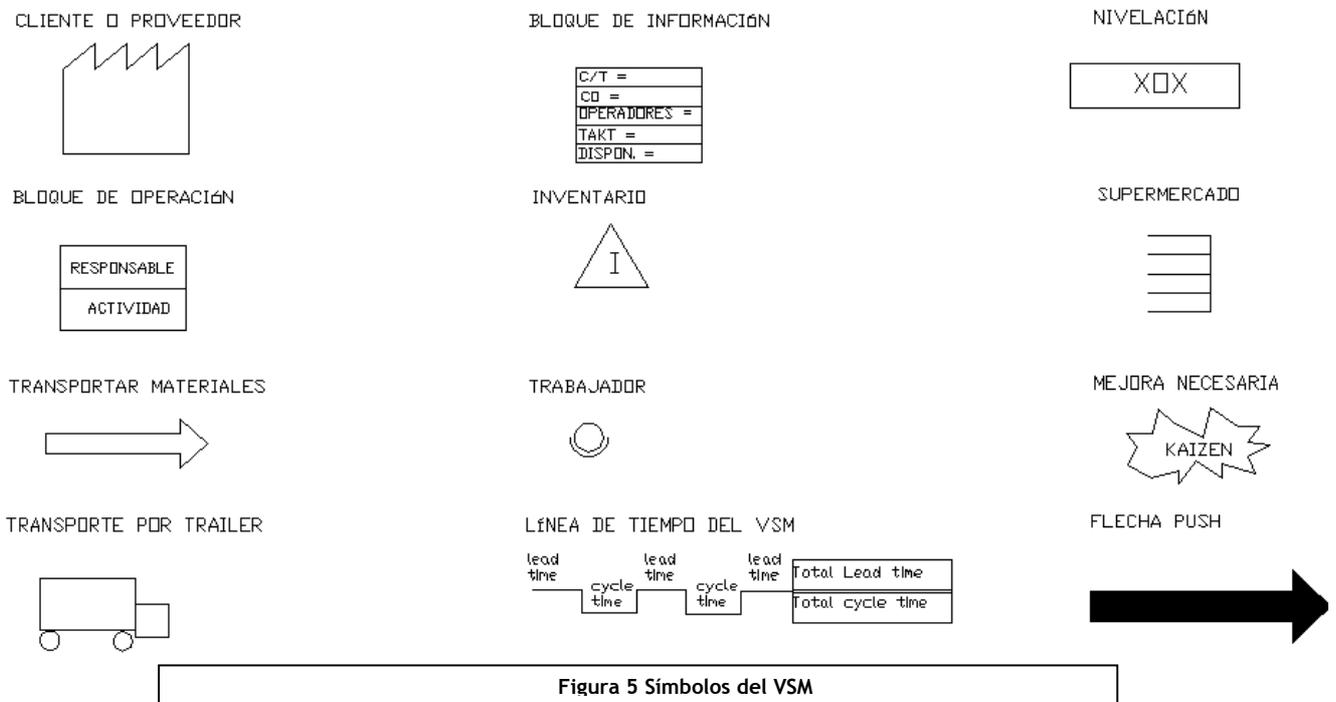
2.2.1 Mapa del flujo de valor (VSM)

Para identificar estas actividades, Lean se vale de una herramienta llamada Mapa de Flujo de Valor – más comúnmente conocido como Value Stream Mapping o VSM por sus siglas en inglés. El VSM es un dibujo que representa la forma en que los productos recorren cada actividad hasta terminar el producto.



³ Womack J. et al. “Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation”, Simon & Schuster, pp.306. 1996.

En la realización de este dibujo se utilizan ciertos símbolos comúnmente aceptados para mostrar diversas situaciones. Los principales símbolos utilizados en un VSM son⁴:



Para la realización de un VSM se recomiendan los siguientes pasos:

1. Definir el proceso completo del producto o familia de productos a realizar.

Mientras más áreas abarque el proceso será mejor pero suele ser más complicado, por lo que suelen realizarse según el área que lo emplea. Así por ejemplo: en Logística se podrá tener un VSM para la distribución de la Fábrica a los CEDIS, Producción analizará un proceso para la fabricación de un automóvil, en un proceso administrativo se puede dibujar la forma en que se transmite la información para la ofrecer un servicio financiero, entre otros.

2. Identificar las estaciones de trabajo que forman la Celda de Producción.

Este paso consiste en hacer una descripción mediante dibujos del área de trabajo a analizar. Se debe mostrar a qué actividad del proceso se refiere y los dibujos deben ser sencillos. Puede ser considerado

⁴ Osterling Consulting, Inc. Google Académico. "resumenVSM5-28-2009". pp. 5
Rother M, et al. "Learning to see", The Lean Enterprise Institute, pp. 16-23. 2003.

Fecha: 25/03/2011.

como hacer un Lay-Out pero sin dar importancia a las proporciones de los dibujos ni de las distancias recorridas.

3. Observar el proceso en su conjunto.

En esta paso se deben identificar actividades como:

- a) El recorrido entre estaciones que sigue la producción de un artículo
- b) Inventario en Proceso
- c) Lotes de producto entre estaciones
- d) Artículos Defectuosos
- e) Mermas
- f) Actividades inseguras
- g) Transportación de materiales

Las cuales serán dibujadas en el VSM con el símbolo que les corresponda según lo mostrado anteriormente. Cabe mencionar que al hacer este paso las personas que lo dibujan observarán movimientos innecesarios y esperas (otros 2 tipos de muda) los cual se sugiere registrar.

4. Anotar información adicional.

Distancias recorridas, número de personas entre estaciones, cantidad de inventario, disponibilidad, tiempos de ciclo y tiempo de preparación de máquina el observador del proceso debe registrarlo en los bloques de información para facilitar el análisis del VSM⁵.

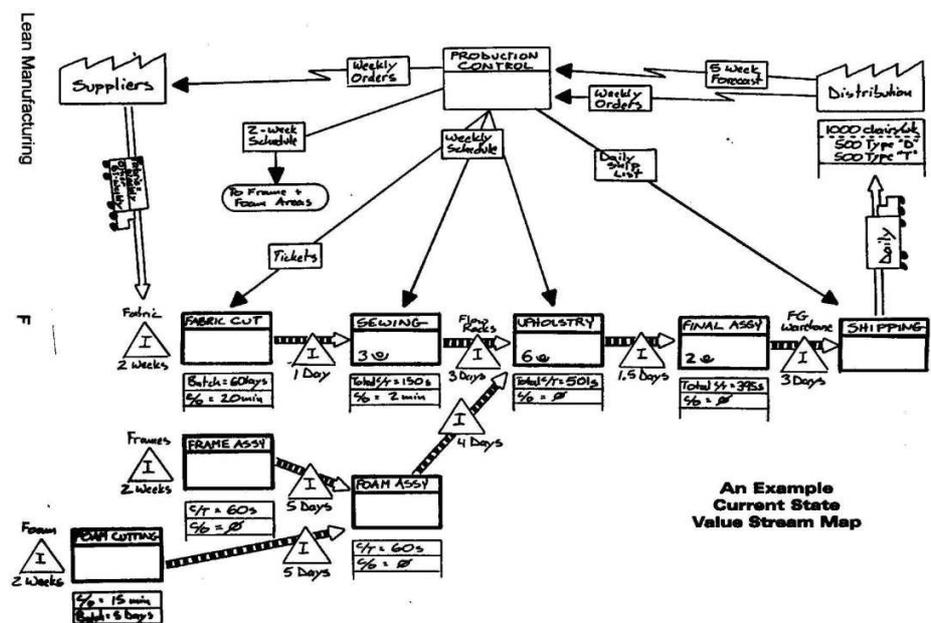


Figura 6 VSM Actual

⁵ Sitio: <http://www.operationsresources.com/sitebuildercontent/sitebuilderpictures/ValueStreamMap.jpg>. Fecha: 25/03/2011

Finalmente, al tener el VSM, se deberá analizar las actividades que agregan valor y las que no lo hagan se deben resaltar en el VSM (mediante el ícono de mejora necesaria), ya que serán señales que indicará las actividades a mejorar o eliminar –según sea el caso- para lograr que el valor “fluya” en el proceso.

NOTA: Se acostumbra realizar este diagrama con los involucrados en el proceso - Operadores, supervisores, líderes de equipo- de forma manual y tomando las situaciones que ocurren el 80% de las veces⁶.

2.3 Hacer que el Valor Fluya a lo largo de la Cadena de Valor

2.3.1 Definición

Este principio señala que en el estudio de los procesos debe organizarse al personal, equipo, maquinaria y demás recursos de producción del producto o servicio, de forma que las operaciones del proceso se lleven a cabo de forma continua, sin interrupciones, mermas o contraflujos⁷.

Como menciona Womack, en Lean Thinking, la idea de lograr un flujo de productos continuo en las operaciones resulta contra intuitivo, generalmente porque se analizan eficiencias locales, es por ello que crear un flujo continuo suele resultar una actividad complicada. El consejo para lograr este cometido es analizar el proceso completo - lo que se logra con el VSM.

Tan contra intuitivo resulta pensar en la eficiencia de todo el proceso para satisfacer las necesidades del los Clientes que solemos organizar las actividades en *Bache* y Departamentos, lo que nos hace pensar que las operaciones serán realizadas más eficientemente y que a la vez serán más fáciles de administrar. Por lo anterior es común ver, por ejemplo en las fábricas los departamentos de Pintura, Doblado, Ensamble, entre otros separados uno de otro, sin una secuencia lógica para la elaboración de los productos (lo mismo puede aplicar para los servicios). Esto obliga generalmente a la producción en Baches en cada Departamento de trabajo impidiendo el flujo de pieza por pieza.

El Flujo de una sola pieza consiste en producir una sola pieza por cada estación de trabajo de la celda de producción y tiene la ventaja de obligar a pensar en la eficiencia del proceso completo, lo que lleva a:

⁶ Del Documento de Google Académico. “resumenVSM5-28-2009”. Osterling Consulting, Inc. Pp.8 Fecha: 25/03/2011.

⁷ Womack J. et al. “Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation”, Simon & Schuster, pp.307. 1996

- Eliminar la organización en departamentos para colocar estaciones de trabajo en la secuencia que lo requiera la familia de productos.
- Reduce el *Lead Time* y por tanto todas las ventajas que ello involucra son aprovechadas.
- Reduce el espacio necesario en las líneas de producción.
- Se detectan más rápidamente los productos defectuosos.
- Se pueden resolver las causas raíz de los problemas de forma inmediata.⁸

Un proceso con un flujo ideal del valor se vería de la siguiente manera en un mapa de flujo de valor:

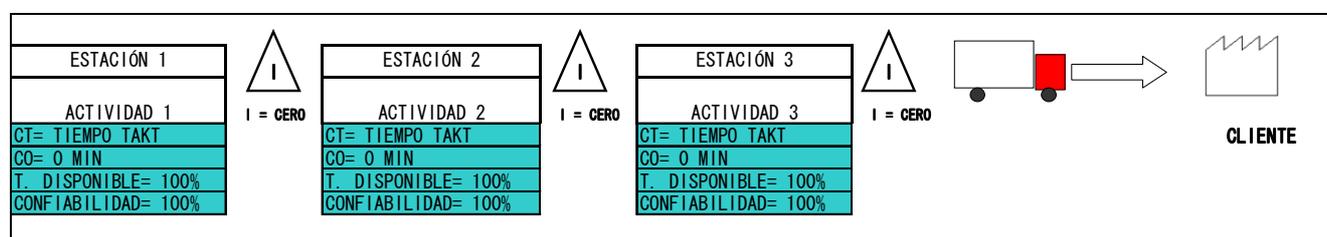


Figura 7 Proceso con flujo ideal

Del diagrama anterior observe que:

- No Existen Inventarios, ni entre proceso ni de producto terminado.
- Tiempos de ciclo entre estaciones iguales (producción nivelada).
- Tiempos de Ciclo iguales al *Tiempo Takt* (el tiempo exigido por la demanda).
- Calidad del 100%
- Secuencia de las actividades (Actividad 1, Actividad 2...).

2.3.2 Eliminación de actividades innecesarias

Dado que el modelo anterior idealiza el flujo de valor, Lean ha desarrollado herramientas, en mi opinión casi todas sus herramientas, para tratar de mejorar el flujo de las actividades en los procesos. Algunas de estas herramientas son:

- SMED

⁸ General Electric, Apuntes del curso "Lean Basic Training". 2010

- b) TPM
- c) Paro inmediato ante errores (Andon)
- d) La Celda de Producción en “U”

Finalmente, falta definir la velocidad de este flujo, esta se establecerá con lo que veamos en el siguiente principio: Jalar desde el Cliente.

2.4 Jalar desde el Cliente

2.4.1 Definición

Este principio señala que ninguna actividad previa debe producir bien o servicio alguno hasta que el Cliente (o actividad posterior dentro del proceso) lo solicite⁹.

Este es el principio que sostiene al modelo JIT (por sus siglas en inglés Just In Time), uno de los términos más conocidos de la metodología Lean y que señala, en términos simples, que debe producirse lo que el Cliente quiere, en el momento que lo solicita y en la cantidad requerida.

Esta forma de operar, JIT, si bien se opone en gran medida a la forma acostumbrada de administrar la producción – donde es común producir más de lo inmediatamente necesario por no tener la capacidad de ajustar el ritmo de producción a la demanda o porque simplemente el pronóstico falló por condiciones inesperadas- se puede lograr con mayor facilidad cuando se realizan mejoras en el flujo de producción dentro de la cadena de valor (3er principio de la metodología Lean). Lo anterior debido a que un proceso continuo y rápido, permite adaptarse rápidamente a la variación de la demanda y acorde a lo que sugiere Womack, permitiendo que el proceso jale sólo lo que necesita del anterior (esto incluye al proceso de consumo), la demanda tiende a ser más estable pues los Clientes tienden a presentar una demanda más estable cuando saben que pueden obtener los productos (o servicios) en el momento que los soliciten y las campañas de descuento para vender producción excedente desaparecen¹⁰.

Dentro de las herramientas y técnicas que tiene Lean para cumplir de forma estricta con este principio se encuentran:

- a) Kanban
- b) Kanban de proveedores
- c) Desarrollo de proveedores

⁹ Womack J. et al. “*Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation*”, Simon & Schuster, pp.67. 1996

¹⁰ *Ibidem.* pp. 24.

- d) Supermercados
- e) Nivelación de la producción (Heijunka)
- f) Tiempo Takt

Las cuales serán explicadas en apartados posteriores de esta Tesis. Sin embargo, es importante mencionar que el flujo de Valor, al que hacíamos mención en el apartado anterior deberá de fluir a la velocidad de la demanda existente. En términos de la metodología Lean, el desplazamiento de los productos entre cada estación deberá ser igual o poco menor al *Tiempo Takt*. Dado que tratamos de mostrar cómo la metodología Lean trata de cumplir con este principio (conocido comúnmente como “Pull”), conviene hacer mención de cómo se estima este tiempo Takt¹¹.

$$\text{Takt} = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Demanda}}$$

Figura 8 Fórmula Tiempo Takt

Donde:

El **Tiempo Disponible**, se refiere al tiempo que se destina a cierta actividad. Ejemplo: La línea de producción de sillas opera durante 15 horas diarias.

Demanda, es la cantidad programada de elementos requeridos para un intervalo de tiempo. Ejemplo: La suma de los pedidos de sillas para el mes de Agosto es de 20,000 sillas.

Por tanto el tiempo Takt, para el ejemplo anterior será de:

¹¹ General Electric, Apuntes del curso “Lean Basic Training”. 2010

$$\text{Takt} = \frac{15\text{hr/día} \times 24 \text{ día} \times 3600\text{seg/hr}}{20,000 \text{ silla}}$$

$$\text{Takt} = 64.8 \text{ seg/silla}$$

De momento no haremos mayor mención de lo que este ritmo implica pues se explicará más adelante al utilizar las herramientas en forma conjunta.

En esencia estas herramientas tienen el objetivo de comunicar al proceso anterior qué demandarán los posteriores para que al momento del próximo consumo se tenga justo el material o producto requerido, en el momento y la cantidad solicitada, para que el proceso siguiente tome la cantidad requerida, sin excedentes.

La importancia de este principio es que permite a la Organización planear a corto plazo con demandas lo más real posibles, en vez de suponer demandas como las de los pronósticos pues hay que recordar que los pronósticos dependen fuertemente de los datos históricos, los cuales no siempre se repiten de un periodo a otro.

Para concluir, es importante mencionar que dada la dependencia entre las Organizaciones, debido a que unas son proveedoras de otras, una vez logrado el cambio a un sistema *Pull* al interior de la Organización Lean, si se desean incrementar los beneficios obtenidos con este principio, será importante involucrar a los proveedores a la cadena productiva para que se adapten al ritmo de la demanda de la Organización Lean.

Para mostrar lo anterior, muestro un diagrama VSM con proveedores que usan el sistema de producción Push (el cual produce y vende en grandes volúmenes. Antítesis de Pull).

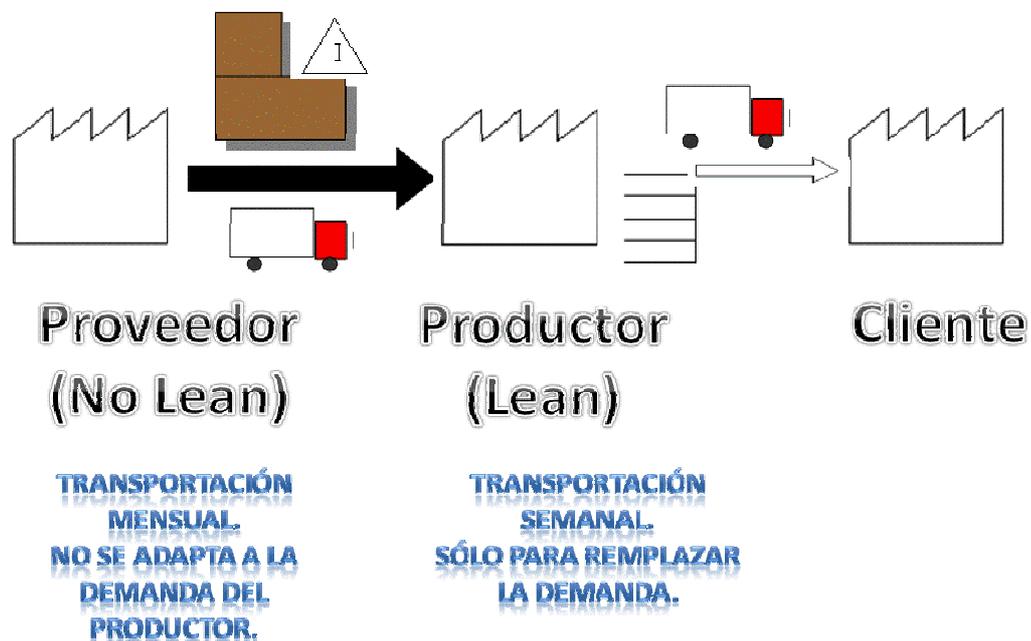


Figura 9 Proceso con Proveedores No Lean

Por último, estos principios que establece Lean y sus técnicas no lograrían su cometido de no aspirar a mejorar constantemente la forma en que hacemos las cosas, llevándonos al último de los principios. Aspirar a la Excelencia.

2.5. Aspirar a la Excelencia

2.5.1 Definición

Este principio se refiere a buscar mejorar constantemente las operaciones, o en otras palabras es el principio de la mejora continua.

Este es tal vez el principio que se olvida en muchas ocasiones dentro de una Organización al lograr los objetivos de cada mes y por el cual falla la implantación de un sistema Lean. Si bien, los principios anteriores pueden dar grandes resultados para una organización al aplicarlos a sus operaciones, la ventaja competitiva que pueden crear en un momento determinado, tenderá a desaparecer si no busca seguir mejorando y repetir el proceso de mejora que suponen los 4 principios Lean anteriores (Definir valor – Identificar el flujo – Hacer que el valor fluya – Jalar desde el Cliente).

Por tal motivo, una organización Lean busca la forma de incentivar en un principio la mejora de la organización y posteriormente ya lograda la cultura de mejora entre las personas, mantener esta inercia para que se vuelva un proceso cíclico.

2.5.1 El papel de los líderes y los círculos de calidad

En esta sección quiero hacer mención de la importancia de la gente en la mejora continua, como se menciona en diferentes textos, la calidad la construye la gente. Por ello considero importante mencionar las funciones de los líderes y los círculos de Calidad de las Organizaciones para la mejora continua.

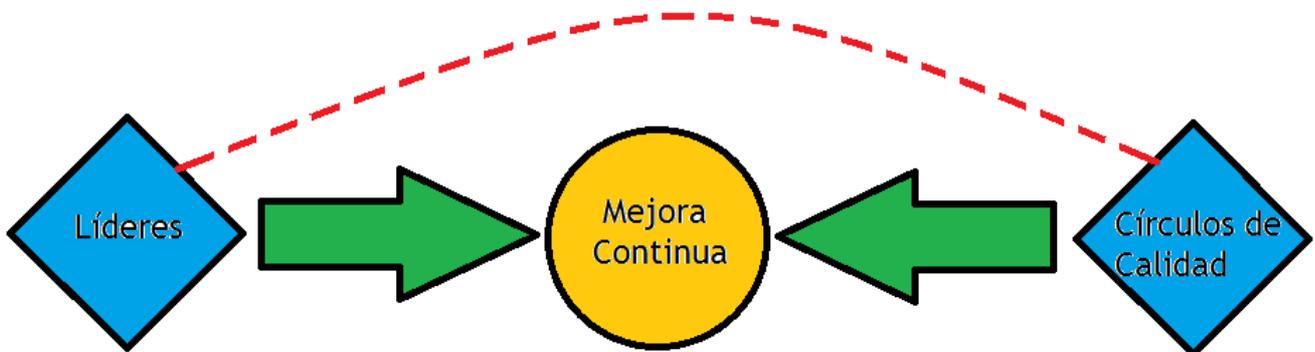


Figura 10 La gente que construye la Calidad en las organizaciones Lean

a) Los líderes

- Sus valores representan el ejemplo a seguir por los demás miembros de la Organización- **Referente**.
- Capacitan a los demás en técnicas de análisis y métodos para lograr en equipo las mejoras. Personalmente creo que la exigencia de resultados sin capacitación desmotiva y lleva al fracaso de los equipos de mejora. Una vez capacitada la gente, impulsa las actividades en grupo: *círculos de calidad- Enseña*.
- Durante las actividades de mejora:
 - Promueve la participación de los trabajadores. **Incentiva**
 - Mantiene informados a los equipos de su desempeño y de los resultados. **Informa**
 - Premia, da reconocimiento a la labor de los equipos. **Reconoce**
 - Cuida siempre la seguridad de su gente. **Protege**



Figura 11 Funciones del Líder en la Mejora Continua

b) Grupos de mejora continua

También conocidos como círculos de calidad, constan de grupos pequeños de personas de una misma área de trabajo (4 a 10 personas)¹² a quienes se les asigna una actividad de mejora en los procesos.

En las fábricas de Toyota estos grupos pueden escoger temas de diversas áreas a mejorar¹³ como son:

- Calidad (ejemplo: reducir el porcentaje de desperdicio en una línea)
- Productividad (ejemplo: reducir tiempos de cambio de proceso o de maquinado)
- Seguridad (ejemplo: eliminar los accidentes ocurridos a causa de una máquina)
- Mantenimiento (ejemplo: simplificar el mantenimiento preventivo para una máquina)

El proceso a seguir por los grupos de mejora se resumen en los siguientes pasos:

1. **Selección de problemas** – pondera los problemas identificados.
2. **Tormenta de ideas** – genera ideas y amplía la posibilidad de dar solución a los problemas.
3. **Análisis Causa-Efecto** – identificar las causas probables de los problemas y representarlo visualmente.
4. **Recopilación de datos** – comprobar que las causas escogidas son las que hay que corregir a partir de medidas, registros de calidad, etc.

¹² Barra R. "Círculos de Calidad en operación". Mc-Graw-Hill. 1992 pp.57

¹³ Shingeo S. "A study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint" Cambridge Massachusetts Productivity Press. 1989

5. **Análisis de Pareto** – ponderar las causas del problema para atacar las de mayor peso y representarlo gráficamente.
6. **Gráficas e histogramas** – representar de forma visual los resultados logrados y de forma objetiva.
7. **Presentación gerencial**- buscar la aprobación de la mejora por la gerencia así como el reconocimiento a los integrantes del grupo de mejora continua.

Finalmente y para que los equipos tengan la facilidad de analizar y resolver problemas sugiero usar algunas de las herramientas de calidad como son:

- Lluvia de ideas
- Diagrama de Ishikawa (Causa- Efecto)

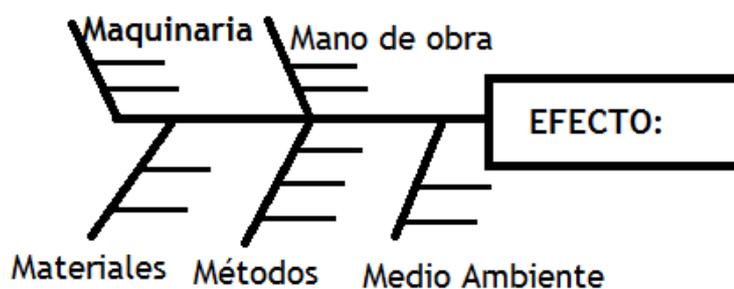


Figura 12 Diagrama Ishikawa

- Diagramas de Pareto

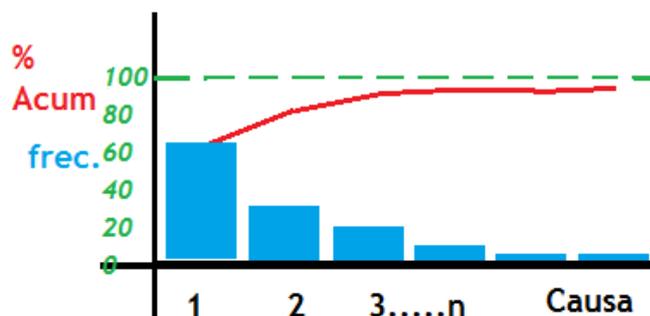


Figura 13 Diagrama de Pareto

- Gráficas de barra
- Diagrama de “5 por qué” – Ayuda a identificar causas raíz, profundiza sobre el análisis.
- Análisis “como-cómo” – Ayuda a dar solución a un objetivo planteado.

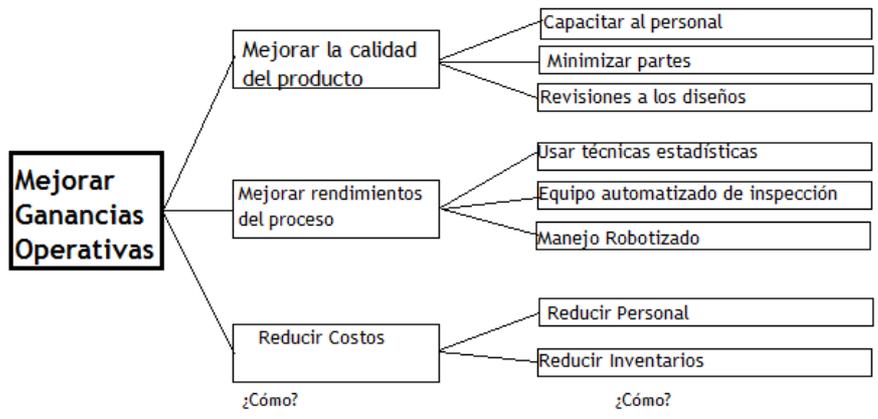


Figura 14 Diagrama Cómo-Cómo

Por último cabe mencionar que la gerencia deberá de dar su apoyo a estas actividades a fin mantener la mejora continua y a la vez lograr alcanzar sus métricos.

Capítulo 3 LOS 7 DESPERDICIOS MÁS 2:

Definición

En la metodología Lean se llama desperdicio a toda aquella actividad que utiliza recursos de la Organización pero no agrega valor al producto/servicio¹.

En esta materia Toyota ha identificado 7 categorías de actividades que no agregan valor al producto ya sea en un proceso de manufactura o bien en cualquier negocio². Así mismo menciono un octavo desperdicio encontrado en el libro de Jeffrey Liker y un noveno que yo considero. Estos desperdicios son:

- A. Sobreproducción
- B. Tiempos de espera
- C. Transportación
- D. Procesamiento incorrecto
- E. Inventarios
- F. Movimientos innecesarios
- G. Defectos
- H. No usar la creatividad de los empleados
- I. Inspecciones

Así mismo, en cuanto a la facilidad para eliminar estos desperdicios se pueden clasificar como sigue:

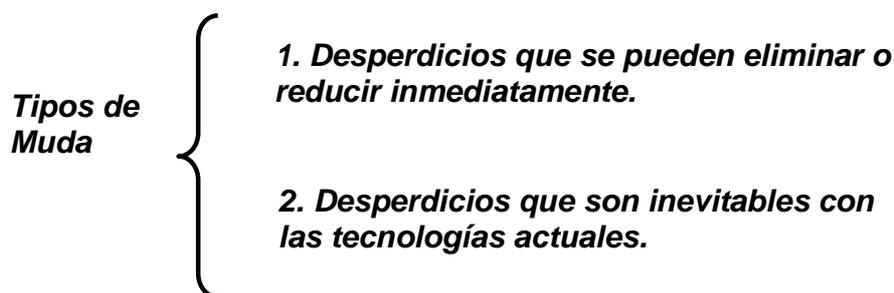


Figura 15 Tipos de Muda por rapidez

¹ Womack J. y Jones D., “ Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation”. Simon & Schuster, 1996, pp. 15.

² Liker J. “The Toyota Way” . Mc-Graw Hill , 2004, pp 28.

3.1 Sobreproducción

Significa producir más de lo que el Cliente demanda en otras palabras producir artículos cuando no hay órdenes de producción.

Ohno consideraba la sobreproducción como el desperdicio fundamental, dado que esta origina a la mayoría de los demás³³. Algunas consecuencias de este tipo de desperdicio son:

- Incrementa el Capital de Trabajo necesario.
- Utiliza espacio de las instalaciones que podría ser mejor aprovechado.
- Esconde problemas del proceso.
- Riesgo de obsolescencia y/o caducidad.
- Obliga a **inventarios** entre estaciones de trabajo posteriores los cuales **esperan** a que la operación siguiente los requiera.
- Contratación innecesaria.

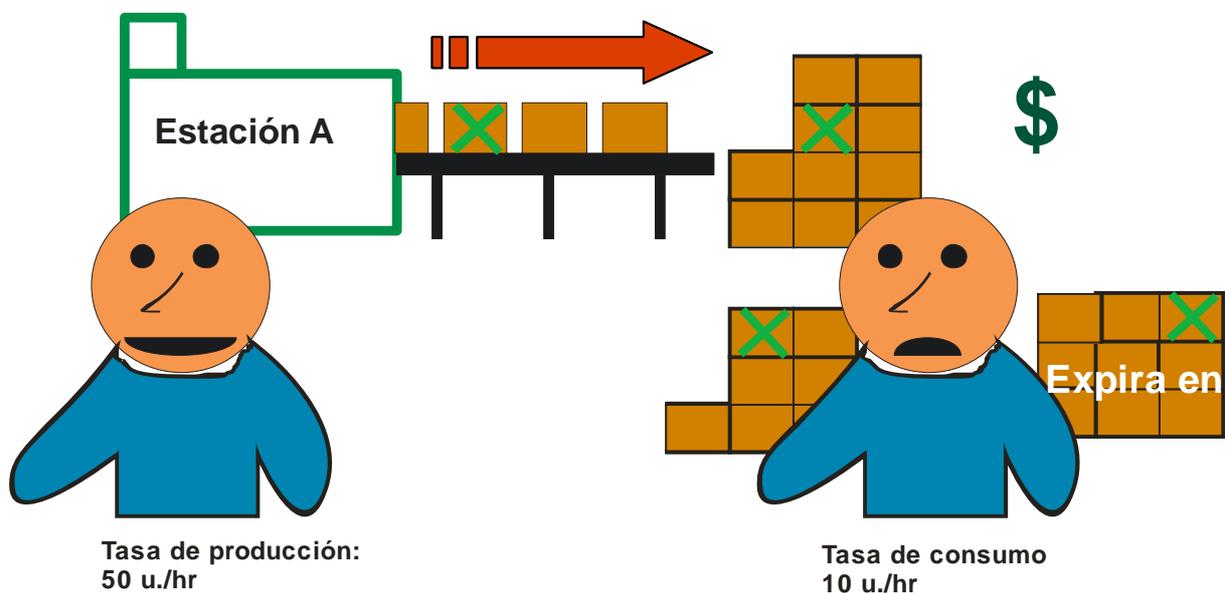


Figura 16 Consecuencias de la sobreproducción

³³ Liker J., op. cit., pp. 29

3.2 Tiempos de Espera

Es el tiempo que una operación posterior se mantiene inactiva debido a la demora de una anterior.

Este tipo de desperdicio origina las siguientes consecuencias:

- a) Incrementa el **tiempo de ciclo**, entendido como el tiempo desde que se recibe una orden hasta que ésta es entregada.
- b) Lenta respuesta a los clientes.
- c) Mayor nivel de Inventario en proceso (WIP) lo que se traduce en mayor capital de trabajo.

Los tiempos de espera pueden presentarse a diferentes niveles:

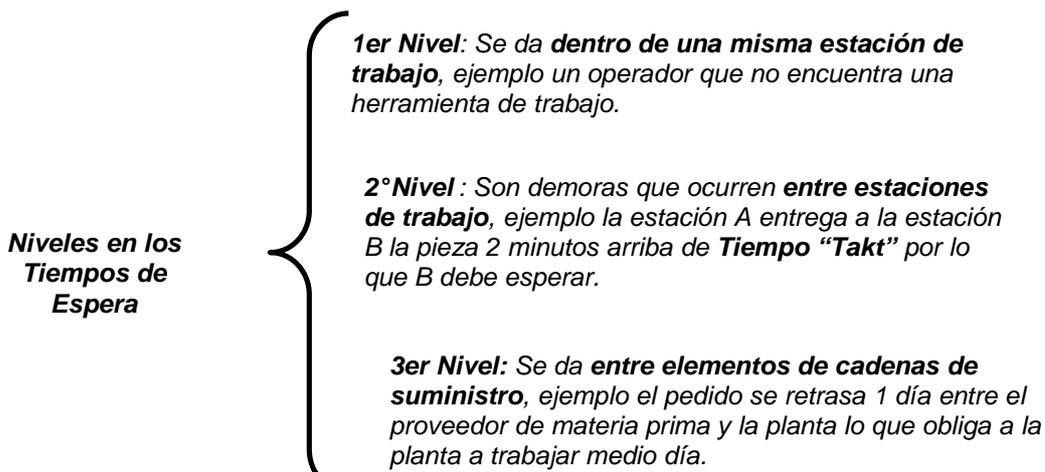
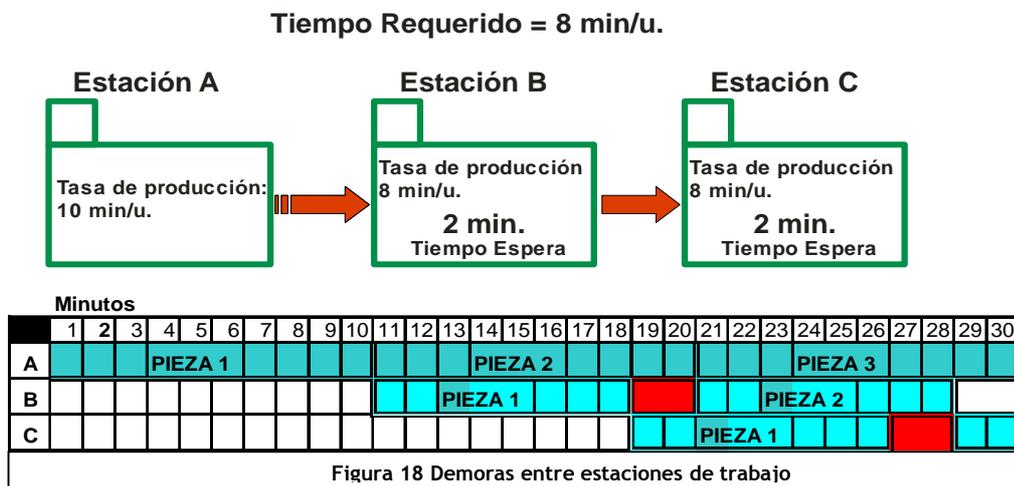


Figura 17 Niveles en los Tiempos de Espera

La siguiente imagen muestra la demora entre estaciones de trabajo, que es de 2 minutos por pieza para las estaciones B y C. Tiempo en el cual no se genera valor al Cliente.



Dentro de estos tiempos de espera hay uno en particular que vale la pena mencionar de forma especial, esta es el **la preparación del proceso** y para la cual Ohno diseñó la herramienta **SMED**, la cual tiene por objetivo reducir el tiempo perdido en el cambio de procesos. Este tipo de espera se presenta en manufactura cuando se utiliza tiempo para calibrar una máquina, cambiar las herramientas u otras actividades que tengan que realizarse para iniciar un nuevo proceso.

3.3 Transporte

Es una actividad que cambia el lugar donde se encuentran los materiales pero que no los transforma.

Este tipo de desperdicio origina las siguientes consecuencias:

- 4 Incrementa el **tiempo de ciclo**, entendido como el tiempo desde que se recibe una orden hasta que ésta es entregada.
- 5 Uso de **personal y equipo especial** para desplazar los materiales.
- 6 Dentro del ciclo de producción, es **tiempo que no agrega valor** al producto.
- 7 Incrementa el riesgo de dañar el **producto**.
- 8 Mayor riesgo para los **trabajadores**.

El objetivo para reducir este desperdicio se centrará en la reducción de la distancia a la que requieren ser transportados los materiales y posteriormente buscar reducir el tiempo de transportación. Por ello al modificar los procesos también debe tenerse en cuenta la Distribución de Planta o Lay-Out. En la imagen se muestran un claro ejemplo de lo que un mal Lay-Out genera como desperdicios:



Figura 19 Consecuencias del Transporte

3.4 Procesamiento incorrecto

Es una actividad que transforma los materiales pero utilizando más recursos de los que normalmente ocupa una etapa específica del proceso.

Este tipo de desperdicio origina las siguientes consecuencias:

- 4 Mayor tiempo de procesamiento
- 5 Mayor trabajo para los operadores
- 6 Elevan los costos de producción al requerir más recursos para procesar los materiales.



Figura 20 Ejemplo del Procesamiento Incorrecto

Ejemplos de este tipo de desperdicio son:

- Dar un mejor acabado superficial a piezas maquinadas de lo que exigen las especificaciones de Calidad.
- Utilizar materias primas con propiedades superiores (normalmente más costosas) cuando se sabe que el proceso de producción eliminará estas propiedades.
- En un proceso administrativo: volver a introducir la misma orden de compra de los Clientes por falta de comunicación entre los vendedores.

Lo que se procurará para reducir este tipo de desperdicio será definir un procedimiento estándar para que las actividades se realicen de manera similar y así mismo estudiar posibles mejoras a estos procedimientos.

3.5 Inventarios

Se entiende por inventario, al conjunto de bienes del que dispone la Organización para generar ingresos.

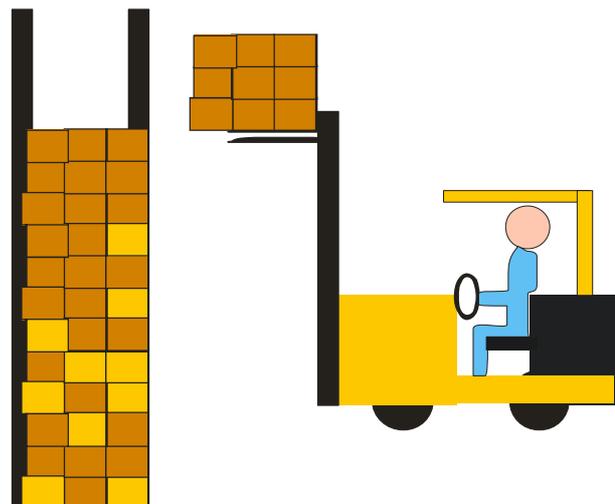
De forma particular en el entorno de la manufactura y suministros, se emplean comúnmente tipos particulares de inventarios para referir al procesamiento que se les ha dado y que se muestra en el siguiente diagrama.

Tipos de inventario en una planta de producción

- Inventario de materia prima:** Son todos los insumos requeridos para la producción y que no han sido procesados por la Organización.
- Inventario en proceso (WIP - Work in Process):** Son todos los bienes que han sido transformados pero que aún no forman un producto terminado. Usualmente están en espera a ser procesados.
- Inventario de producto terminado:** Son todos los bienes que han sido transformados y pueden ser enviados al Cliente.

Este tipo de desperdicio origina las siguientes consecuencias:

- 4 Se necesita mayor **capital de trabajo**.
- 5 **Más espacio** destinado a bienes que no están siendo procesados.
- 6 Riesgo de **obsolescencia**
- 7 Mayor riesgo de **dañar el producto terminado o en proceso**.



NO VAYAS A APLASTAR LOS OTROS PRODUCTOS, CUIDADO

¡AH! Y POR FAVOR RETIRA LOS ARTÍCULOS OBSOLETOS.

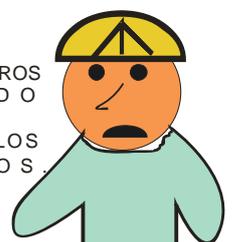


Figura 21 Desperdicios en los Inventarios

Es por ello que el sistema **Just in Time (JIT)** es necesario en un sistema de producción que pretenda practicar Lean Manufacturing ya que el sistema JIT propone producir sólo cuando hay una orden de compra, para producir la cantidad demandada, en el momento solicitado, teniendo cero inventarios como ideal a través de los principios “**Mantener el flujo de valor**” y “**jalar desde el cliente**”.

3.6 Movimientos innecesarios

Llamamos movimiento innecesario a aquellas actividades adicionales que se realizan durante un trabajo y que no actúan sobre el elemento a producir.

Son ejemplos de este desperdicio:

- 4 Alcanzar una herramienta
- 5 Caminar entre estaciones de trabajo.
- 6 Acomodar piezas para ser utilizadas.

Algunas consecuencias de este desperdicio son:

- 7 Incrementa el tiempo de ciclo de cada estación de trabajo.
- 8 Mayor fatiga del operador lo que puede reflejarse en su salud y su productividad.
- 9 Puede crear una falsa necesidad de ampliar la capacidad de producción (para una línea de producción o para una estación en específico) debido a que se desperdicia el tiempo.

Lo recomendado para este tipo de desperdicio será comenzar estudiando las estaciones de trabajo que sean cuellos de botella, ya que todo tiempo ahorrado en un cuello de botella será tiempo ganado para todo el proceso, mas no así para estaciones que no lo sean.

3.7 Defectos

Se entiende por defecto a todo aquel producto no conforme con las especificaciones de diseño.

Es importante mencionar que las especificaciones de diseño deben corresponder a las necesidades de los Clientes ya que la metodología Lean propone generar bienes y servicios que aportan valor a los Clientes.

Algunas consecuencias de este tipo de desperdicio son:

- 4 Perder Clientes
- 5 Problemas legales para la Organización por ofrecer malos productos/servicios.
- 6 Dificultad para competir con Organizaciones que ofrezcan los mismos productos/servicios.

3.8 No usar la creatividad de los empleados

Este desperdicio lo define J. Liker como:

Perder el tiempo, ideas, habilidades, mejoras y oportunidades de aprendizaje por no motivar ni escuchar a los empleados⁴

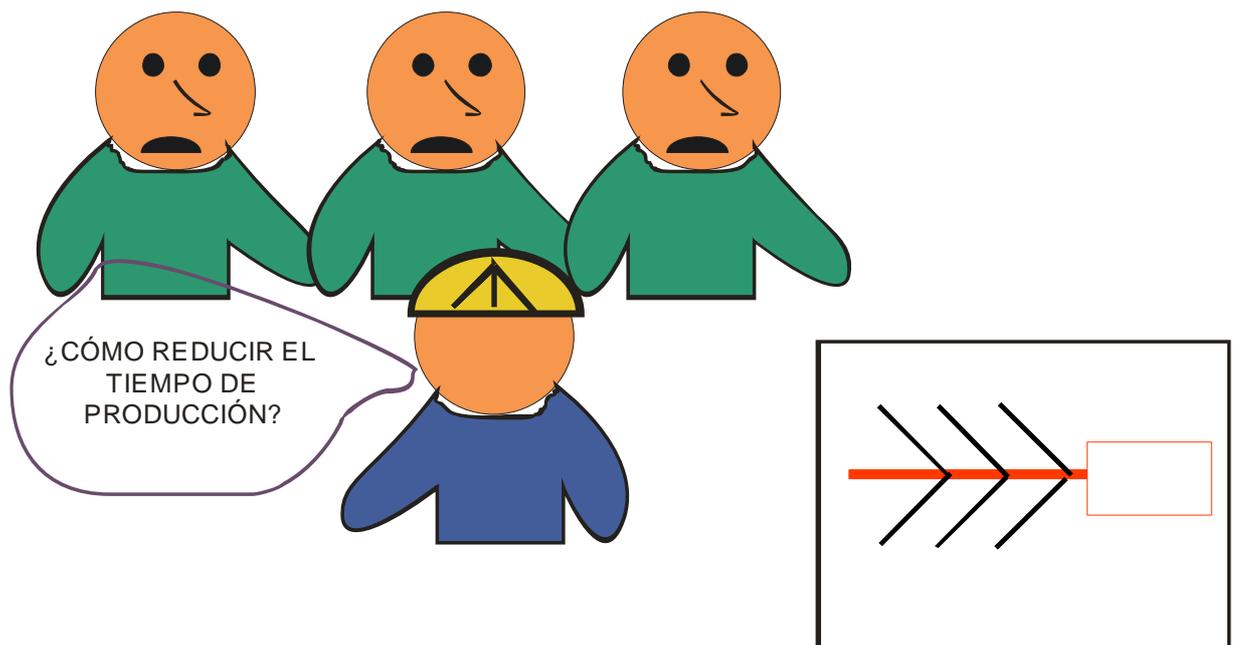


Figura 22 Soluciones de los empleados

Si se reduce este tipo de desperdicio se tienen las siguientes ventajas, desde mi punto de vista:

- 4 Las ideas de mejora al proceso suelen tomar menos tiempo.
- 5 El personal se mantendrá más motivado al tener la posibilidad de mejorar su desempeño y simplificar su trabajo.

⁴ *Ibidem*

- 6 Se tiene consenso para implementar mejoras por lo que es mas fácil que el personal las acepte y acate las normas que surjan del nuevo proceso.
- 7 Es más probable que las mejoras surgidas de las ideas de los involucrados en el proceso tengan mayor impacto en el proceso.

3.9 Inspecciones

Se entiende por inspección a la actividad que consiste en verificar que los productos que se han fabricado, cumplan con las especificaciones de diseño.

Este tipo de desperdicio, el cual propongo, lo considero desperdicio ya que partiendo de la definición que emplea Lean para los desperdicios, la inspección es claramente una actividad que no agrega valor para el Cliente. Lo que yo reconozco en la inspección es que sirve al Productor para tener mayor confianza de que lo que enviara a sus Clientes tiene poca probabilidad de no satisfacerlo, sin embargo la inspección no impide que se produzcan artículos que no cumplan con las especificaciones. Es por ello que la recomendación que yo haría para reducir este tipo de desperdicio (mas no eliminarlo) es reducir el tiempo que lleva esta actividad.

Algunas consecuencias de este desperdicio son:

- 4 Incrementa el tiempo de ciclo.
- 5 En caso de ser pruebas destructivas, obliga a producir mas de lo que realmente demanda el Cliente (sobreproducción).
- 6 Mayor tiempo para liberar las órdenes de producción.

Teniendo claro los tipos de desperdicio comúnmente identificados en un proceso, podremos entonces entender la aplicación de las herramientas que ofrece Lean para mejorar los procesos.

Capítulo 4 HERRAMIENTAS LEAN:

Hasta ahora se ha explicado, la razón que motiva la producción de un bien o servicio es desde el punto de vista del Cliente satisfacer sus necesidades. Por otro lado se han mencionado las actividades que Lean busca eliminar –desperdicios- a fin de reducir costos para la Organización pero atendiendo a las necesidades del Cliente. Así como también se ha mencionado el proceso de actuación que debe llevarse a cabo constantemente, para satisfacer al Cliente de mejor forma a fin de destacar entre la competencia y posicionarse en la preferencia de sus Clientes logrando a su vez mayores rendimientos de sus operaciones.

Sin embargo hasta este punto, no se ha hecho mención de cómo eliminar los 7 desperdicios en las operaciones de una Organización y cómo lograr que ese proceso de mejora se cumpla. Es por ello que éste capítulo versará sobre las herramientas y técnicas- hasta ahora empleadas- que considero tienen mayor complejidad al aplicarse la metodología Lean para lograr lo anterior. Sin embargo no debe olvidarse que las herramientas Lean deben aplicarse según las necesidades de cada proceso y no aplicarse de forma indiscriminada sin tener un fin claro, como ocurre comúnmente en las organizaciones que terminan decepcionándose de los resultados logrados con Lean.

4.1 Flujo de una sola pieza

4.1.1 Definición general

Técnica de trabajo que consiste en procesar una sola pieza, información, cliente... por cada estación a lo largo del proceso.

Definición para la manufactura (concepto definido anteriormente en capítulo 3):

Técnica de trabajo que consiste en producir una sola pieza por cada estación de trabajo de la celda de producción.

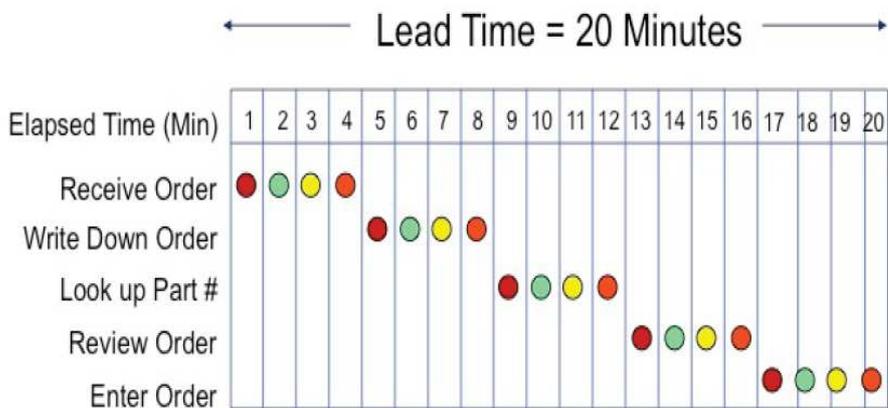
Es importante conocer la primera definición porque es la que trata de mantener la generalidad en el estudio de los procesos a través de la metodología Lean, **uno de los objetivos de esta tesis**. Sin embargo la segunda definición, enfocada a empresas productoras de bienes puede ser más sencilla de asimilar por hablar de un objeto tangible o evidente.

4.1.2 Flujos en Bache y Flujos pieza a pieza

La técnica de Flujo de una sola pieza, se relaciona directamente con el principio “Crear flujo”.

Para comprender la definición es bueno comparar los efectos que tiene cada técnica, por un lado la idea intuitiva que reconoce Womack en su libro “Lean Thinking” de la producción en *Bache* contra la técnica de producción en *flujo de una sola pieza*. Veamos los siguientes diagramas¹:

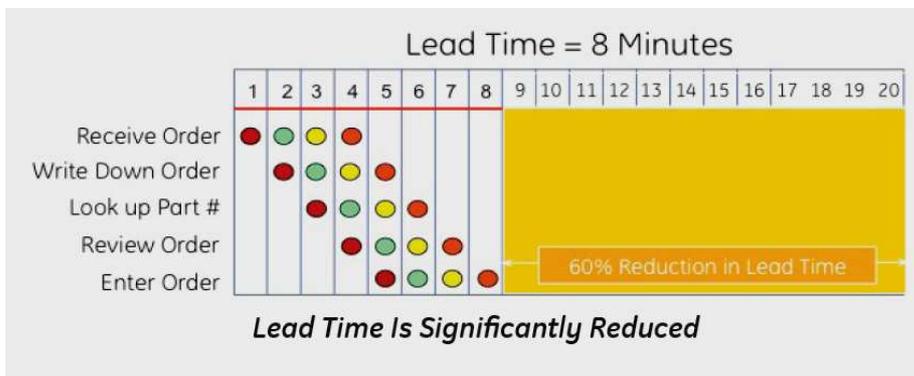
A) Flujos en Bache – lotes.



Long Lead Times ... the Downstream Processes Cannot Start Until 4 Items Are Complete

Figura 23 Producción en Bache

B) Flujos de una pieza.



Lead Time Is Significantly Reduced

Figura 24 Flujo de una pieza

¹ General Electric, Apuntes del curso “Lean Basic Training”. 2010

De los diagramas anteriores puede observarse que el flujo de una sola pieza tiene las siguientes características:

- a) El flujo de una sola pieza reduce los tiempos de fabricación al eliminar demoras a la operación siguiente.
- b) Los tiempos de las operaciones están balanceadas y tienen la misma duración (1 min.) Lo que elimina las demoras.
- c) Para que el sistema sea capaz de satisfacer la demanda las operaciones deben estar dentro del tiempo Takt.
- d) Los diagramas anteriores, muestran el flujo de un proceso ideal en el cual no habrá de generarse producto en proceso mayor al número de operaciones del proceso (en este caso cinco).

Es esta técnica la que en mi opinión facilita el logro del Justo a tiempo (JIT).

Análisis y factores a considerar:

Si bien “Flujo de una sola Pieza” es una técnica simple de entender, existen situaciones que complican - mas no imposibilitan- su implementación.

1.1.3 Situaciones que deben eliminarse para el Flujo pieza a pieza

1. Demoras causadas por transporte de materiales y comunicación entre departamentos.

Se refiere a tiempos perdidos a causa de entregar materiales o información fuera de tiempo, de un área a la siguiente para ser procesados. En esta parte el diseño de Lay-outs eficientes y sistemas de información como Kanban o algunos más complejos tienen gran importancia.

2. Capacidades de producción de cada estación de trabajo.

Se refiere tanto a las limitaciones en la velocidad de producción del personal y maquinaria como también limitaciones en la forma de operar de cada equipo – de este último un ejemplo útil son las rectificadoras con altos tiempos de producción y capacidad de 10 piezas por carga.

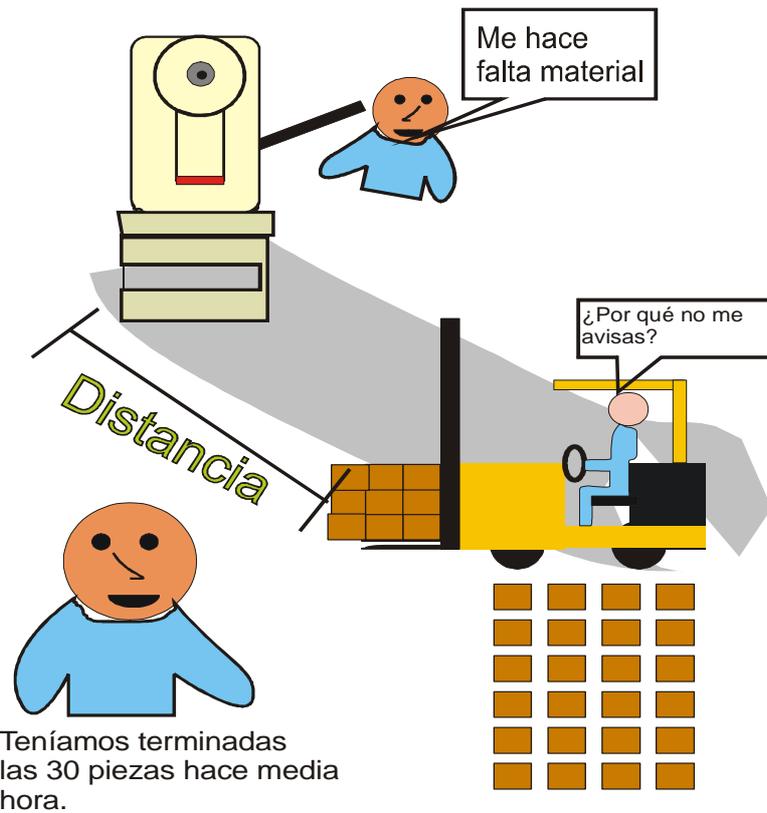


Figura 25 Demoras por falta de coordinación

3. Cambios de procesos.

Es muy común reconocerlos en procesos de manufactura y son aquellas actividades que no agregan valor al producto pero que deben realizarse para cambiar de modelo de producto.

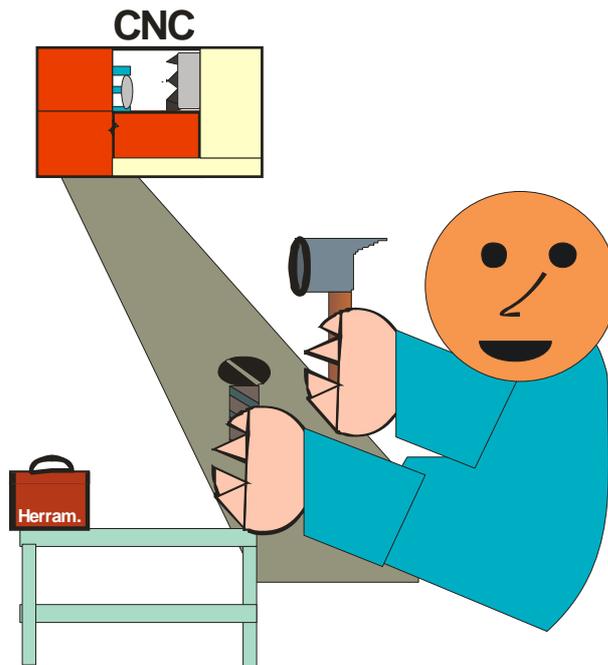


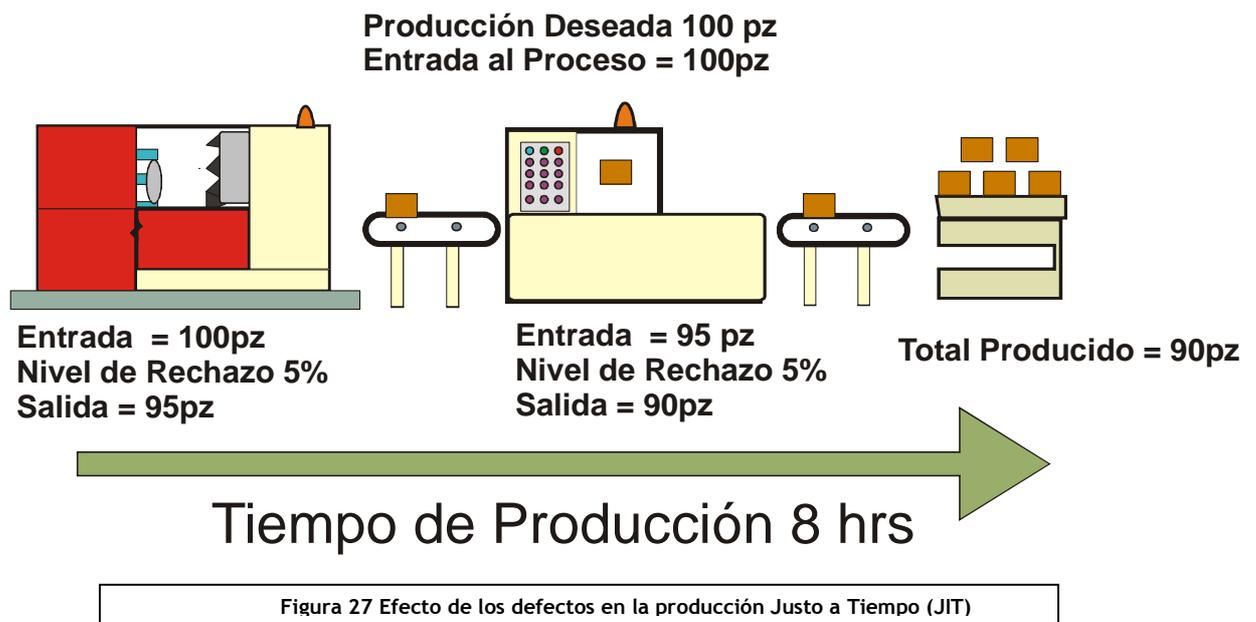
Figura 26 Demoras por cambios de proceso

4. *Flexibilidad de las operaciones.*

Estas son condiciones particulares de cada proceso y debe procurarse minimizarse su efecto en la interrupción del flujo de los materiales. Ejemplo de esto sería el tiempo requerido para el enfriamiento de materiales fundidos, condición que para la mayoría de los procesos es necesaria para poder seguir la fabricación.

5. *Defectos en los productos.*

Es claro que un flujo de productos no se puede lograr si no se tiene la garantía de que los productos que se están produciendo entre cada estación de trabajo satisfacen las condiciones de calidad requeridas, es por ello que el enfoque de Prevención y no solamente del Control de Calidad es importante implementarlo en las empresas Lean a través de sistemas *Poka-Yoke* y *Ándon*.



6. *Mal Concepto de utilización al 100% del tiempo máquina.*

Aunque reconozco la importancia para los costos de producción el hecho de utilizar la capacidad instalada, no debe olvidarse que la producción sólo tiene sentido si hay una necesidad del Cliente, orden de producción o como quiera llamársele, de modo que querer tener en operación una máquina al 100% originará producción en lotes de un mismo modelo para el cual aún no hay una demanda real.

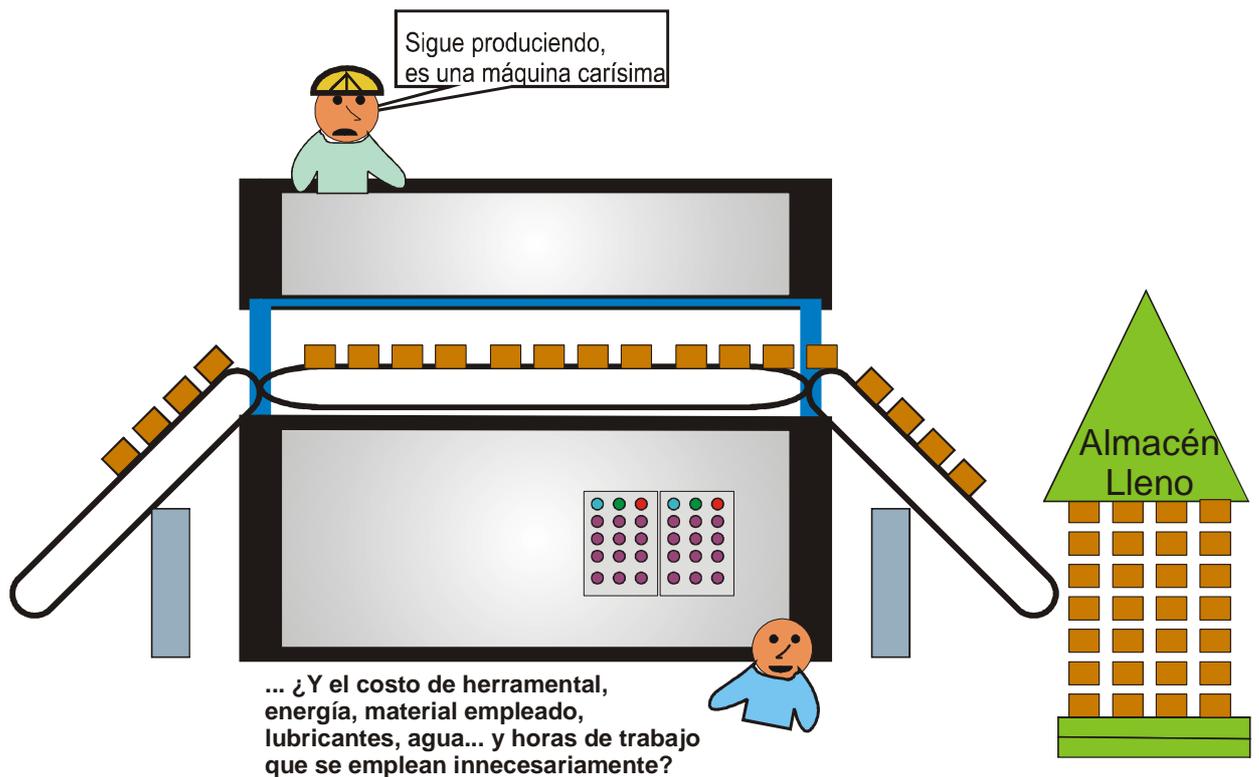


Figura 28 Sobreproducción por utilizar equipos al 100%

La técnica “Flujo de una sola pieza” empleada por Lean representa la forma ideal en que deben moverse las órdenes de producción de los Clientes a lo largo de un proceso, en vez de la forma usual de producción en Bache –lotes- que se hizo costumbre con la producción en serie.

A pesar de las dificultades a corto plazo que se presentan al adoptar “flujo de una pieza”, se tienen las siguientes ventajas²:

1. Construir Calidad. Dado que un sistema donde busca reducirse el flujo de materiales obligadamente requiere ir reduciendo su nivel de rechazo.
2. Motiva el trabajo en equipo. Puesto que necesita que los equipos de trabajo se avoquen a mejorar rápidamente problemas de calidad.
3. Eleva la productividad al reducir el tiempo total de fabricación.
4. Aumenta el espacio disponible en la planta al no ocuparlo en inventarios entre las operaciones.

² Liker J. “The Toyota Way” . Mc-Graw Hill , 2004, pp 95 y 96.

4.1.4 Conceptos Importantes en el Flujo de una Pieza

Por otro lado, una herramienta empleada en los sistemas de producción Lean es el Buffer, herramienta que debe verse como una solución para mantener un flujo constante de piezas por falta de capacidad en alguna parte del proceso.

- **Buffer o buffer stock**

Inventario que protege a la compañía en caso de que en un periodo muy corto, haya un aumento en la demanda que supere la capacidad de producción³.

El buffer stock tiene las siguientes características:

1. Nivel constante (Se debe mantener la mayoría de las veces y reponerse de inmediato en cuanto se usa).
2. Identificación clara del área para cada tipo de pieza.
3. Un área asignada (desperdicio de espacio).⁴

La finalidad de este pequeño inventario entre los procesos es evitar falta de producto a las líneas siguientes de modo que el flujo de productos sea arrastrado por un sistema de “jalar” mejor conocido como **pull**. Las siguientes imágenes muestran cuando debe ocuparse esta técnica y cómo se observa a nivel de piso.

A nivel de piso con Buffer:

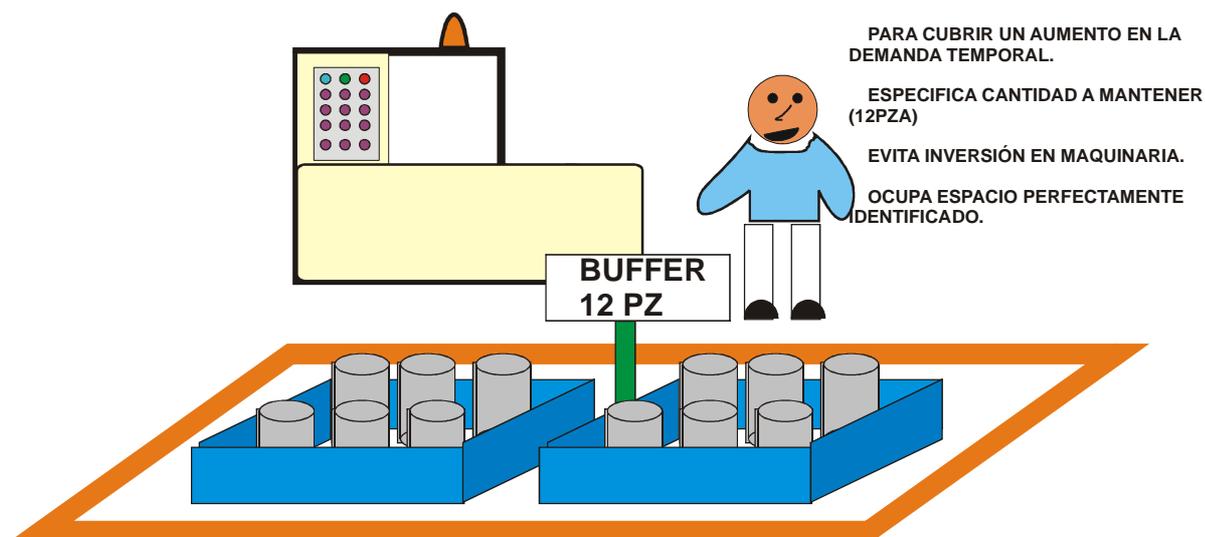


Figura 29 Buffer Stock

³ Villaseñor A. y Galindo E. “Conceptos y reglas de Lean Manufacturing”. Limusa, México, 2007, pp.17

⁴ *Ibidem* pp.121.

- **Sistema Pull**

Es un sistema de producción que sigue el principio Lean de jalar desde el Cliente esto es mover los productos e información únicamente cuando un proceso posterior – downstream -indica la necesidad al proceso anterior –upstream.

El sistema pull requiere de elementos que faciliten la comunicación de las necesidades de los consumidores a las líneas de producción, es por ello que el sistema de producción Toyota, desarrollo una herramienta sencilla pero de gran utilidad al administrar la producción a nivel de piso que son los Kanban.

4.2 Kanban

4.2.1 Definición

Es una tarjeta que garantiza comunicación entre un Cliente (proceso posterior) a un Productor (proceso anterior) e implementado en un proceso sirve para controlar la producción, el transporte de materiales y el inventario en todo el Sistema de producción⁵.

Esta herramienta aunque nació en los sistemas de manufactura como Toyota, ha sido aplicado a otras áreas como suministros dada la simplicidad y la ventaja que ofrece un sistema de comunicación visual como el Kanban.

Dado que como estudiante no es muy común estar familiarizado con el movimiento de materiales en una fábrica, comenzaré definiendo cómo funciona a nivel de piso la fabricación usando Kanbans. Sin embargo, no conocer cómo se realiza el movimiento sin Kanbans será una ventaja para entender esta herramienta pues le resultará lógico su funcionamiento.

⁵ Sipper D. “Planeación y Control de la Producción”. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V, México, 1998, pp.566.

4.2.2 Sistema de Tarjetas duales

Para que la comunicación con Kankan funcione se requieren:

1. Dos actividades en las que dependa una del suministro de la otra.
2. Los siguientes actores:
 - 1- Operador de la actividad 1 (OP1)
 - 2- Operador de la actividad 2 (OP2)
 - 3- *Repartidor o Waterspider (WS)*. Posible prescindir de él si el lay-out del proceso lo permite.
3. Número de recipientes igual al número de Kanban en la línea.
4. Un buzón para Kankan de transporte (T Kanban) y uno para Kanban de producción (P Kanban).

A continuación se muestra un ejemplo de cada tipo de Kanban [Monden 1993].

Kanban-T

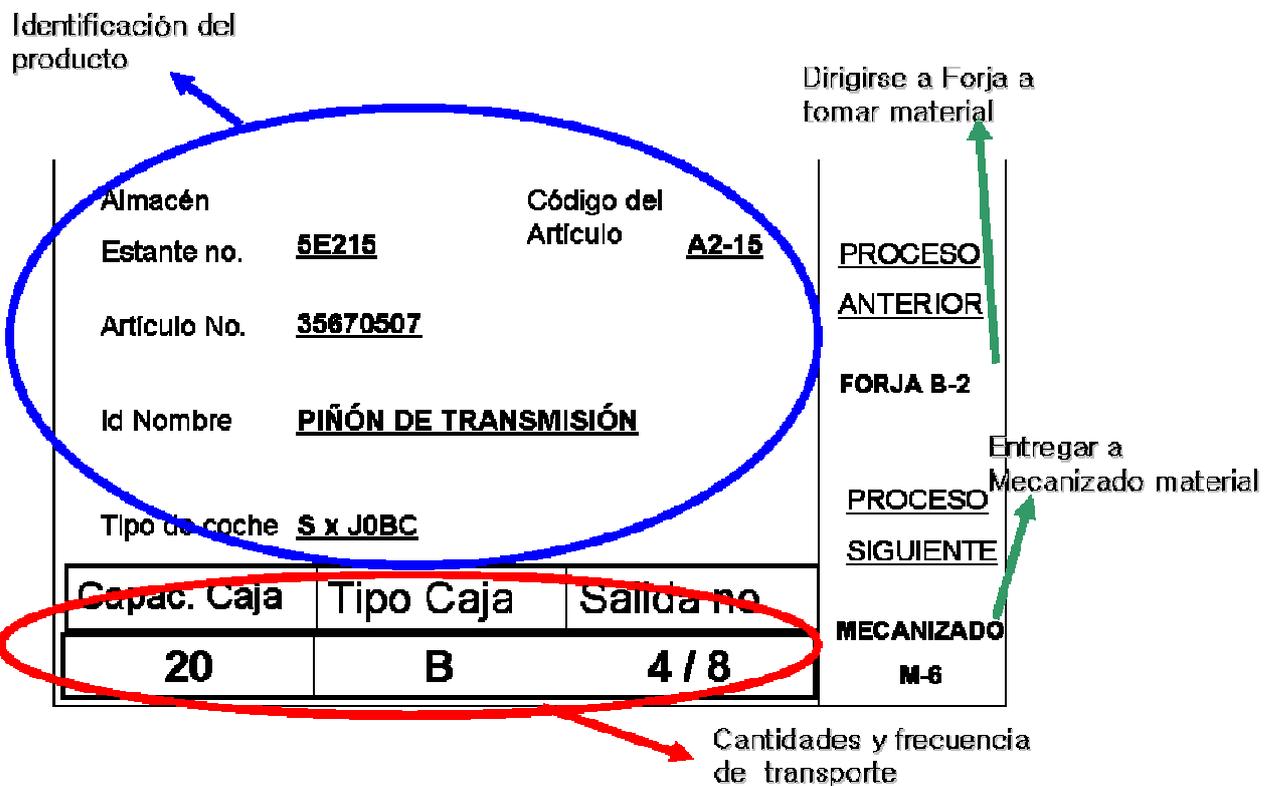
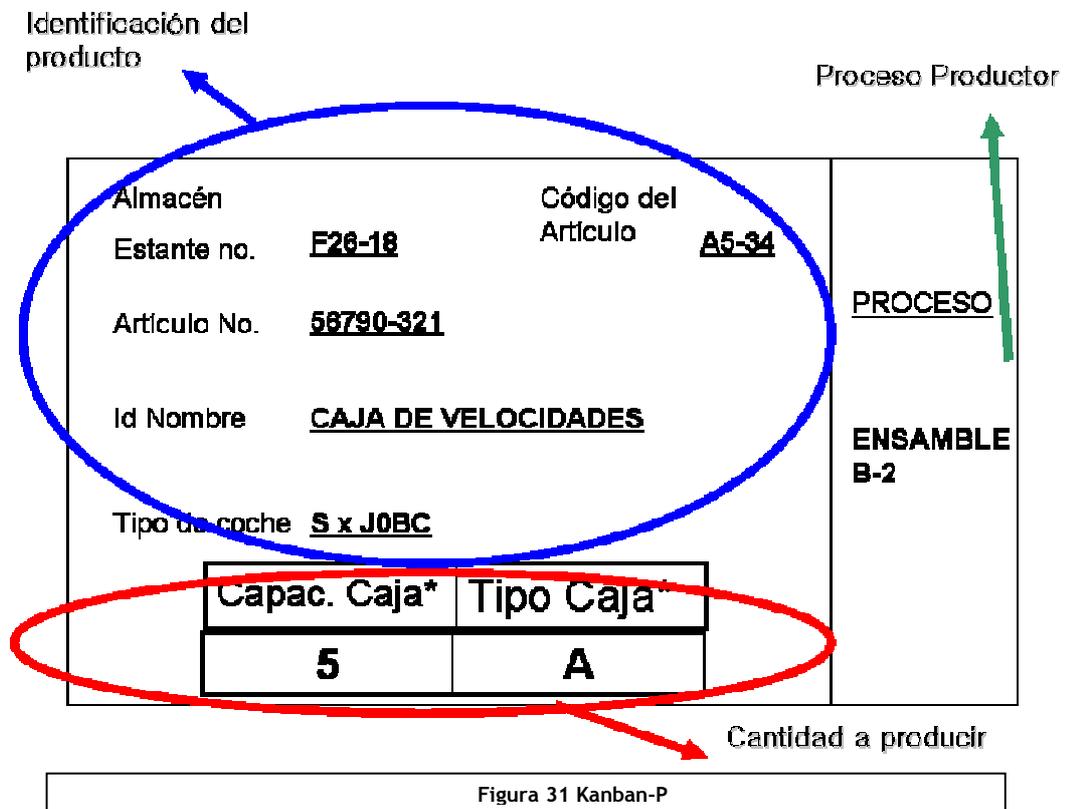
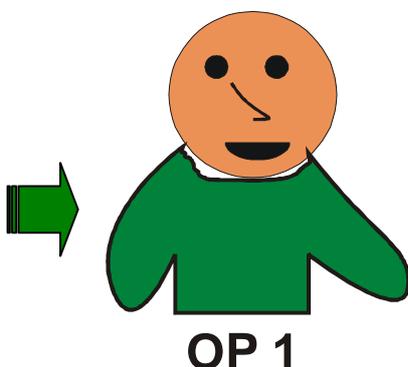


Figura 30 Kanban-T

Kanban-P



Al implementar Kanban en la línea tal vez lo más importante es que se respeten por los operadores de forma que será necesario explicar a los operadores su función; lo que se describe a continuación:



1. REvisa si **HAY KANBANS "P"** EN SU BUZÓN "P" SI HAY ENTONCES DEBERÁ PRODUCIR DE LO CONTRARIO NO HAY NECESIDAD.
2. TOMA T-KANBAN DEL RECIPIENTE DE MATERIAL A PROCESAR, **COLOCA EL T-KANBAN EN BUZÓN "T"**
3. PROCESA EL MATERIAL Y AL TERMINAR LA CANTIDAD INDICADA POR EL KANBAN COLOCA SU PRODUCTO EN RECIPIENTE DE PRODUCTO TERMINADO, **COLOCANDO EL KANBAN "P" EN EL RECIPIENTE.**
4. REGRESA A VER SI HAY MÁS KANBAN "P" AL BUZÓN P DE SU LÍNEA.

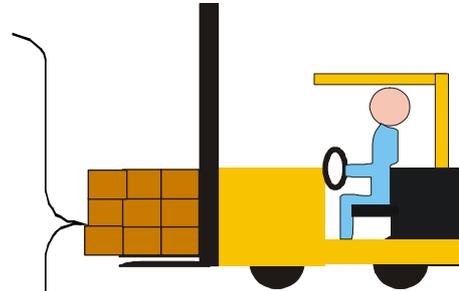
Figura 32 Operador 1

1. PERIÓDICAMENTE **REvisa ENTRE LAS LÍNEAS SI HAY T-KANBAN EN BUZÓN T**. SI LO HAY SERÁ NECESARIO TRANSPORTAR MATERIAL

2. TOMA P-KANBAN DEL RECIPIENTE DE MATERIAL PROCESADO POR **OP1**, **COLOCA EL P-KANBAN EN BUZÓN "P" DE Op1** Y PEGA T-KANBAN EN EL RECIPIENTE.

3. **TRANSPORTA** EL RECIPIENTE DE Op1 A Op2.

4. **REvisa SI HAY MÁS KANBAN "T"** POR ATENDER EN ESTA O LAS DEMÁS LÍNEAS.



WS

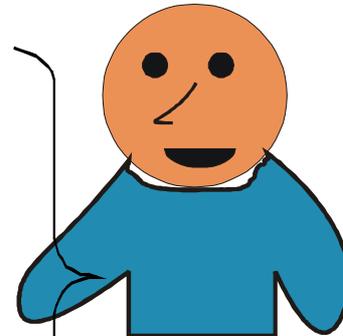
Figura 33 Water Spider

1. **REvisa SI HAY KANBANS "P" EN SU BUZÓN "P"** SI HAY ENTONCES DEBERÁ PRODUCIR DE LO CONTRARIO NO HAY NECESIDAD.

2. TOMA T-KANBAN DEL RECIPIENTE PRODUCIDO POR **OP1**, **COLOCA EL T-KANBAN EN BUZÓN "T DE SU LÍNEA"**

3. PROCESA EL MATERIAL Y AL TERMINAR LA CANTIDAD INDICADA POR EL P-KANBAN COLOCA SU PRODUCTO EN RECIPIENTE DE PRODUCTO TERMINADO, **COLOCANDO EL KANBAN "P" EN EL RECIPIENTE**.

4. **REGRESA A VER SI HAY MÁS KANBAN "P" AL BUZÓN**



OP 2

Figura 34 Operador 2

Ahora ya que se tiene entendido la acción de cada participante, se muestra a continuación los recorridos de cada tipo de Kanban en las líneas de producción [Basado en el recorrido de Kanban de Daniel Sipper].

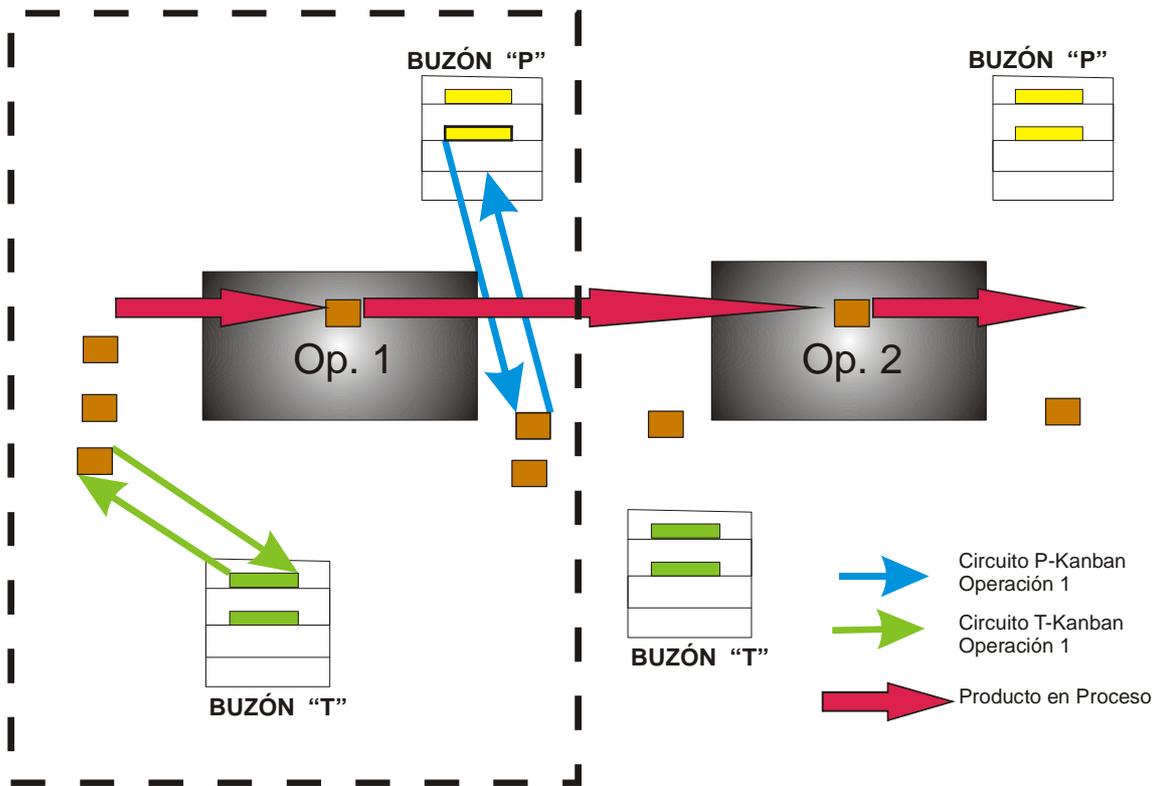


Figura 35 Recorrido de los Kanban en un proceso

4.2.3 Kanban, ventajas y consideraciones.

Asociado a los principios Lean del capítulo 2 de esta tesis, Kanban garantiza que el Cliente vaya jalando el producto conforme lo necesita -un sistema pull-, al comunicar rápidamente qué producir, en el momento adecuado y en la cantidad necesaria. Esto debido a que genera una interdependencia mutua entre las estaciones de trabajo (Operación 1 – Operación 2). Por un lado la segunda operación comunica a la primera la necesidad de producir –Kanban P- y la primera da aviso a la segunda de que su producción esta lista –Kanban T- de forma inmediata, evitando **demoras** en los procesos.

Los Kanban al ser una herramienta para administrar la producción, tienen las siguientes ventajas:

1. Reducir el riesgo de sobreproducción⁶ y todas sus consecuencias analizadas en el capítulo 3.
2. Reduce el trabajo en proceso por lo que disminuye el capital de trabajo así como el espacio con que debe ser diseñada cada celda de producción.

⁶ Toshiko Narusawa y John Shook. "Kaizen Express: Fundamentals for your Lean Journey". Lean Enterprise Institute, 2009. Pp26

3. Reduce los efectos causados por los errores de los pronósticos pues se ajusta a una demanda diaria real aspecto que los planes maestros de un MRP no puede modificar rápidamente⁷.
4. Comunicación más rápida y precisa de lo que debe producirse.

Pero deben tenerse las siguientes consideraciones al colocar Kanbans en las líneas de producción.

- REGLAS KANBAN -

1. El número de contenedores de materiales en las líneas es igual al número total de kanbans (T's+P's). [Sipper, 1998]
2. Todo contenedor debe tener una etiqueta (Por el sistema de remplazos P-T o de T-P).
3. Nada se mueve sin una tarjeta.
4. El P - Kanban autoriza producir.
5. El T- Kanban autoriza los transportes.
6. El número de Kanbans en la línea permanece constante.
7. Productos defectuosos no deben pasarse al proceso siguiente.

4.2.4 Calculo de Kanbans

Existen diferentes técnicas para calcular el número de Kanbans. Comenzaré presentando la fórmula presentada por Sipper por parecerme la más sencilla de calcular, después presentaré dos fórmulas adicionales con sus observaciones.

FÓRMULA 1: (Monden 1993)

N= número de Kanbans P y T para una parte dada

D= demanda por unidad, casi siempre un día (D es la demanda balanceada)

L = Tiempo de entrega promedio para el Kankan, en fracciones de día. ($t_w + t_o = L$)

t_o = tiempo promedio de procesado promedio por contenedor, en fracciones decimales de día.

⁷ Monden Y. "El Sistema de Producción Toyota". Editorial CDN Ciencias de la Dirección, S.A. Madrid, España, 1987, pp.74.

t_w = espera promedio durante el proceso de producción más tiempo de transporte por contenedor en fracciones decimales.

C = Capacidad del contenedor, en unidades de productos (no más del 10% de la Demanda diaria)

A = Coeficiente de seguridad (no más de 10%)

Entonces⁸:

$$L = t_w + t_o ;$$

$$N = \frac{[D L (1 + A)]}{C}$$

Y para calcular el tipo de Kanban:

Sea:

$$N = N_P + N_T ;$$

N_P = Número de P-Kanban N_T = Número de T-Kanban

$$N_P = \frac{[D t_w (1 + A)]}{C}$$

$$N_T = \frac{[D t_o (1 + A)]}{C}$$

Ejemplo:

En una línea se desea instalar un sistema de tarjetas Kanban. Se tiene una demanda balanceada de $D=900$ pz/día, los contenedores una capacidad de $C=15$ pz/contenedor y se busca un amortiguamiento del 8% del material en proceso. El tiempo de procesado es de 0.05hr/pz y el tiempo de espera promedio para el suministro es de 0.12hr

$$N = \frac{(900 \times (0.05 + 0.12) \times (1 + 0.08))}{15} \approx 11 \text{ KANBAN}$$

⁸ Sipper D. "Planeación y Control de la Producción". McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V, México, 1998, pp.567.

PARA DETERMINAR EL TIPO DE KANBAN:

PARA TIPOS P:

$$N_p = \frac{[900 \times 0.12 \times (1 + 0.08)]}{15} = 7.776 \approx 8$$

PARA TIPOS T

$$N_T = \frac{[900 \times 0.05 \times (1 + 0.08)]}{15} = 3.24 \approx 3$$

**Personalmente yo invertiría las fórmulas de estimar los tipos de Kanban descritas por Daniel Sipper ya que atendiendo al ejemplo anterior y si se invirtieran las fórmulas como lo sugiero, se tendría algo lógico en suministros: tener un poco de más material atrás de la línea en caso de que mi proveedor tenga un tiempo de reacción mayor que el de mi producción, en otras palabras, la lógica señala que habrá que pedirle más al proceso que genera mayor incertidumbre. Por lo que para el ejemplo anterior debería de haber desde mi punto de vista 8 Kanban tipo T y 3 Kanban tipo P.*

FÓRMULA DOS⁹:

KANBAN-P

$$N_p = \frac{D}{(C \times \text{Transportes por día}_p)} + A; \quad A=1$$

$$\text{Transportes por día}_p = \frac{\text{Tiempo de operación al día}}{\text{Intervalo entre transportes} + \text{Lead Time del Proceso}}$$

⁹ Tomada del Curso “TPS and Job Site Improvement” de ChuSanRem (Japan Industries Association), 2010.

KANBAN-T

$$N_T = \frac{D}{(C \times \text{Transportes por día}_T)} + A; \quad A=1$$

$$\text{Transportes por día}_T = \frac{\text{Tiempo de operación al día}}{\text{Intervalo entre transportes}}$$

Ejemplo:

Una operación tiene una demanda balanceada, $D= 1000\text{pc/día}$, planea implementar Kanban en su línea con contenedores de capacidad $C= 20\text{pc/contenedor}$. El tiempo de operación es de 8hr y se planea para un intervalo de recogidas de 1hr . El Lead time del Proceso es de 0.5 hr (Lote de $20\text{pc} \times 0.02\text{hr/pc} + \text{Set up de } 0.1\text{hr}$). ¿Cuántos Kanban habrá en la línea?

Datos	
D [pc/día]	1000
C [pc/cont.]	20
A	1
Frec. Recogidas [hr]	1
Tiempo de Operación [hr/día]	8
Lead time de Proceso [hr]	0.5
Tiempo por pieza [hr/pc]	0.02
Tamaño de Lote [pc]	20
Tiempo de Preparación-Setup [hr]	0.1

Análisis

$$N_p = \frac{1000}{\left(20 \times \frac{8}{1+0.5}\right)} + 1 = 10.375$$

$$N_T = \frac{1000}{\left(20 \times \frac{8}{1}\right)} + 1 = 7.25$$

$$N_p = 10.375 \approx 10 \quad \text{y} \quad N_T = 7.25 \approx 7$$

$$N = 10 + 7 = 17 \text{ KANBAN}$$

Personalmente yo no usaría esta segunda fórmula ya que el hecho de trabajar más horas, no debe implicar más Kanban (más WIP), como menciono en las “reglas Kanban” el flujo de materiales simultáneamente en la línea permanece constante. Sin embargo se presenta pensando en que al aplicar en un proceso el sistema de tarjetas Kanban, puede ser útil tener otra propuesta.

4.2.5 Kanban Triangular (Signal Kanban)

Este es un tipo especial de Kanban y aunque Monden menciona más tipos, en su libro “Sistema de Producción Toyota”, mencionaré este tipo especial por considerarlo de utilidad para los procesos que tienen mayores limitantes para la fabricación en pequeños lotes (Ejemplo Fundición por el enfriamiento de los materiales y la preparación del proceso). Este sistema de información consiste en dos tipos de tarjetas; se mantiene el Kanban-T y **se sustituye** el Kanban-P por un tipo especial llamado Kanban triangular (Kanban-S) el cual consiste en una etiqueta triangular colocada en un contenedor específico del total del lote y la información que debe contener se muestra en la imagen.

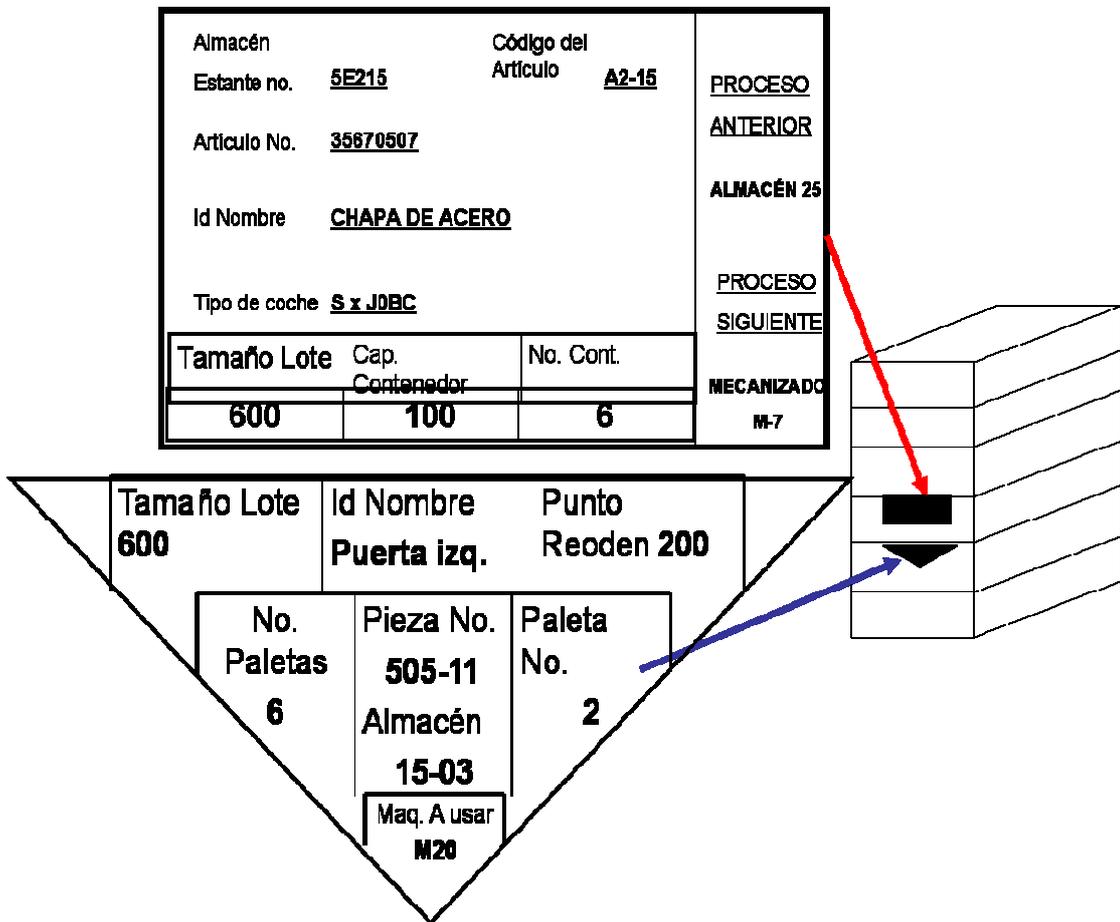


Figura 36 Kanban Triangular

- Este Kanban se debe utilizar para procesos donde se requieren lotes de cientos de piezas, dependerá esta cantidad según cada proceso.
- El Kanban Triangular señalará el **punto de reorden**.
- El Kanban triangular puede emplearse como medida temporal mientras se logran reducir los tiempos de Set Up a través de SMED.

Para determinar el Cálculo de Kanbans de este tipo, en la bibliografía consultada se tiene la siguiente fórmula que si se observa es similar a la fórmula uno mencionada anteriormente.

4.2.5.1 CÁLCULO DE KANBANS TRIANGULARES ¹⁰:

N_s = Número de Kanbans triangulares

D= demanda por unidad, casi siempre un día (D es la demanda balanceada)

C= Capacidad del contenedor, en unidades de productos

A = Coeficiente de seguridad

$$N_s = \frac{(\text{Tiempo de Proceso} + \text{Tiempo de preparación de máquina}) \times D}{(\text{Tiempo de Operación al día} \times C)} + A ; A=1$$

Ejemplo:

Un proceso de forja -proceso que debido al tiempo perdido en cambios requiere producción en lotes grandes- cuya demanda balanceada es de D= 2000pc/día usará contenedores para transporta las piezas con capacidad C = 50pc/Kanban. El tiempo de Operación es de 8hr y el tiempo de procesamiento es de 0.002 hr/pc, el Tamaño de Lote es de 500pc y el Tiempo de preparación de máquina= 0.2hr. ¿Cuántos Kanban triangulares se requerirán?

¹⁰ *Ibídem.*

$$N_s = \frac{((0.002 \times 500) + 0.2) \times 2000 \text{pz}}{(8 \text{hr} \times 50 \text{pz})} + 1 = 6 \quad \text{Kanban Triangulares}$$

4.2.6 Kanban de Proveedor (Delivery Kanban)

Este tipo de Kanban se utiliza en las entregas de materias primas, por lo que ayuda a administrar el flujo de materiales en las cadenas de suministro, a través de una herramienta visual y sencilla como es el Kanban. Estrictamente este Kanban es un Kanban de transporte¹¹ pero con más elementos de seguridad y control como códigos de barra, horarios de entrega, sitios de entrega, etc. para tener mayor seguridad con respecto al proveedor.

Identificación de proveedor y planeación de pedidos

Información del pedido

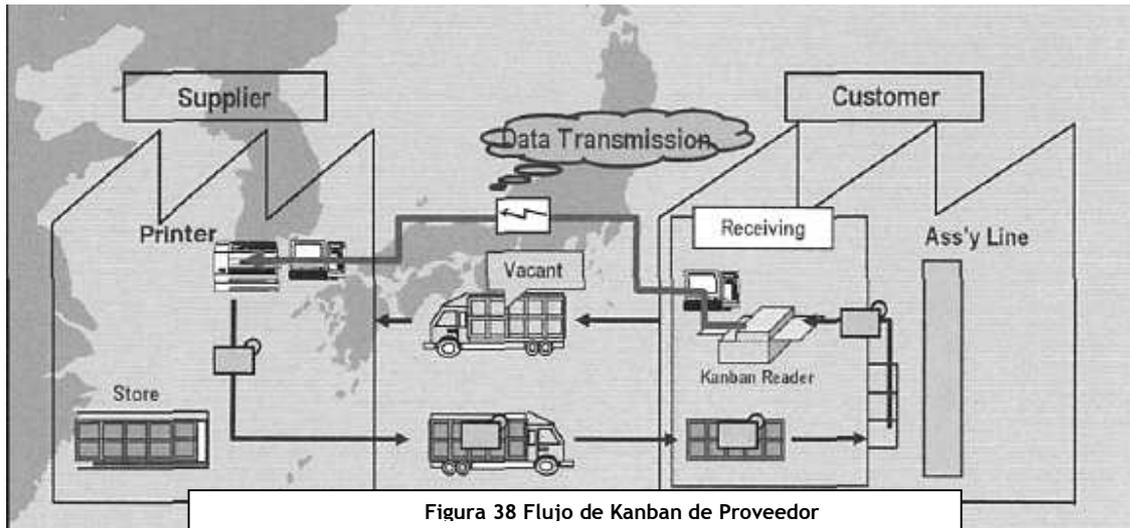
Lugar y área de entrega

Horas de Entrega: 8:00 21:00 11:00 24:00 16:00 4:00 Almacén del Proveedor: 4 Nombre del Proveedor: <u>SUMITOMO DENKO</u> Ciclo de Entrega: <u>1-6-2</u>	Código del Artículo: <u>A2-16</u> Nombre del Artículo: <u>parabrisas</u> Tipo de Caja: <u>S</u> Capacidad Caja: <u>10</u>	DESTINO: Toyota's Tsutsumi Plant ÁREA DE ENTREGA: ENSAMBLE 36
		

Figura 37 Kanban de Proveedor

¹¹ Monden Y. "El Sistema de Producción Toyota". Editorial CDN Ciencias de la Dirección, S.A. Madrid, España, 1987, pp.20.

Un importante apoyo a este tipo de Kanban resultan ser las Tecnologías de Información (TI), las cuales han facilitado la comunicación oportuna entre Proveedores y Clientes como se observa en la siguiente imagen que describe el flujo de materiales en una operación de suministros al generar Kanban de forma electrónica al proveedor¹².



4.2.6.1 CÁLCULO DE KANBANS DE PROVEEDOR:

N_E = Número de Kanbans de entrega.

D = Demanda por unidad, casi siempre un día (D es la demanda balanceada)

C = Unidades de productos involucradas por Kanban.

A = Cada cuantos días

B = Entregas por día

α = Valor entre 0.1 y 0.3. Dimensionalmente equivale a $[1/\text{Kanban}]$

M = Múltiplo del tiempo de cada entrega que equivale al tiempo que deberá transportarse la materia prima. En otras palabras Tiempo de entrega / Tiempo entre cada entrega.

Ciclo de Entrega: $A - B - M$

¹² Tomada del Curso “TPS and Job Site Improvement” de ChuSanRem (Japan Industries Association), 2010

Por tanto¹³:

Tiempo de Transportación = M x (Intervalo entre las entregas)

$$N_E = \frac{D \times \left[A \times \left(\frac{M+1}{B} \right) + \alpha \right]}{C}$$

Ejemplo:

El departamento de suministros planea insertar Kanban en sus operaciones para controlar los pedidos al proveedor. Su demanda de materiales al día es de $D = 313$ Pz, se planea utilizar la capacidad del camión con $C = 20$ Pz y se ha definido el siguiente Ciclo de entregas: 1-2-2. ¿Cuántos Kanban se deben soltar en esta cadena de suministro para administrar los pedidos y controlar el inventario? Considere factor de seguridad $\alpha = 0.2$.

$$N_E = \frac{313 \times \left[1 \times \left(\frac{2+1}{2} \right) + 0.2 \right]}{20} = 26.605 \approx 27 \text{ Kanban en flujo con Proveedor}$$

Es importante mencionar que el cálculo de Kankan que aquí se propone con las fórmulas anteriores, no debe verse como un esquema rígido, pues como se mencionó en las reglas Kanban, la idea es ir reduciendo el número de los mismos, lo cual se irá logrando conforme se reduzcan:

En el caso de Kanban del sistema Dual de Tarjetas:

- Tiempos de fabricación
- Tiempos de cambio de proceso
- Tiempos de Transportación entre procesos
- En caso de modificarse la demanda
- En caso de modificar la cantidad a transportar por recipiente

¹³ Tomada del Curso “TPS and Job Site Improvement” de ChuSanRem (Japan Industries Association), 2010.

En el caso del Kanban de proveedor:

- Si se reducen tiempos de transportación
- Si se modifica la demanda
- Si el tiempo de producción del proveedor disminuye
- Si el Cliente desea mayor cantidad de entregas al día

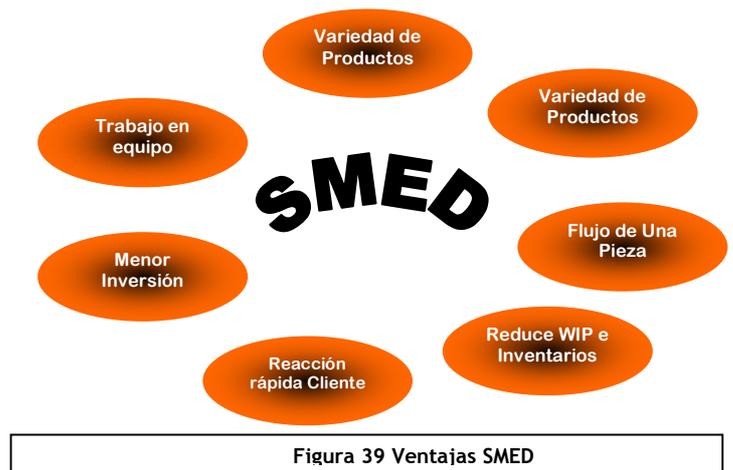
De hecho Toyota permite a sus supervisores definir el número de Kanban en la línea a fin de comenzar con un nivel de WIP en la línea que posteriormente irá reduciendo a través de la introducción de mejoras a su proceso¹⁴. Una de estas mejoras que tienen un gran impacto en la reducción de tiempos de producción y de tamaños de lote – requisitos importantes para utilizar Kanban- es la técnica que a continuación se menciona.

4.3 SMED o Cambio de Proceso en menos de diez minutos

4.3.1 Definición

Son una serie de técnicas desarrolladas por Shingeo Shingo para realizar los cambios de proceso en menos de diez minutos.¹⁵ Por esa razón es llamando Single-Minute-Exchange of Dies.

Si bien esta técnica es comúnmente asociada a la manufactura por tener resultados tangibles en ésta área, no debe perderse la generalidad que busca esta tesis para aplicar Lean a diferentes tipos de procesos. Por la facilidad que representa mostrar resultados enfocando esta técnica hacia manufactura, éste apartado versará sobre la aplicación de Lean a los procesos de manufactura y al final se hará una reflexión de cómo utilizar esta técnica a otros tipos de procesos.



¹⁴ Monden Y. op. cit. Pp. 200

¹⁵ Womack J. op cit. Pp.310

Agilizar los cambios de proceso a través de SMED ofrece las ventajas mostradas en la imagen lateral.

4.3.2 Estrategias para afrontar los cambios de proceso

En la experiencia de Shingeo Shingo, las estrategias de grandes lotes - entre ellas el de lote económico- y la especialización del personal no son soluciones satisfactorias al no atacar el problema de raíz que es: eliminar los desperdicios de recursos, principalmente tiempo, al ejecutar los cambios.¹⁶

ESTRATEGIAS COMUNES PARA EL CAMBIO DE HERRAMIENTAS	
ESTRATEGIA	DEBILIDAD DEL CONCEPTO
ESTRATEGIAS QUE IMPLICAN DESTREZA	Mano de obra altamente calificada –eleva los costos. Fragilidad del sistema al depender de los especialistas. Gran posibilidad de errores. Requieren cierto nivel de entrenamiento del personal y conocimiento de herramental.
ESTRATEGIAS DE LOTES ECONÓMICOS	Tiempos de respuesta al Cliente mayores a fin de aprovechar el cambio de proceso, no esta atacando el problema de raíz. Mantiene restringida la competitividad de la empresa al limitar la variedad de productos – claro ejemplo de ello fue la competencia entre las empresas japonesas y americanas que se mencionó en el primer capítulo de esta tesis.

Como se ha mencionado, el objetivo de Lean es ofrecer al Cliente productos a tiempo, diversos y en la cantidad solicitada a condición de ir eliminando los desperdicios del proceso para lograr mantener un flujo constante de operaciones y a un costo cada vez menor. Este flujo normalmente se ve interrumpido por los cambios de proceso debido a que la mayoría de estos cambios toman una proporción importante del tiempo de trabajo. Por citar un ejemplo, los cambios de proceso para cambiar de un tipo de pieza a otro en un torno automático de control numérico pueden tardar entre 30 y 90 minutos – piezas pequeñas, para piezas más grandes este tiempo puede ampliarse- que son de las maquinarias más flexibles en los procesos actuales de manufactura.

¹⁶ Shingo S. “Una revolución en la producción: El Sistema SMED” Ed. Tecnoaeronáutica S.A. Madrid, España, 1985. pp. 16-21.

4.3.3 División del Tiempo en los cambios de Herramientas

Así mismo, Shingeo Shingo en su experiencia determinó que los cambios de proceso en esencia constan de los siguientes pasos¹⁷:

OPERACIÓN	PORCIÓN DE TIEMPO
Aseguramiento de herramental, verificación de herramientas, materiales, etc.	30%
Montar y desmontar herramientas	5%
Medidas y Calibraciones	15%
Producción de piezas de ensayo y ajustes	50%



A su vez, en cualquiera

de estos pasos pueden pertenecer a las siguientes actividades:

- *Actividades de preparación interna (IED)*: que son las actividades que se realizan solamente cuando la máquina está parada. Por ejemplo montar y desmontar matrices.
- *Actividades de preparación externa (OED)*: siendo estas actividades las que pueden realizarse mientras la máquina esta en operación. Por ejemplo llevar el herramental de cambio hasta la máquina para hacer el cambio.

4.3.4 El procedimiento SMED

Así pues el procedimiento propuesto originalmente por Shingeo Shingo consiste en las siguientes etapas:

¹⁷ *Ibidem. pp. 29 y 30.*

Fase preliminar.

Es Aquella en la que las actividades del cambio de proceso no están diferenciadas entre IED y OED.

Primera Fase - Identificar entre IED y OED.

Consiste en diferenciar entre las actividades de tipo IED y OED para comenzar a realizar las actividades OED antes de que la máquina pare. Algo fácil de implementar es acercar las herramientas a la maquinaria antes de que la máquina termine la última pieza del lote. *Con ello se reducirá entre un 30% y 50% el tiempo de Set Up.*

Para llevar a cabo esta etapa propone:

- Grabar en video la operación y recibir opiniones e ideas de parte de los operadores.
- Entrevistas con los trabajadores

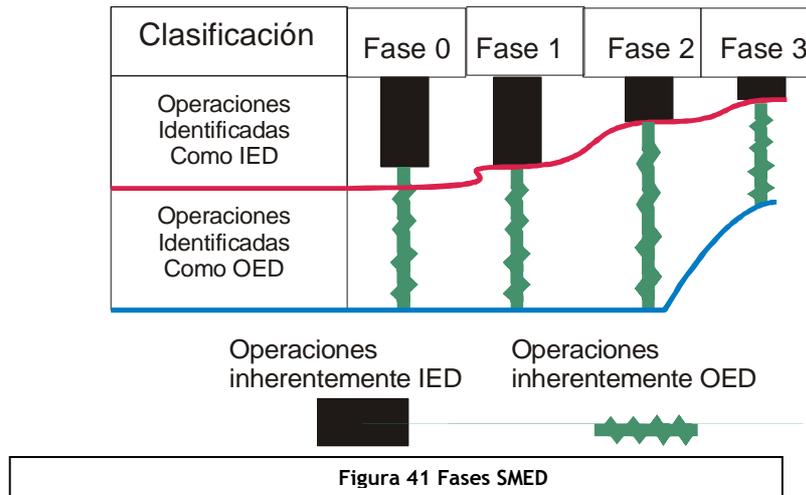
Segunda Fase - Convertir la mayor cantidad de IED que se puedan en OED.

Para ello deben de buscarse procedimientos que ayuden a sacar las actividades de la máquina y puedan realizarse externamente. Ejemplo de ello es eliminar el precalentado de moldes como actividad externa. *Hasta este punto se habrá alcanzado posiblemente la reducción del cambio hasta los 10 minutos¹⁸.*

Tercera Fase - Perfeccionar las actividades de preparación.

Implica un análisis detallado de cada operación elemental (sugiero el uso del diagrama bimanual). Donde puede involucrar mejora de las herramientas de cambio para realizar las actividades internas más rápidamente, como ejemplo cambiar de una llave Allen a una pistola de aire para enroscar las tuercas.

¹⁸ *Ibidem pp.33*



Lo anterior resume el proceso que debe seguirse para eliminar los desperdicios en cambios de proceso, sin embargo al implantarlo seguramente existirá la resistencia al cambio de procedimiento, por ello y basado en mi experiencia propongo el siguiente método:

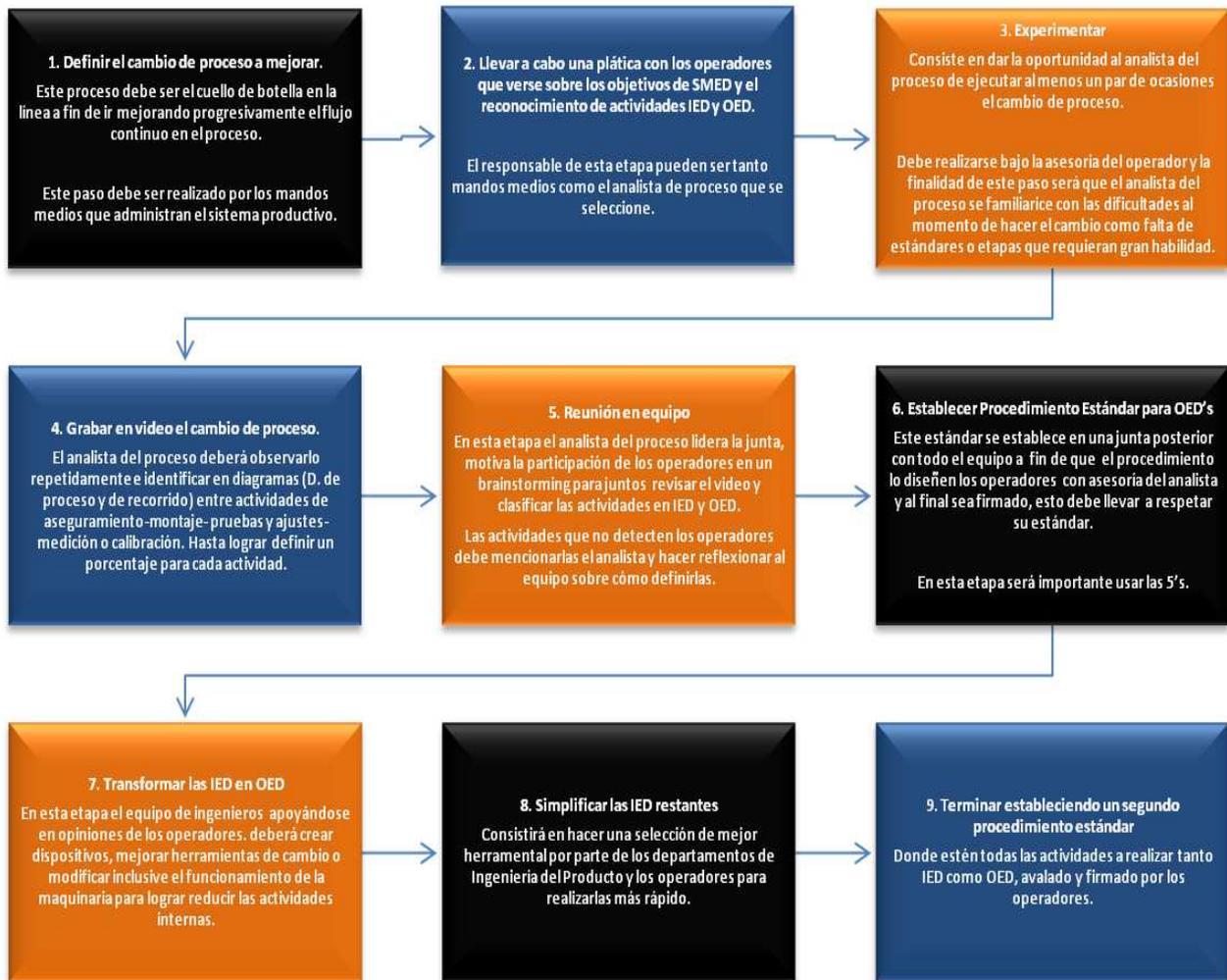


Figura 42 Procedimiento Sugerido para mejorar los cambios de proceso

Con este procedimiento así como lo establezco confío en tener por un lado la participación de los operadores al establecer estándares por ellos mismos y por otro lado el entendimiento del analista del proceso en la dificultad de las actividades para realizar los cambios a fin de reducir la dependencia en la experiencia del personal, con lo que se puede lograr el movimiento del personal a través de diferentes áreas pues el dominio de sus tareas no tomará tanto tiempo.

Adicionalmente quisiera señalar la necesidad de equipos SMED interdisciplinarios en las organizaciones para acelerar las mejoras. Dado que cada miembro de equipo posee una formación diferente podrá complementar el perfil de los demás miembros de su equipo. Así por ejemplo en un proceso de manufactura:

- *Los ingenieros industriales conocen del estudio de métodos y tiempos así como ergonomía y estandarización de procesos a través del apoyo visual y poka-Yoke.*
- *Los ingenieros mecánicos dominan áreas como resistencia de materiales, diseño de herramental y definición de herramientas para realizar montajes.*
- *Los operadores conocen las necesidades de su máquina y poseen usualmente gran destreza manual.*
- *Los ingenieros mecatrónicos y eléctricos dominan temas como instrumentación y control a través de la electrónica, útiles para automatizar la línea e identificar rápidamente errores.*

4.3.5 Ejemplos

A continuación se presentan algunos ejemplos manejados por Shingo para agilizar los cambios de proceso en determinados equipos con la finalidad de que el lector de esta tesis observe que las soluciones pueden ir desde algo simple como organizar actividades y hacer un listado de calibraciones hasta mejoras donde se modifique la operación de una máquina automática- estos ejemplos fueron tomados del libro de Shingeo Shingo.

Formas de llevar a cabo las OED's:

- Garantizar el suministro de piezas y herramientas** antes de que se termine de producir la última pieza del lote y comiencen las pruebas para calibrar la máquina.
- Usar una **mesa de comprobación** para tener el herramental identificado y completo antes de que para la máquina. Esta mesa consiste en un juego de siluetas específica para cada pieza requerida para el cambio, de modo que si se colocan las piezas encima, deben coincidir en tamaño

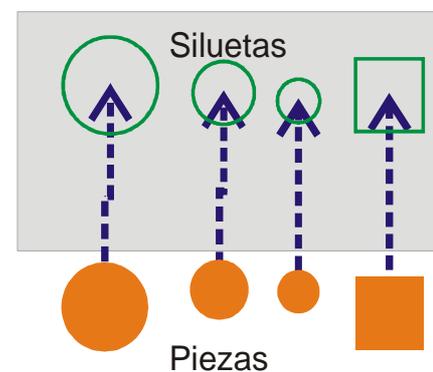
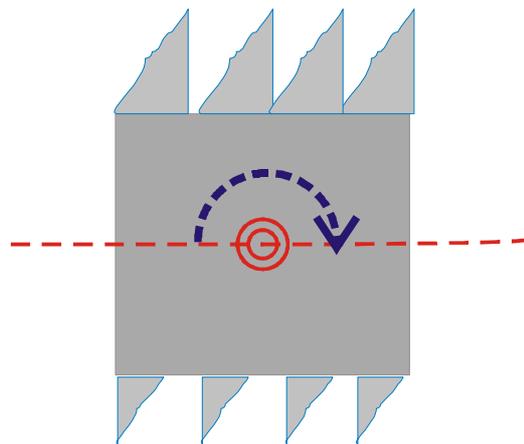


Figura 43 Mesa de Comprobación

y cantidad con las siluetas de la mesa- esta es una herramienta de control visual muy efectiva). Así mismo cada mesa de comprobación debe tener su lista a fin de no depender de la memoria del operador.

Formas de transformar IED's en OED's:

- 1) **En un proceso de fundición.** Para sacar la primera colada (lote) es común vaciar el metal caliente en un molde "frío" lo cual genera que un importante porcentaje de las piezas de la primer colada sean rechazadas – sin embargo se lograba un precalentado. Una solución fue utilizar una rejilla en la parte superior del horno de fundición donde se comenzaron a precalentar los moldes con el calor disipado por el horno. Con esto se elevó la productividad, se eliminó el precalentado como actividad interna y se redujo el rechazo.



Portaherramientas
rotativo 180°

Figura 44 Mejora del cambio de proceso al cambiar la operación de la máquina

- 2) **En el teñido de textiles.** En una empresa se realizaba el teñido sumergiendo una rejilla en una tinaja con pintura a cierta temperatura. Como el precalentado y la limpieza de la rejilla quitaban tiempo en la preparación, la solución fue: tener una tinaja auxiliar que precalentara la pintura además de tener una segunda rejilla a fin de limpiar una mientras la otra operaba lo que eliminó tiempos perdidos por precalentados y limpieza de las rejillas. **Cambio de mordazas en un torno automático.** Para los dos tipos de árboles de levas que producía esta máquina era

necesario retirar cuatro mordazas y volver a colocar cuatro mordazas para la pieza deseada, así que para eliminar tiempos perdidos se construyó un portaherramientas rotativo y se le montaron en la cara anterior las cuatro mordazas para piezas chicas y en la cara posterior las mordazas para piezas grandes, de forma que con presionar un botón el portaherramientas girara 180° y el cambio de proceso quedara listo.

Por último y para no perder la generalidad de aplicar las herramientas aquí expuestas a procesos de diferentes giros de empresa, busco señalar la flexibilidad que puede buscarse en otras empresas a través del concepto de SMED a través del siguiente ejemplo:

Uso de Tecnologías de Información para evitar largos tiempos de espera en un parque de diversiones.

Para facilitar el planteamiento de la situación retomemos el capítulo 1 de esta tesis y la situación descrita sobre los tiempos de espera de aproximadamente 1 hora para subir a los juegos mecánicos del parque.

Una manera de agilizar la subida de las personas y evitar los largos y angustiosos tiempos de espera a los clientes, podría ser con el apoyo de una página Web del parque en donde los clientes pre-registren la subida a los juegos mecánicos que desean, a cambio el cliente tendrá que formarse 15 minutos antes del horario que se establezca para la subida al juego (reduciendo su tiempo de espera promedio en cerca del 85%).

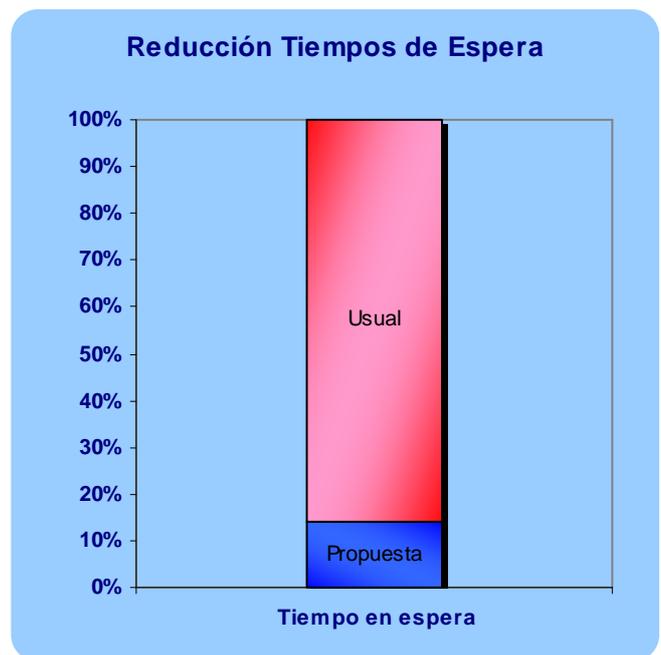


Figura 45 Reducción Esperada al usar Tecnologías de Información en el caso del parque de diversiones

Con esta explicación es como se cierra el análisis de dos de las herramientas que considero vitales en un sistema de producción Lean y que suelen ser de las menos conocidas para estudiantes de ingeniería (opinión personal), ahora me dedicaré en la sección de anexos a dar una breve explicación sobre herramientas y técnicas auxiliares que pueden emplearse para dar soporte a lo expuesto en este capítulo.

Capítulo 5: ANEXO

Como se ha mencionado en la introducción, muchas de las organizaciones que intentan adoptar un sistema Lean en sus operaciones, adoptan solamente algunas de las técnicas o herramientas de trabajo de la metodología por parecerles tentadores los resultados que pueden obtener para su organización, sin embargo terminan por desecharlas o por no sacar el provecho esperado y esto es debido a la falta de herramientas que ayuden a mantener las herramientas principales como Kanban, SMED, MPT, Operaciones estándar, entre otras.

Por ello en el presente capítulo describiré de forma breve las siguientes herramientas que deberán ser complemento de las técnicas y herramientas expuestas en esta tesis.

1. Control Visual
2. Cinco “S”
3. Nivelación de la producción
4. Operaciones Estándar
5. Poka-Yoke

5.1 Control Visual

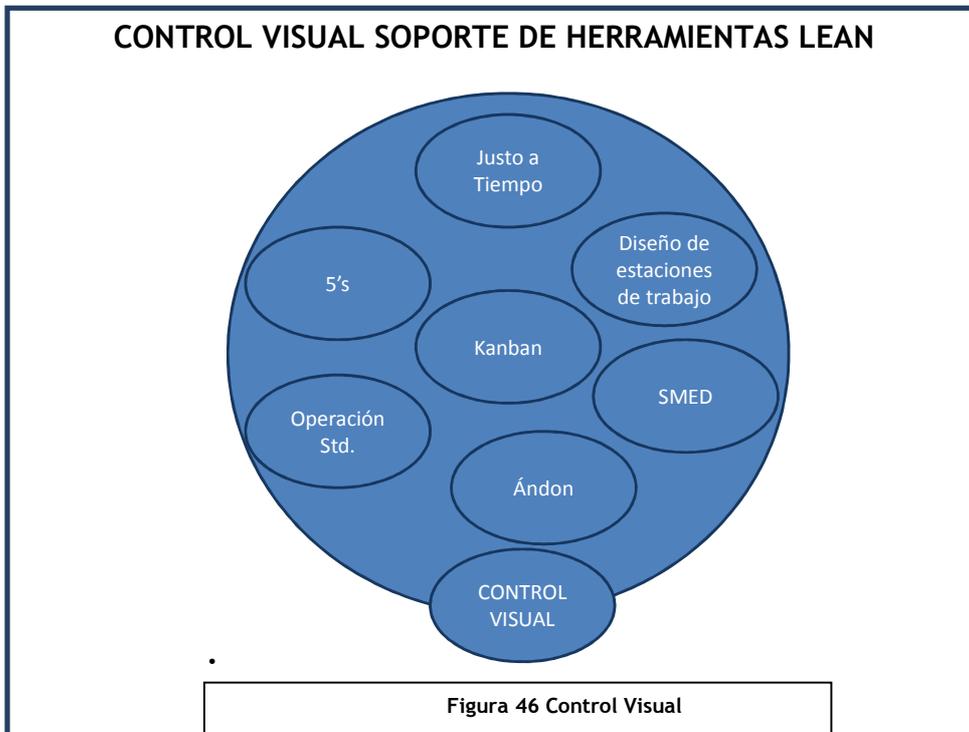
Significa permitir a TODOS reconocer si hay o no problemas, desorden o despilfarro de recursos en las operaciones¹.

Personalmente creo que es la técnica que apoya gran parte de la metodología Lean al permitirle comunicar:

- Metas alcanzadas o por alcanzar
- Comunicar el avance de proyectos
- Controlar el flujo de trabajo
- Señalar estados de alarma o emergencia en el proceso

¹ Hiroyuki H., Cuesta A., “El JIT. Revolución en las fábricas”. TGP Tecnologías para la Gerencia y Producción S.A.1990 pp. 174

- Identificar y Respetar los estándares
- Localización estándar de herramientas, información y materiales.



Algunos ejemplos de cómo se aplica el control visual son:

- Pintar en piso áreas de carga y descarga; área del buffer o áreas de materia prima.
- Luces andon que informen condiciones anormales en la línea para ser solucionadas rápidamente o detendrá a la línea (*ver imagen*).



Figura 47 Sistema Andon en una línea de Producción

- Pizarrón con el programa de producción semanal para conocer el cumplimiento de pedidos y saber cuando parar o bien adelantar el trabajo del siguiente día.
- Etiquetas indicadoras para cada montaje en los cambios de proceso.
- Paneles para dar a conocer objetivos del mes.
- Usar Kanban para conocer el estado de un pedido del Cliente.



Figura 48 Kanban y el Control Visual

- Usar Kanban para prevenir sobreproducción.
- Panel de mejoras en la planta, sirve para recordar lo que se ha logrado y también para motivar a las futuras mejoras.

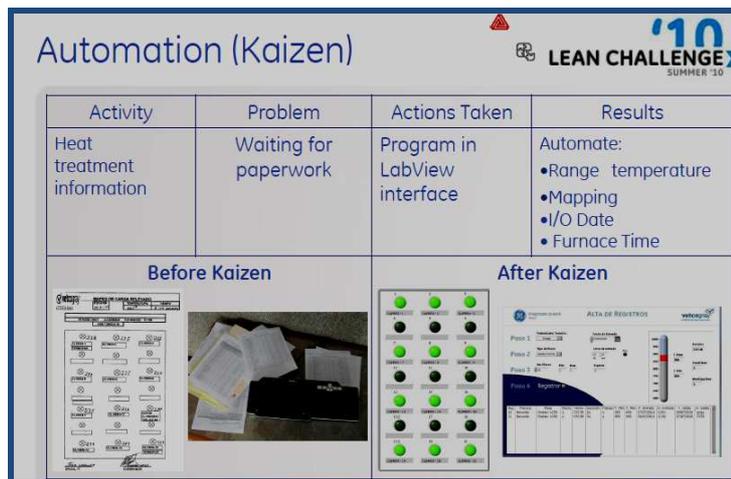


Figura 49 Muestra de mejoras en la línea

5.2 Cinco “S”

Son un conjunto de cinco principios para crear áreas de trabajo productivas, seguras y fáciles para quien las ocupe.

En esta sección y a fin de destacar la importancia del control visual, se marcará con (C.V.) a las recomendaciones que hagan uso del control visual.

Los 5 principios cinco “S” provienen del japonés sin embargo su adaptación al español es la siguiente:

Seleccionar y separar

Su finalidad es: *Quedarse con lo necesario, en la cantidad necesaria y en el momento oportuno.*

- Debe hacerse una revisión periódica de los materiales, mobiliario, maquinaria e información que hay en la estación de trabajo (oficina, línea de producción...).

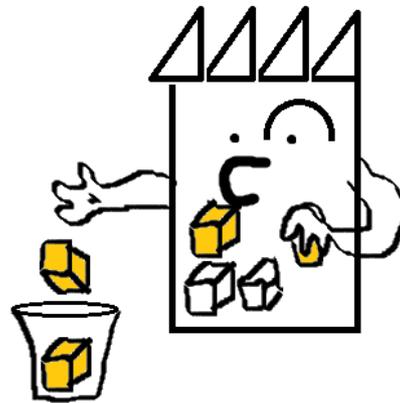


Figura 50 S-1

- Lleve a cabo una *Campaña de etiquetas rojas*(C.V.):

Consiste en etiquetar artículos, maquinaria, herramientas, documentos, etc. de los cuales se dude su utilidad en el área de trabajo a fin de que los trabajadores retiren la etiqueta sólo en caso de que sea necesario tener dichos objetos dentro del área de trabajo. Si no resultan necesarios entonces deberán de retirar los artículos del área de trabajo.



ACCIONES DE TARJETA ROJA			
Clasificación	1. Procesos		7. Submontajes
	2. Plantillas y herramientas		8. Productos acabados
	3. Medios de Inspección		9. Productos que deben rehacerse
	4. Primeras materias, suministros		10. Impresos
	5. Piezas		11. Documentos
	6. Trabajos en curso		
Denominación	EJEMPLOS: Documentos venta de seguros de 1996/ Resortes para ensamble		
Código			
Cantidad			
Razones de etiqueta	1. Innecesario	2. Defectuoso	3. No urgente
Departamento			Sección:
Fecha	Mes	Día	

* Tomada del libro " El JIT Revolución en las Fábricas", Hiroyuki Hirano.

Para llevar a cabo esta "S" se recomienda:

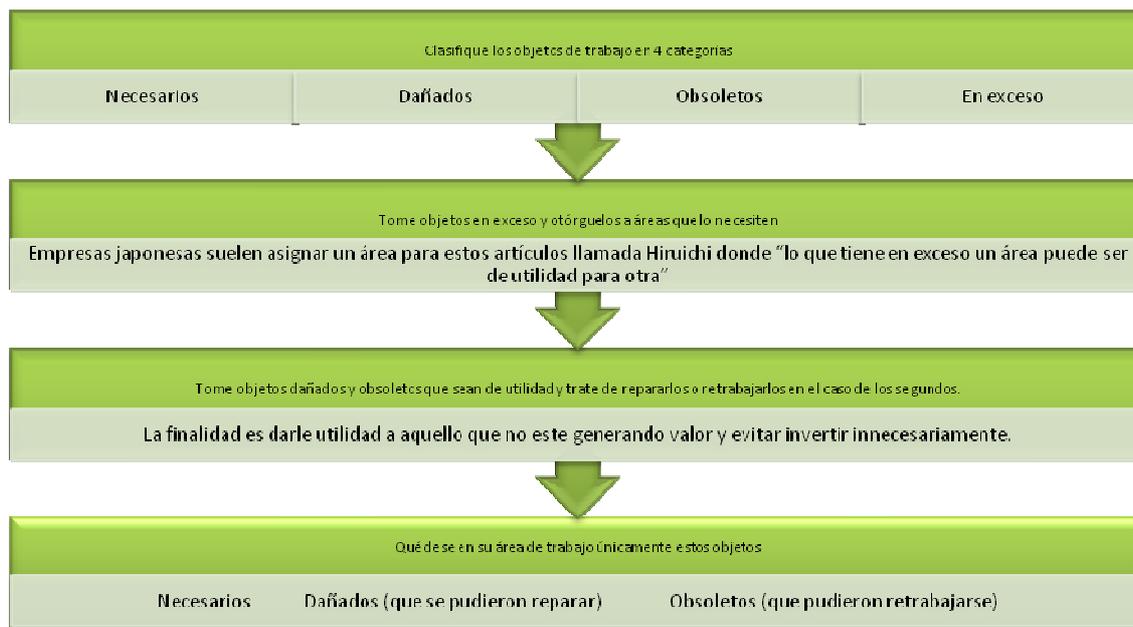


Figura 51 Procedimiento Aplicación de S-1

Ordenar

Su finalidad es: *Poder hacer uso de los recursos (materiales, equipo, herramientas e información) sin perder tiempo.*

- Asigne un área autoexplicativa de forma cualquiera sepa dónde encontrar lo que necesite².

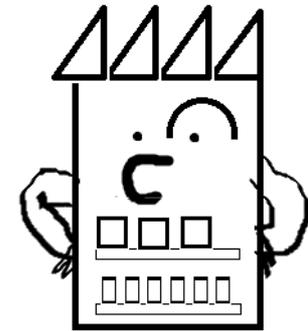


Figura 52 S-2

Para implementarlo se recomienda:

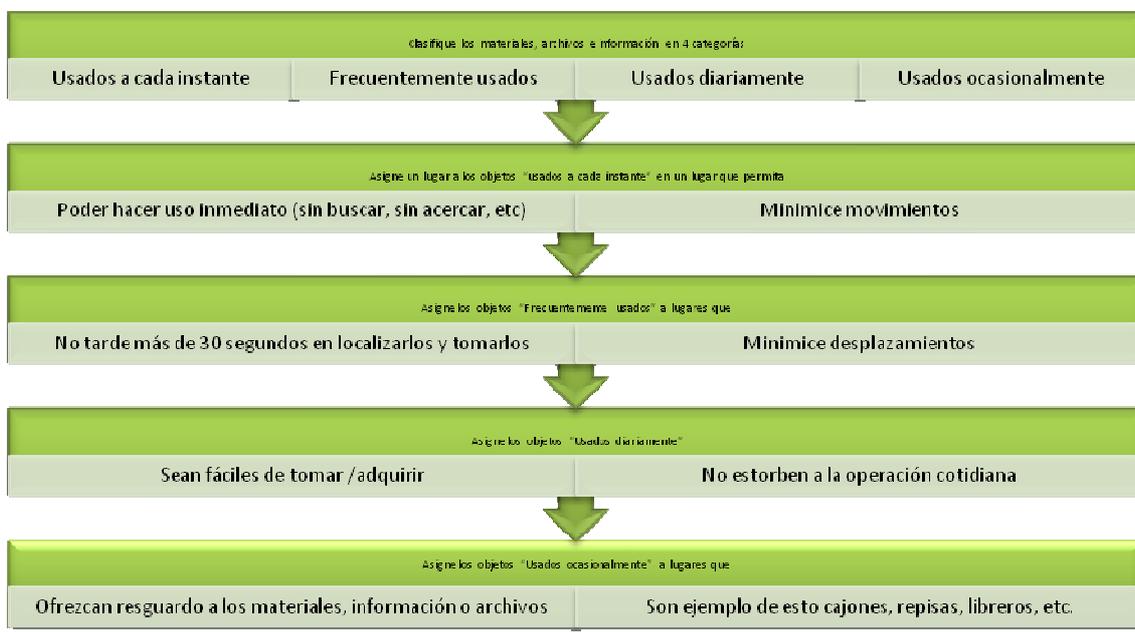


Figura 53 Procedimiento Aplicación de S-2

Limpiar

Su finalidad es: *Mantener en buen estado los instrumentos e información de trabajo así como los lugares donde se encuentran para prevenir fallas mayores al detectarlas a tiempo además evita que el desperdicio se acumule.*



Figura 54 S-3

² *Ibidem.* Pp.28

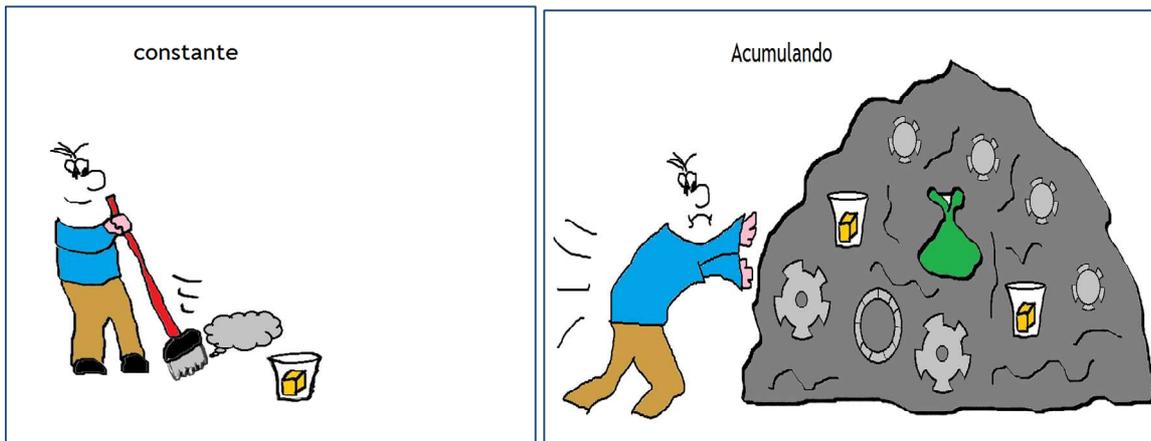


Figura 55 Constante vs Acumulando

Actividades a realizarse para implementarlo:

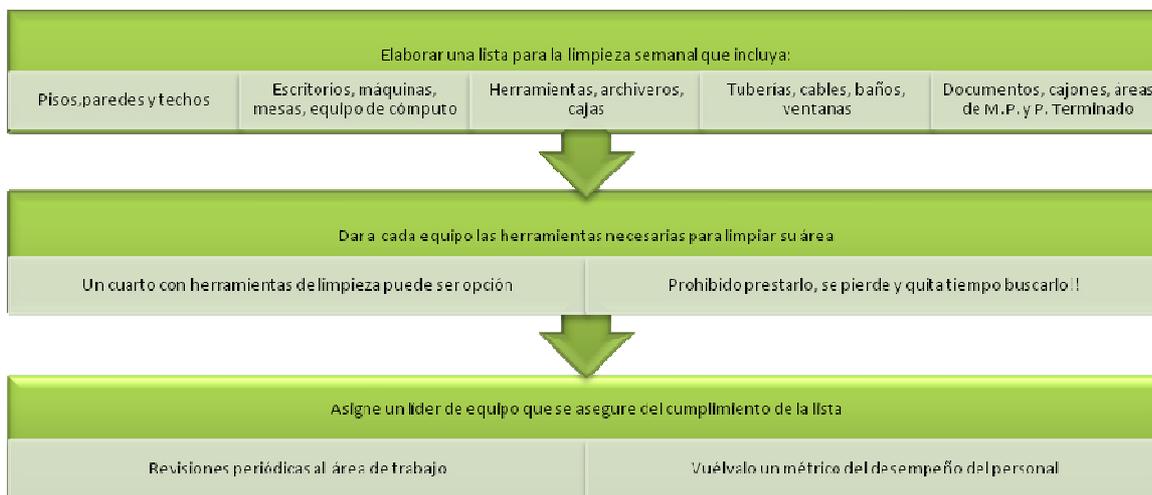


Figura 56 Implementando S-3

Estandarizar

Su finalidad es: *Hacer simple y repetitiva la organización y limpieza a fin de evitar que el desorden vuelva y que cada vez se realicen con más facilidad las S anteriores.*

Recomendaciones para estandarizar el área de trabajo:

- Asigne y señalice un área a cada artículo del lugar de trabajo para que: “cada cosa tenga su casa”. (*Control Visual*)
- Haga una lista y péguela a los cajones, almacenes o recipientes donde indique los artículos que contiene. (*C.V.*)

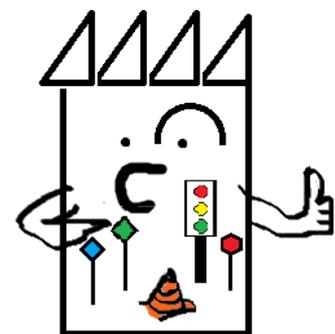


Figura 57 S-4



Figura 58 Listas en contenedores

- Evita armarios- Nada es Secreto e implica almacenar un activo. (C.V.)
- Es más fácil limpiar poco a poco que un gran lote de desperdicio.

Mantener- Disciplina

Busca que los resultados de los pasos anteriores perduren evitando:

- Acumular nuevamente desperdicios
- Tener más de lo necesario

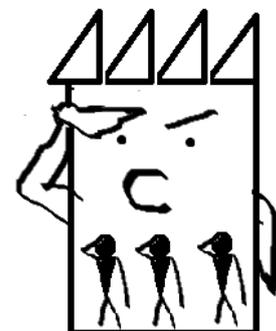


Figura 59 S-5

Además...

- Motiva al personal al tener un área permanentemente limpia, segura, autoexplicativa y cómoda.



Figura 60 Antes y Después de las 5-s

- Simplifica el trabajo

Observaciones finales:

5's puede ser una excelente manera de dar soporte a SMED al permitir que se realicen rápidamente:

- Actividades fuera de máquina (OED) al localizar rápidamente las herramientas para el cambio, tener el herramental organizado y disponible y estar seguros de su funcionamiento.
- Actividades dentro de máquina (IED) al tener organizadas las herramientas en la secuencia en que son utilizadas para el cambio y perfectamente señaladas.

5's al ser soporte para muchas técnicas y herramientas de Lean es usada por empresas japonesas como pilar de sus operaciones.

5.3 Nivelación de la Producción (Leveling-Off)

Es una técnica empleada por Lean para diversificar su producción diaria a fin de reducir el riesgo de mantener inventarios a través de la producción en lotes pequeños y tipos de producto diferente.

Debemos de recordar que Lean busca ajustarse lo más posible a las necesidades del Cliente sin perder de vista el resultado económico de la organización, parte vital de este ajuste tiene que ver con la variedad de productos que se es capaz de producir en un tiempo dado, por tal motivo buscará generar una secuencia de producción de lotes pequeños -o en el mejor de los casos pieza a pieza- de forma que se siga un ciclo repetible de producción. Por tanto las 2 variables que considera la nivelación: Cantidad de producto y tipos de producto.

5.3.1 Procedimiento para nivelar la producción³

Para explicar la nivelación se llevará al paralelo un ejemplo, para ello suponga la siguiente situación.

Una compañía presenta para el mes que se aproxima una demanda de 2600 unidades. Esta compañía trabaja 20 días al mes y maneja un solo turno de 400 minutos de trabajo al día. Tiene como productos al producto A,B,C y D con una demanda de 1000, 800, 600 y 200 unidades respectivamente. ¿Cuál debe ser la secuencia de producción?

1. Identificar la cantidad a producir para el periodo de tiempo en curso (recomendable 1 mes). *En el caso del ejemplo:*

Producto	Q / Mes
A	1000
B	800
C	600
D	200
Total	2600

³ ChuSanRem (Japan Industries Association), Curso “TPS and Job Site Improvement”, 2010.

2. Definir la cantidad a producir diariamente.

Producto	Q / Mes	Q / Día
A	1000	50
B	800	40
C	600	30
D	200	10
Total	2600	130

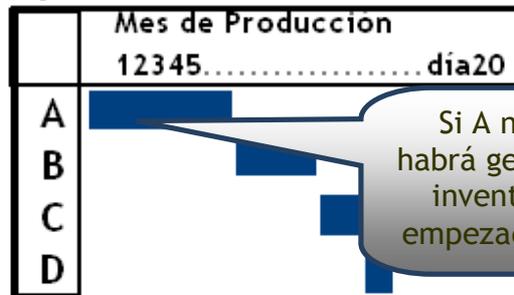
3. Definir el tiempo Takt para cada producto y el total de ellos.

Producto	Q / Mes	Q / Día	Takt [min/pza]
A	1000	50	10.00
B	800	40	10.00
C	600	30	13.33
D	200	10	40.00
Total	2600	130	3.08

Nivelación en cantidad diaria

Lo que hace la nivelación diaria es evitar lotes más grandes como se muestra en la siguiente imagen:

producción en lote



Si A no se vende se habrá generando un gran inventario sin haber empezado otros pedidos

Figura 61 Producción Mensual en Lotes Grandes

4. Ahora, viene una etapa importante del procedimiento, si se produjera con la finalidad de reducir los cambios de proceso podría producirse de la siguiente manera:

1 día de producción en lote



Figura 62 Secuencia de producción en Lotes grandes

Una producción como la anterior tiene la desventaja de ser poco flexible a la demanda ya que difícilmente corregiría el exceso de inventario de los productos A y B en caso de que llegara a haber una caída en la demanda mensual de los productos por lo que se acumularían estos productos en inventario o por el contrario para los productos últimos en la secuencia (C y D) en caso de incrementarse la demanda mensual la reacción para satisfacerla y poder negociar con el Cliente entregas pequeñas será complicado. Ahora para contrarrestar estas desventajas la nivelación en tipos de producto llevará a cabo una secuencia como la siguiente:

Basados en los tiempos Takt de cada producto podemos dibujar la siguiente tabla a escala:

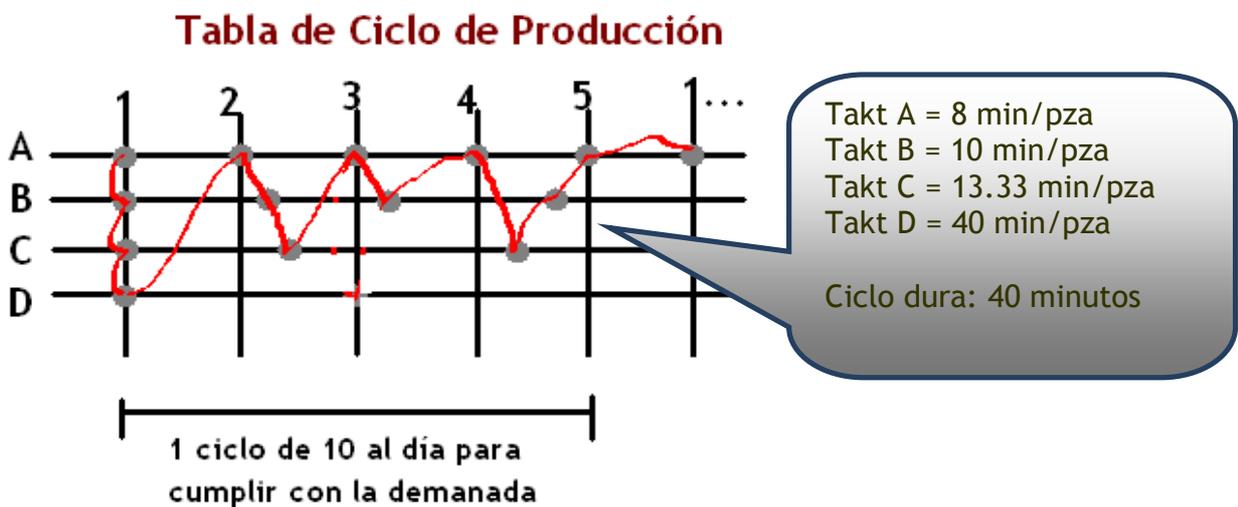


Figura 63 Matriz de Nivelación (1 Ciclo)

4.1. De tal forma que el siguiente paso es el nivelado para pequeños lotes:



4.2 Pero el siguiente paso será el nivelado para pieza a pieza, una vez nivelado para pequeños lotes será aspirar a la producción pieza a pieza (one piece flow), por lo que siguiendo el camino descrito en la “Tabla de Ciclo de Producción”.

Nota: este último paso sólo se puede lograr reduciendo tiempos de cambio de proceso por lo que las técnicas SMED y 5's serán de utilidad para alcanzar esta última nivelación.

Nivelación de Tipos de Producto

(One-piece-Flow)

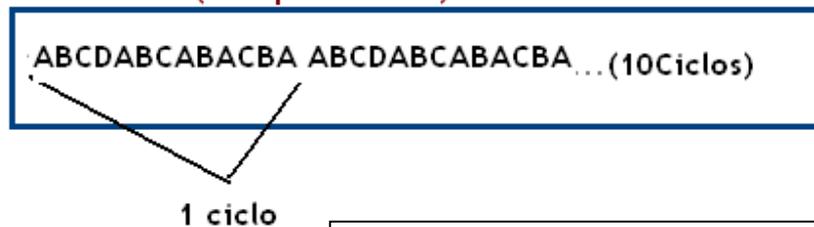


Figura 65 Secuencia de Producción Flujo de una Pieza

5.4 Operaciones Estándar

Es la descripción de una secuencia de actividades que señala de forma detallada la forma de realizar el trabajo, la cantidad de material estándar en la línea, el tiempo de ciclo y el tiempo Takt para un proceso específico⁴, la cual se debe documentar para mantener un control visual del proceso en cuestión.

Para entender esta técnica será importante tener en mente los siguientes conceptos:

Tiempo Takt: Término que se refiere a la cantidad de tiempo en que el sistema productivo debe estar sacando cada producto/servicio para satisfacer la demanda a tiempo.

Su cálculo lo da la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo Takt} = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Demanda}}$$

Algunas de las consideraciones al calcular el Tiempo Takt son:

- El tiempo Disponible es todo el tiempo de trabajo, no se consideran factores de fatiga, no se modifica por tiempos perdidos, ni averías ni cambios de proceso ni por problemas de calidad. Así por ejemplo si el turno es de 8hrs y la planta trabaja 2 turnos el tiempo disponible es de 16 hrs (960 minutos).

⁴ Womack J. et. al. "Lean Thinking: banish waste and create wealth in your Corporation", Simon & Schuster, 1996. pp. 310.

Tiempo Ciclo (Tiempo de Fabricación o Cycle Time): Es el tiempo requerido para completar un componente por una máquina, persona o estación de trabajo; debe incluir el tiempo requerido para preparar, cargar y descargar- puede obtenerse del estudio de tiempos y movimientos.

Tiempo de entrega de Producción (Lead Time): Es el tiempo requerido para producir un producto desde que es materia prima (punto de inicio) hasta producto terminado (final del proceso)⁵.

Ahora bien, debe tenerse claro los fines que persigue la estandarización de operaciones así como las formas de alcanzarlos, lo cual se muestra en el siguiente esquema:

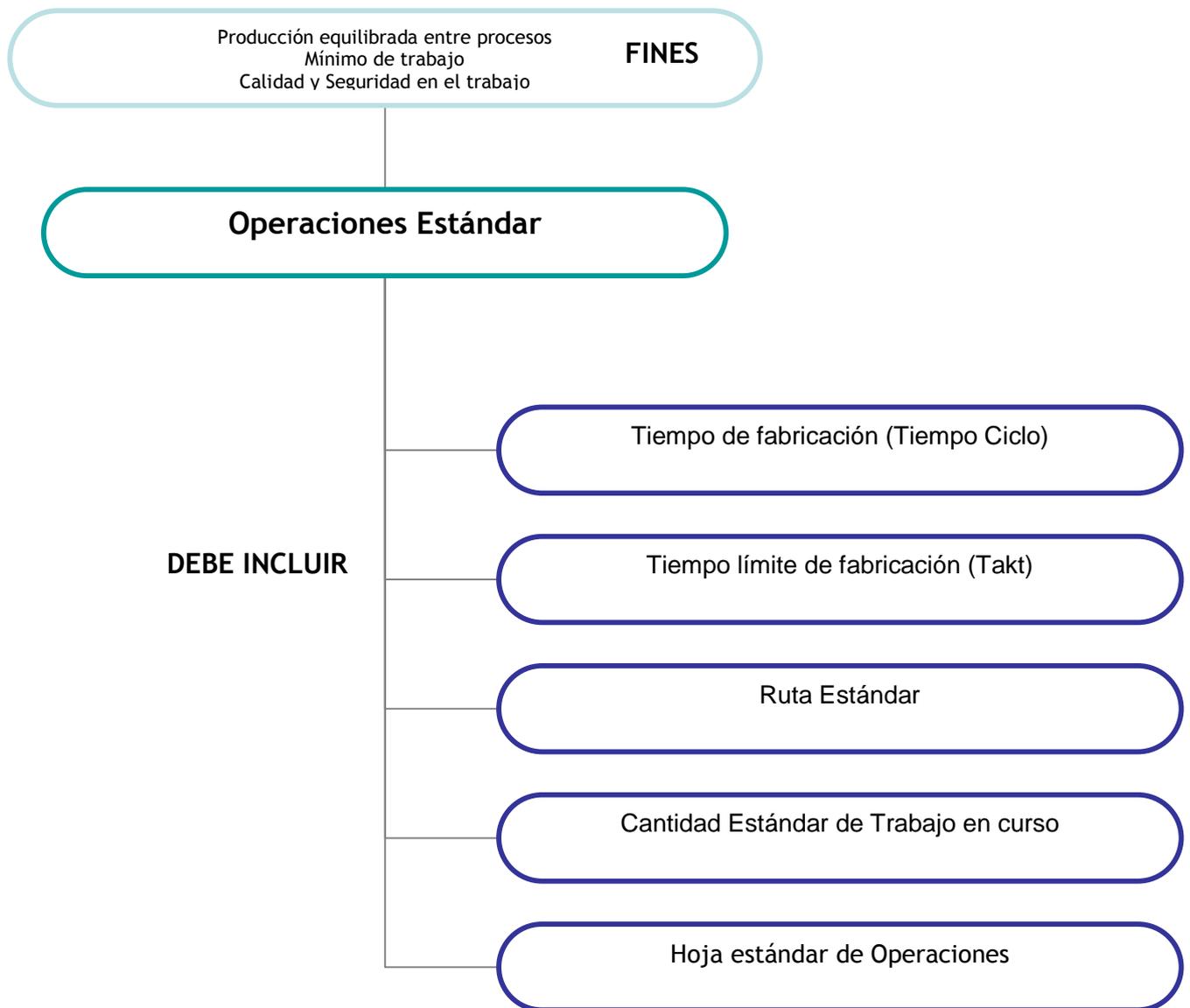


Figura 66 Información para las Operaciones Estándar

⁵ Villaseñor A. y Galindo E. "Conceptos y reglas de Lean Manufacturing" Limusa, México, 2007. pp.82

5.4.1 Procedimiento para diseñar una operación estándar

Las etapas para diseñar una operación estándar son⁶:

1. Definir el tiempo Takt, este tiempo indicara la cantidad de tiempo límite que ha de durar la secuencia de actividades a realizar por cada trabajador.
2. Definir el tiempo ciclo o de fabricación, este tiempo se determina para cada proceso y para cada tipo de pieza. Para determinar el tiempo se lleva a cabo una *ficha de capacidad de producción* que se rellena para cada pieza (Monden 1987).

Un ejemplo de ficha de capacidad de producción es el que se muestra en la siguiente tabla (ha ser llenada por el analista del proceso).

FICHA DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN			ITEM N°	DENOMINACIÓN	CANTIDAD NECESARIA AL DÍA	NOMBRE DEL TRABAJADOR			
T. Manual + T. Máquina = T. De Ejecución por unidad (f)					$= N = \frac{T}{f + m}$				
Orden de procesos	Operación	Máquina	TIEMPO BASE			CAMBIO DE HERRAMIENTAS		CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (960 min)	Observaciones de Operación
			Manual	Máquina	De ejecución por Unidad	unidades por cambio	tiempo de cambio		
1	Taladro Centro	CD-300	0:00:07	00:01:20	0:01:27	80	00:01:00	656	
2	Chaflanar	KA-350	0:00:09	00:01:35	0:01:44	20	00:00:30	546	
3	Escariar	KB-400	0:00:09	00:01:25	0:01:34	20	00:00:30	603	
4	Escariar	KC-450	0:00:20	00:01:18	0:01:38	20	00:00:30	579	La máquina puede echarse a andar a la mitad del trabajo manual (10")
5	Inspeccionar		0:00:09						

[Monden, 1987]

Figura 67 Ficha de Capacidad de Producción

Nótese que la capacidad de producción viene dada por la fórmula:

$$N = \frac{T}{f + m}$$

T = Tiempo de operación (960 minutos)

f = Tiempo de ejecución por unidad

m = Tiempo de cambio por unidad; $m = \frac{\text{Tiempo de cambio}}{\text{unidades por cambio}}$

⁶ Monden Y. "El Sistema de Producción Toyota". Editorial CDN Ciencias de la Dirección, S.A. Madrid, España, 1987, pp.99.

Los datos más importantes a obtener de esta ficha son los tiempos de operación manual y de operación de la máquina ya que de estos se obtendrá el tiempo de ejecución por unidad que dará pie a calcular la capacidad de producción y lo más importante diseñar la ruta estándar de operación que es la secuencia a llevar a cabo por el trabajador dentro del tiempo Takt.

3. Definir ruta estándar de operaciones,

Para llevar a cabo esta etapa serán necesarios los tiempos de la ficha de capacidad de producción.

Esta es la situación de un proceso donde las tareas están desbalanceadas, el operador A tiene una mayor carga de trabajo y su secuencia de actividades actual queda fuera de Tiempo Takt.

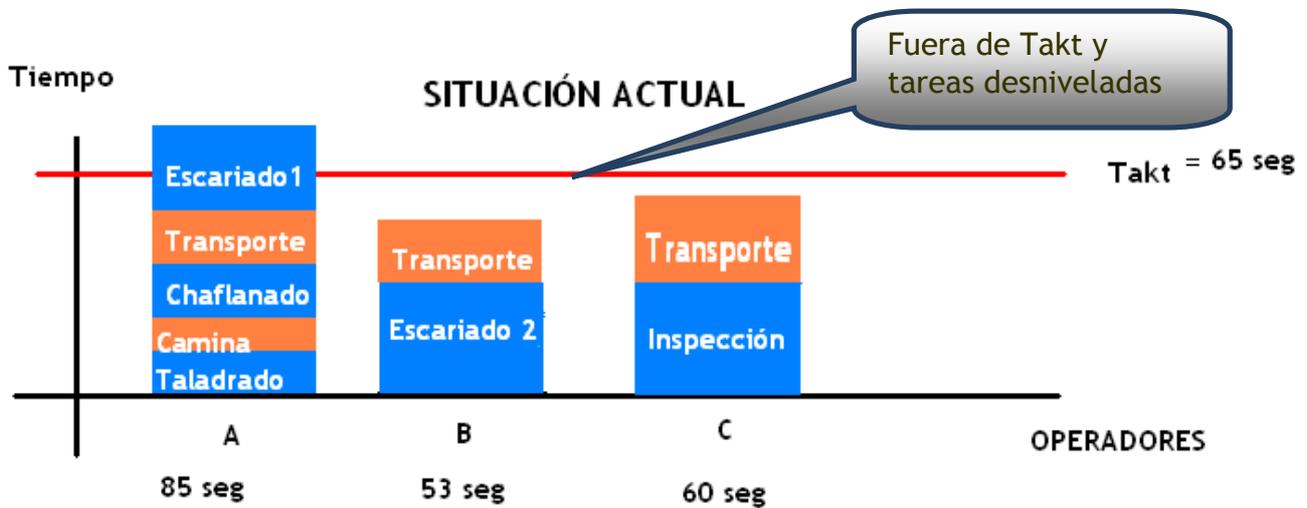


Figura 68 Actividades de trabajo desniveladas

Para definir una ruta estándar que sea factible habrá que comenzar por:

- A) Definir las tareas que el supervisor (especialista) considera que cada operador será capaz de realizar dentro de Tiempo Takt y redistribuir las tareas.

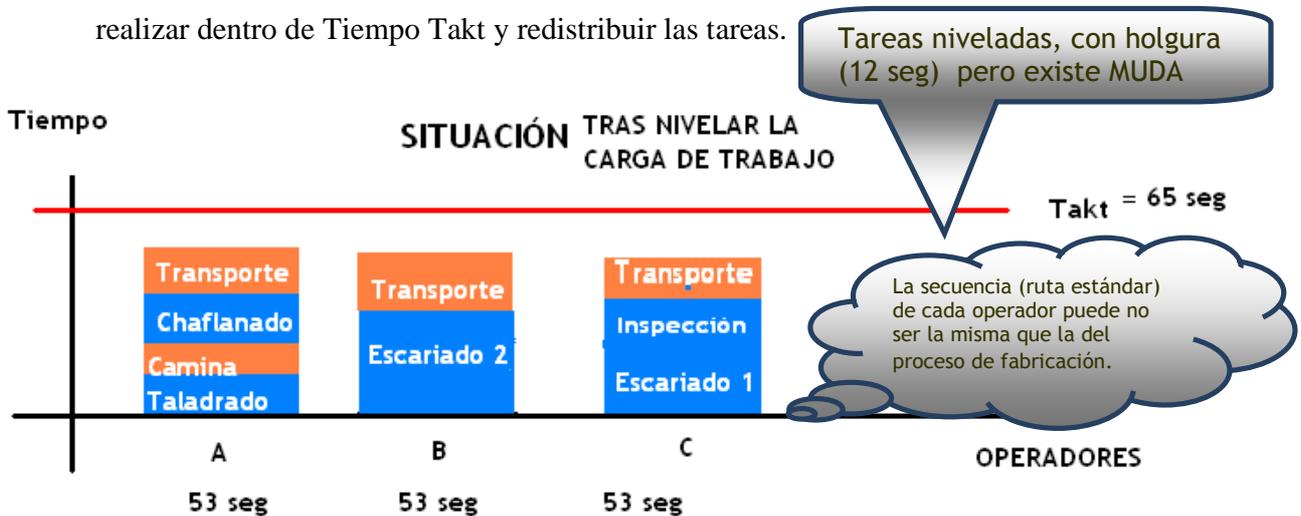
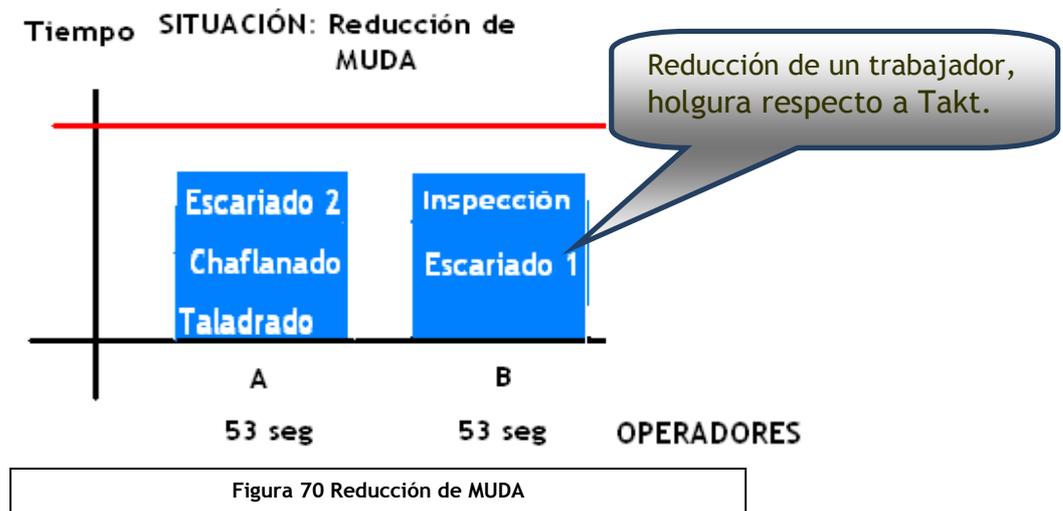


Figura 69 Carga de trabajo nivelada

B) Analizar si hay tareas que pueden reducirse en su tiempo a fin de poder inclusive reducir la mano de obra para destinarla a otros procesos.



C) Llevar a cabo las operaciones por el supervisor para asegurarse de que la ruta estándar cumple con el tiempo Takt y si es así comenzar a enseñar a los operadores esta nueva operación.

4. Definir el nivel de trabajo en proceso mínimo (WIP).

Esta etapa consiste en estimar la cantidad mínima necesaria de trabajo en curso en la línea de producción; se compone principalmente del trabajo situado entre las máquinas (buffer), así como del asignado a cada máquina (en proceso). Sin esta cantidad de trabajo no podrían llevarse a cabo las operaciones determinadas en la ruta estándar⁷. El nivel de trabajo en proceso mínimo depende generalmente de las condiciones de cada proceso, así por ejemplo:

- El enfriamiento de piezas en un proceso que requiera tratamientos térmicos aumentará su nivel de WIP para dar tiempo al enfriamiento de las piezas.
- Un proceso de inspección que requiera de una medición especial y que por tanto detenga el proceso requerirá de más material para contrarrestar esta demora.

Cabe mencionar que el WIP deberá disminuirse para reducir en lo que sea posible los costos de Inventario.

5. Elaboración de la hoja de operación estándar

⁷ *Ibidem.* pp.109.

Esta hoja tiene como finalidad tener el control visual de las operaciones al ser pegada en el área de trabajo de los trabajadores.

Para realizar una hoja de operación estándar se siguen los siguientes pasos⁸:

A) Definir el alcance de la hoja de operación estándar.

En esta etapa se anota dentro de la hoja de operación la PRIMERA Y ÚLTIMA actividad.

B) Dibujar el Lay-Out

Dentro de la hoja de operación estándar se dibujan las máquinas o estaciones de trabajo que conforman la línea de producción, se evita hacerlo a escala para que el dibujo quepa en la hoja.

C) Enumerar las operaciones y dibujar la secuencia

En esta etapa sobre cada estación de trabajo se coloca el número acorde a la secuencia de fabricación y se unen con flechas sólidas según ese orden. Además en los casos en que la ruta de operación involucre más de un procesamiento deberá pintarse señalizarse los desplazamientos de los operadores.

D) Indicar el nivel de trabajo en proceso mínimo (WIP)

Dibujar el lote mínimo a mantener dentro de la línea de producción.

E) Señalizaciones de seguridad e inspección

Deberá incluirse dentro de cada estación de trabajo en caso de ser necesario pequeñas figuras que hagan referencia a la necesidad de inspecciones o medidas de seguridad en el trabajo.

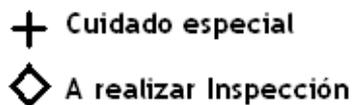


Figura 71 símbolos de seguridad e inspección en una hoja estándar de operaciones

F) Indicar Tiempo Takt

⁸ General Electric, Apuntes del curso “Lean Basic Training”. 2010

Dentro de la hoja de operación estándar debe haber un apartado donde se indique el Tiempo Takt para el que ha sido diseñada la operación.

Un ejemplo de hoja estándar se muestra en la siguiente imagen.

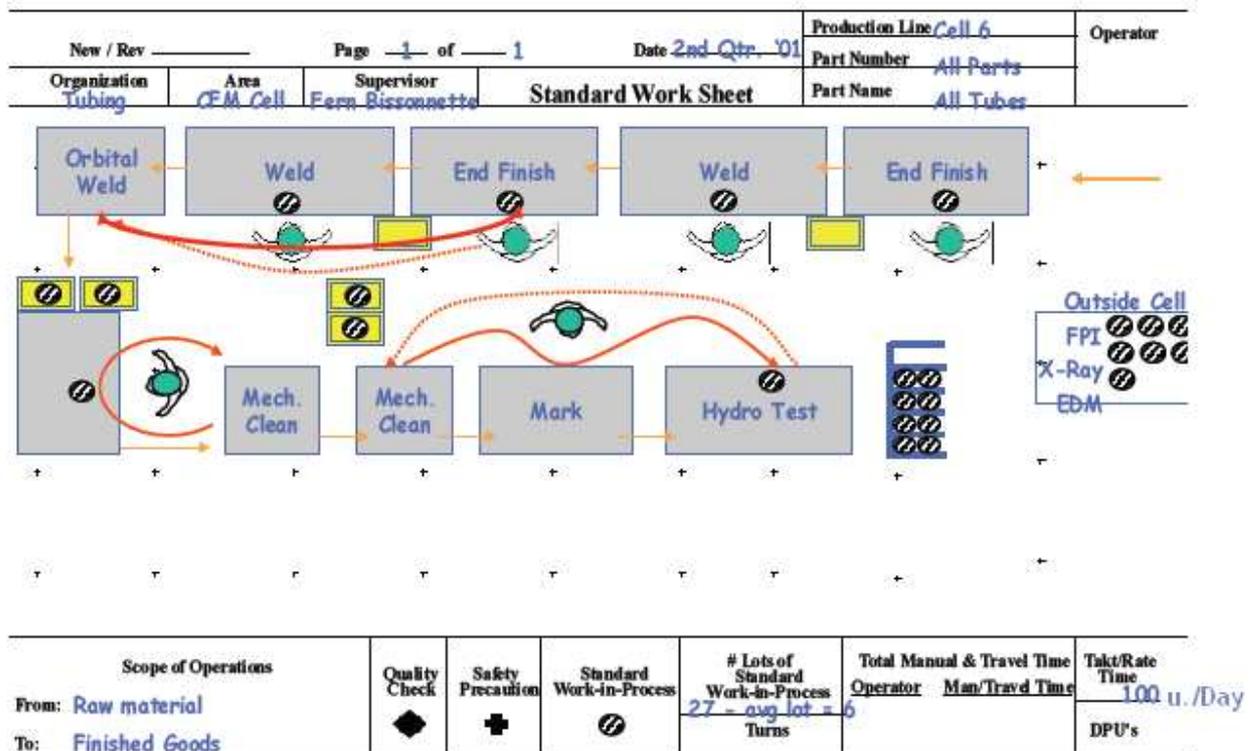


Figura 72 Hoja Estándar de Operaciones

Como se ve en la imagen, esta hoja de proceso permite rápidamente a los trabajadores y supervisores identificar la secuencia de actividades que debe realizarse, el tiempo en que debe lograrse, qué operador realiza cada actividad, así como medidas de seguridad y calidad.

5.5 Poka-Yoke

Son dispositivos que de forma inmediata detectan defectos o previenen problemas de calidad a través de una inspección (comparación) rápida y en la fuente – llámese línea de producción, estación de trabajo, etc.

5.5.1 Análisis de los sistemas de inspección

Desde el punto de vista de algunos autores deben de haber dos condiciones que debe satisfacer un sistema de inspección efectivo⁹:

- Objetividad en la inspección
- Retroalimentación inmediata para corregir y/o prevenir más problemas.

Para tratar de cumplir con esos requisitos, existen 3 sistemas de inspección:

1. Sistemas de Control Estadístico de la Calidad (SQCS):

Es tal vez el método más divulgado en la ingeniería ya que a partir de la teoría de la probabilidad intenta controlar el nivel de calidad de los productos y procura reducir los costos al considerar que la inspección al 100% es en extremo costosa (tal vez dependa del método en que se realiza) y por tanto sólo toma una muestra. Quien conoce la teoría del SQCS sabe que requiere un monitoreo constante del comportamiento de las gráficas de control (X-R o X-S) y que tomará algún tiempo tomar una acción en caso de que algún dato salga de los límites de control¹⁰, lo cual puede llevar a que se presenten durante ese lapso varios productos defectuosos o al menos fuera del rango previsto.

Recuerde que en el control estadístico de la calidad existen dos tipos de límites: límite de control y límite de especificación, siendo el primero el que fijamos para evitar que el proceso presente más de determinado número de defectos – cabe aclarar que mientras más cerrado sea este rango más probabilidad de interrumpir la operación habrá- y los límites de especificación son aquellos los cuales al sobrepasarlos se considera que el producto es defectuoso.

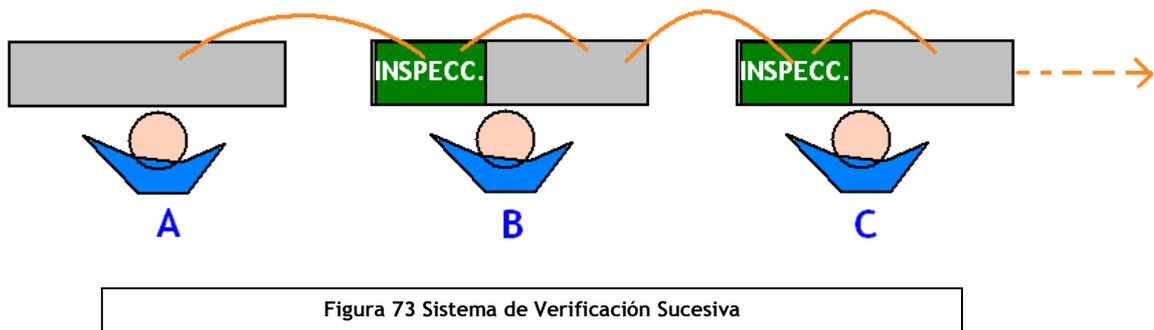
Así mismo, dado que los datos habrán de analizarse normalmente requieren un cierto nivel de experiencia.

2. Sistemas de Verificación Sucesiva (SuCS)

En SuCS los trabajadores inspeccionan los productos de la operación previa antes de que ellos comiencen su operación como se observa en la siguiente imagen.

⁹ Shingeo S. “A Study of the Toyota Production System an Industrial Engineering Viewpoint”. Productivity Press. Cambridge, 1989. pp. 18

¹⁰ Shingeo S. “Tecnologías para el Cero Defectos: Inspecciones en la Fuente y el Sistema Poka Yoke” Tecnologías de para la Gerencia y Producción, 2ª ed. Pp. 61-62



Este sistema facilita la objetividad de la medición, dado que no evalúa un operador su propio trabajo y además recibe retroalimentación más rápidamente que los SQCS ya que la operación siguiente detecta el error y da aviso a la operación anterior que esta cercana a ella. Sin embargo el error será detectado hasta que la operación siguiente requiera procesar el material, si esto no se lleva a cabo la retroalimentación y por tanto la acción para corregir sigue siendo lenta.

3. Sistemas de Verificación Propia (SeCS)

Como el nombre lo indica, las inspecciones bajo este sistema las realiza el trabajador tras terminar su operación (inspección en la fuente). Dado que bajo este sistema uno califica su propio trabajo puede resultar poco objetivo si no se tiene algún instrumento apropiado que evite que el trabajador juzgue como bueno un trabajo que debió de haber sido rechazado ya sea por omisión o temor a ser castigado por un trabajo mal hecho. Sin embargo, omitiendo esa subjetividad es la forma más rápida en que puede recibir retroalimentación el sistema para tomar de inmediato las acciones necesarias. Como se ve de los sistemas anteriores cada uno tiene sus ventajas y desventajas, sin embargo el Sistema de Producción Toyota (TPS) para lograr retroalimentación inmediata y confiabilidad fue con el uso de Poka-Yoke e inspecciones en la fuente.

5.5.2 El Poka-Yoke y sus ventajas

- De inspección rápida y objetiva lo cual permite la inspección al 100% sin detener (al menos de forma considerable) la operación.
- Puede avisar de inmediato si ha ocurrido un error.
- En el mejor de los casos, si el diseño del Poka-Yoke lo permite previene el error (No se cometen errores).

A continuación se muestra un cuadro comparativo entre los sistemas de inspección descritos anteriormente:

Sistema de Inspección	Objetividad al hacer la inspección	Prevención del error	Retroalimentación rápida	Bajo Costo de Inspección	Poco tiempo de Interrupción de la Operación	Grado de Preparación de la Mano de Obra
Control Estadístico (SQCS)	✓	✗	✗	✗	1/2	Alto
Inspección Sucesiva con Poka-Yoke	✓	✗	1/2	✓	✓	Bajo
Inspección Propia con Poka-Yoke	✓	1/2	✓	✓	✓	Bajo

Por lo tanto:

Aseguramiento de la Calidad = Inspección en la Fuente + PokaYoke

5.5.3 Ejemplos

Algunos ejemplos de Poka-Yoke son:

- 1) En una máquina dobladora se ha colocado un pequeño Led para ayudar a identificar la posición correcta en que una máquina ha de ser doblada¹¹.

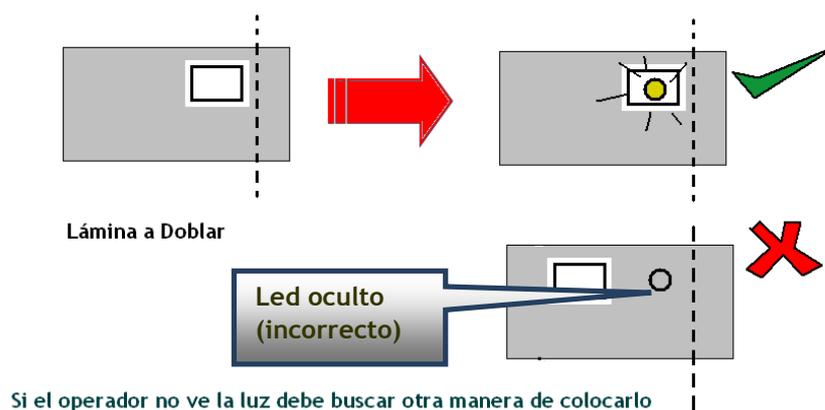


Figura 74 Poka-Yoke 1

¹¹ Shingeo S. "A Study of the Toyota Production System an Industrial Engineering Viewpoint". Productivity Press. Cambridge, 1989. pp. 20

- 2) En el procesador de textos de la computadora o algunos otros programas - posiblemente nos ha ocurrido a todos- al cerrar un documento sobre el cual hemos realizado cambios, uno recibirá un mensaje de advertencia (Poka-Yoke) en caso de que no se haya guardado la información para evitar que los cambios se pierdan.

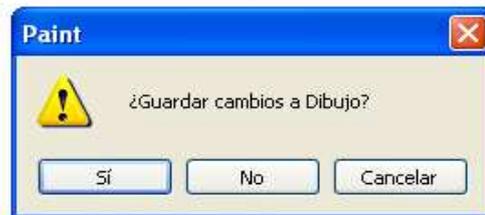


Figura 75 Poka-Yoke 2

- 3) Notificaciones al celular cuando se ha hecho un abono por forma electrónica, el Poka-Yoke es el mensaje SMS que uno recibe inmediatamente para confirmar el abono.

Los Poka-Yoke dan soporte a la idea del flujo de una sola pieza y al nivelado de la producción dado que si no se garantiza la calidad de los productos hacia los procesos subsecuentes, ninguna de las 2 técnicas puede ser llevada a cabo.

Además pueden reducir el tiempo de inspecciones, uno de los desperdicios mencionados anteriormente.

Capítulo 7: Conclusiones

La metodología Lean ayuda a establecer sistemas productivos con mayor enfoque al Cliente en comparación con los sistemas anteriores: artesanal y en serie; a la vez es capaz de satisfacer los intereses económicos de las Organizaciones al evitar hacer mal uso de los recursos (económicos, materiales, humanos y de tecnología).

Los sistemas de producción Lean ofrecen las siguientes ventajas competitivas:

En aspectos de mercado:

- Permite ofrecer mayor diversidad de productos debido a la flexibilidad del sistema productivo.
- Retención de Clientes a causa del incremento en la calidad de los productos a través de procesos con mayor rastreabilidad y retroalimentación más rápida con el uso de Poka-Yokes, establecimiento de operaciones estándar y dando autoridad al operador para ajustar o detener el proceso en caso de anomalías.
- Permite reducir tiempos de entrega al Cliente al disminuir los tiempos de fabricación y tener una mayor coordinación con los proveedores (a través del uso de Kanban y nivelación de la producción).

En materia de costos:

- Disminuye el capital de trabajo requerido por el sistema productivo al reducir inventarios:
 - Inventarios de Materia Prima al mejorar la coordinación con los proveedores.
 - Inventarios de Producto Terminado por reducir los riesgos de sobreproducción y obsolescencia.
 - Trabajo en proceso ya que reduce los tamaños de lote de producción a través de SMED y mejora de la calidad de los productos.
- Disminución de los costos a través de los proyectos emprendidos por los círculos de calidad.
- Evita inversiones innecesarias que son causadas por un mal aprovechamiento de la capacidad productiva.
- Al organizar mejor las operaciones y reducir los tiempos de fabricación, se disminuyen las horas extras.

Lean es una Metodología para las áreas de operaciones y viable tanto en tiempos de abundancia de recursos como en momentos donde los recursos escasean, aunque de hecho toma mayor relevancia para las Organizaciones en periodos de poco crecimiento económico como lo evidenció el Sistema de Producción Toyota en tiempos de poco crecimiento económico en los años 60's en Japón.

Las herramientas Lean aquí expuestas se explican con el detalle suficiente y apoyo visual (salvo el Kanban de proveedor) como para ser entendidas y utilizadas por estudiantes y áreas de operaciones de diferentes Organizaciones, logrando el objetivo de esta tesis.

Operativamente una Organización Lean se caracteriza por:

- Mantener estabilidad operativa a través de una producción nivelada, un mantenimiento que soporte las operaciones y sostener los estándares establecidos.
- Operaciones JIT (entregando al Cliente la cantidad deseada, en el momento deseado y con la calidad requerida).
- Detección y corrección inmediata de anomalías en el proceso.
- Mejorar continuamente sus procesos sin desatender las necesidades de los Clientes.

Personalmente, con base en lo investigado y por experiencias de trabajo considero que la desventaja de aplicar la metodología Lean en un sistema productivo puede ser:

La idea del Justo a Tiempo puede ser costosa para la Organización si no logra bajos niveles de rechazo y productos no conformes, o si carece de un sistema de comunicación rápido y efectivo entre cada etapa del proceso o bien por falta de compromiso de las personas que administran u operan el sistema productivo.

Con base en breves experiencias en la industria de manufactura considero importante mencionar que si bien Lean ofrece una serie de herramientas útiles para solucionar problemas comunes en los sistemas productivos, una “Organización Lean” emplea las herramientas aquí presentadas de forma conjunta para dar soporte unas a otras o de lo contrario no se lograrán los resultados en el tiempo deseado e inclusive podrá entorpecer la operación del sistema productivo.

Por tanto, será importante que los líderes en la Organización posean 3 aspectos importantes:

1. Conocimiento de las herramientas Lean y capacidad de transmitir ese conocimiento a su personal.

2. Involucrar al personal para que implementen las herramientas Lean.
3. Una vez logrado el cambio en el sistema productivo, mantener los logros y motivar a la mejora continua.

Es importante recordar que esta tesis no debe verse como una fórmula infalible para implementar la metodología Lean a un sistema productivo ya que para tal efecto hay consideraciones como: La cultura y hábitos de trabajo de la gente, la capacidad de los líderes para involucrar al personal, el grado de conocimiento de los líderes de la metodología Lean, los recursos económicos, tecnológicos, de tiempo y de personal con los que cuenta la Organización y la capacidad del consultor contratado- en caso de requerir de la consultoría. Todos ellos factores que no son abordados con profundidad en esta tesis pero que sin duda son determinantes para lograr la adopción de la metodología Lean.

Glosario

Análisis "cómo-cómo" Diagrama que avanza de izquierda a derecha, comenzando por un objetivo y que repetidamente plantea opciones para dar solución al objetivo planteado.

Andon En los sistemas Lean, es una señal que indica inmediatamente alguna anomalía en el proceso (calidad, accidente, retraso, etc.) la cual debe ser resuelta de inmediato para estabilizar el proceso.

Bache Forma de producción y movimiento de los materiales, información, etc. en un sistema productivo que lleva a la acumulación de los materiales. Esto se genera normalmente cuando los procesos son poco flexibles por lo que se producen lotes grandes de un mismo tipo de artículo o cuando el transporte de materiales es caro y deben transportarse en grandes cantidades buscando eficiencias locales.

Buffer Stock Inventario que protege a la compañía en caso de que en un periodo muy corto, haya un aumento en la demanda que supere la capacidad de producción.

Círculos de calidad grupos pequeños de personas de una misma área de trabajo (4 a 10 personas) a quienes se les asigna un objetivo para la mejora de sus procesos.

Desperdicios (muda) En la metodología Lean se llama desperdicio a toda aquella actividad que utiliza recursos de la Organización pero no agrega valor al producto/servicio.

Diagrama "5 por-qué" Diagrama empleado para analizar las causas de una situación al preguntar repetidamente por qué procurando hallar la causa raíz del problema.

Diagrama de Ishikawa (Diagrama de pescado) Es un diagrama en forma de esqueleto de pescado que plantea en la "cabeza" una consecuencia o problemática y trata de hallar las causas dentro de los siguientes campos (medio ambiente, mano de obra, materiales, maquinaria y método) creando una nueva espina por cada factor de cada campo.

Diagrama de Pareto Diagrama que sirve para ponderar el peso de cada causa de un problema planteado (usualmente obtenido del diagrama Ishikawa). Basado únicamente en la frecuencia de esas causas, su propósito es revelar las causas que originan el 80% de las anomalías al graficar la frecuencia acumulada.

Flujo de una sola pieza Técnica de trabajo que consiste en procesar una sola pieza, información, cliente... por cada estación a lo largo del proceso.

IED Término que hace referencia a las operaciones de preparación interna. En el caso específico de manufactura, son aquellas actividades que sólo pueden realizarse mientras la máquina se encuentra parada. Su opuesto son las OED.

JIT Conocido como Justo a Tiempo, es una técnica de los sistemas Lean que exigen entregas al proceso siguiente (Cliente) del producto deseado, justo en la cantidad solicitada, y en el momento requerido.

Kanban Es una tarjeta que garantiza comunicación entre un Cliente (proceso posterior) y un Productor (proceso anterior) e implementado en un proceso sirve para controlar la producción, el transporte de materiales y el inventario en el Sistema de producción.

Tiempo Ciclo (Cycle Time) Es el tiempo requerido para completar un componente por una máquina, persona o estación de trabajo; debe incluir el tiempo requerido para preparar, cargar y descargar- puede obtenerse del estudio de tiempos y movimientos. Se diferencia del Lead Time en que el tiempo ciclo considera cada estación de trabajo y el lead time considera el tiempo del proceso completo.

Tiempo de entrega de Producción (Lead Time) Es el tiempo requerido para generar un producto/servicio desde que es materia prima (punto de inicio) hasta producto terminado (final del proceso).

Lluvia de Ideas Técnica empleada para la solución de problemas, generalmente en equipo, cuyo objetivo consiste en generar propuestas de solución al incentivar la participación de todos los miembros.

OED Término empleado para las operaciones de preparación externa. En el caso específico de manufactura son actividades que pueden llevarse a cabo mientras la máquina esta trabajando y de llevarlas a cabo se ahorrará tiempo en el cambio de proceso. Su opuesto son las IED.

Poka-Yoke Son dispositivos que de forma inmediata detectan defectos o evitan problemas de calidad a través de una inspección (comparación) rápida y en la fuente – llámese línea de producción, estación de trabajo, etc. Tienen la ventaja de permitir inpección al 100%.

Repartidor o Waterspider (WS) En el manejo de materiales dentro de un proceso, se asegura de suministrar y retirar materiales entre las estaciones de trabajo que lo requieran. Ayuda a evitar que las operaciones que agregan valor al producto se detengan por tener que transportar sus materiales. Un buen lay-out puede ayudar a prescindir de este operador.

Sistema Jalar (Pull) Así se le llama a los sistemas de operaciones en los cuales nada es producido hasta que un proceso posterior lo demanda. En los sistemas lean una herramienta empleada para ello es el Kanban. Su opuesto es el sistema Push.

Sistema Empujar (Push) Son los sistemas de operaciones en que los procesos previos producen sin necesitar de la autorización del proceso posterior, por lo que coordinar las operaciones para producir justo lo que el Cliente requiere suele tornarse más complicado. Su opuesto es el sistema Pull.

SMED Son una serie de técnicas desarrolladas por Shingeo Shingo para realizar los cambios de proceso en menos de diez minutos. Por esa razón es llamando Single-Minute-Exchange of Dies.

Supermercados *Véase Buffer Stock.*

Tiempo Takt Término que se refiere a la cantidad de tiempo en que el sistema productivo debe estar sacando cada producto/servicio para satisfacer la demanda a tiempo. Es el cociente del tiempo disponible entre la demanda para un periodo dado. En el mejor de los casos los tiempos ciclo de las estaciones de trabajo están ligeramente debajo del Tiempo Takt.

Bibliografía:

1. Liker J. "The Toyota Way" . Mc-Graw Hill , 2004, pp. XI, 28, 29, 95, 96.
2. Villaseñor A. y Galindo E. "Conceptos y reglas de Lean Manufacturing". Limusa, México, 2007, pp. 17, 82, 121.
3. Raúl Colin Cruz, "El proceso de la mejora continua en la empresa". Tesis
4. Womack J. et al., "La máquina que cambió al mundo". McGraw-Hill de Management, Traducción 1993.
5. Womack J. et al. "Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation", Simon & Schuster, 1996.pp. 15, 67, 306, 307, 310.
6. Google Académico "resumenVSM5-28-2009". Osterling Consulting, Inc. pp. 5, 8. Fecha: 25/03/2011.
7. Rother M, et al. "Learning to see", The Lean Enterprise Institute, pp. 16-23. 2003.
8. <http://operationsresources.com/sitebuildercontent/sitebuilderpictures/ValueStreamMap.jpg>. Fecha: 25/03/2011
9. General Electric, Apuntes del curso "Lean Basic Training". 2010
10. Barra R. "Círculos de Calidad en operación". Mc-Graw-Hill. 1992. pp.57
11. Shingeo S. "A study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint" Cambridge Massachusetts Productivity Press. 1989. pp. 18, 20-22.
12. Sipper D. "Planeación y Control de la Producción". McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V., México, 1998, pp.566, 567.
13. Toshiko Narusawa y John Shook. "Kaizen Express: Fundamentals for your Lean Journey". Lean Enterprise Institute, 2009. Pp26
14. Monden Y. "El Sistema de Producción Toyota". Editorial CDN Ciencias de la Dirección, S.A. Madrid, España, 1987, pp.20, 74, 99,, 109 200.
15. ChuSanRem (Japan Industries Association), Curso "TPS and Job Site Improvement", 2010.
16. Shingo S. "Una revolución en la producción: El Sistema SMED" Ed. Tecnoaeronáutica S.A. Madrid, España, 1985. pp. 16-21, 29, 30, 33.
17. Hiroyuki H., Cuesta A., "El JIT. Revolución en las fábricas". TGP Tecnologías para la Gerencia y Producción S.A.1990 pp. 28, 32, 34,35, 56-63, 102, 128-132, 174.
18. Shingeo S. "Tecnologías para el Cero Defectos: Inspecciones en la Fuente y el Sistema Poka Yoke" Tecnologías de para la Gerencia y Producción, 2ª ed. Pp. 61-62, 71, 72, 81-85.

Referencias de imágenes tomadas de otras fuentes:

1. Figura 4 Value Stream Mapping,
Fuente: http://www.rff.com/value_stream_1.png, Fecha de revisión: Marzo de 2011.
2. Figura 5 Símbolos del VSM,
Rother M, et al. “Learning to see”, The Lean Enterprise Institute, pp. 16-23. 2003
3. Figura 6 VSM Actual,
<http://operationsresources.com/sitebuildercontent/sitebuilderpictures/ValueStreamMap.jpg> Fecha de Revisión: 25/03/2011.
4. Figura 14 Diagrama Cómo-Cómo,
Barra R. “Círculos de Calidad de Operación” McGraw-Hill, 1992. México pp. 57.
5. Figura 23 Producción en Bache y Figura 24 Flujo de una pieza, Figura 72 Hoja Estándar de Operaciones,
Tomadas del Curso General Electric “Lean Basic Training”.
6. Figura 30 Kanban-T, Figura 31 Kanban-P, Figura 36 Kanban Triangular, Figura 37 Kanban de Proveedor. 14,
Monden Y. “El Sistema de Producción Toyota”.
7. Figura 35 Recorrido de los Kanban en un proceso,
[Basado en el recorrido de Kanban de Daniel Sipper]
8. Figura 38 Flujo de Kanban de Proveedor,
Tomada del Curso “TPS and Job Site Improvement” de ChuSanRem (Japan Industries Association), 2010.
9. Figura 41 Fases SMED. 16,
Shingo S. “Una revolución en la producción: El Sistema SMED” pp.31.
10. Figura 44 Mejora del cambio de proceso al cambiar la operación de la máquina.
Shingo S. “Una revolución en la producción: El Sistema SMED” pp.88.
11. Figura 47 Sistema Andon en una línea de Producción,
<http://movitec-electronics.indonetwork.co.id/1123008/andon-led-display.htm>.
Fecha de Revisión: 11/09/2011.
12. Figura 50 S-1, Figura 52 S-2, Figura 56 Implementando S-3, Figura 57 S-4,
Figura 60 Antes y Después de las 5-s,

- Tomadas de Hiroyuki H., Cuesta A., “El JIT. Revolución en las fábricas”. TGP Tecnologías para la Gerencia y Producción S.A.1990.
13. Figura 60 Antes y Después de las 5-s. Ilustración 2,
<http://www.leanmanufacturing.org/galeria.html#>
Fecha de Revisión: 10/11/2011.
 14. Figura 61 Producción Mensual en Lotes Grandes, Figura 63 Matriz de Nivelación (1 Ciclo), Tomadas del Curso ChuSanRem (Japan Industries Association), Curso “TPS and Job Site Improvement”, 2010.
 15. Figura 67 Ficha de Capacidad de Producción,
Monden Y. “El Sistema de Producción Toyota”. Editorial CDN Ciencias de la Dirección, S.A. Madrid, España, 1987.