

JUSTIFICACIÓN CONCEPTUAL DE UN MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING

Leonardo Rivera Cadavid

*Profesor, Universidad Icesi, Departamento de Ingeniería Industrial, Cali.
leonardo@icesi.edu.co*

Resumen

En los últimos 20 años se han discutido diferentes técnicas que hacen parte de Lean Manufacturing en la literatura gerencial, en presentaciones y conferencias y en ofertas de consultoría. En muchos casos esta presentación de técnicas se ha hecho sin proponer un modelo de implementación que permita la evolución de la empresa en un camino de mejoramiento, y que subraye qué técnicas y principios deberían implementarse antes que otras. En el presente artículo se presenta una estructura de prerequisites para la implementación de Lean Manufacturing y sus técnicas, y se discute la lógica y validez conceptual de dicha estructura.

Palabras clave: Lean Manufacturing, modelo de implementación, mejoramiento continuo.

Abstract

In the last 20 years, many of the different techniques that are part of Lean Manufacturing have been discussed in managerial literature, in lectures and conferences and in consulting services. In many instances, these techniques have been presented without proposing an implementation model that propels the organization towards a continuous improvement path, and that emphasizes which techniques and principles should be implemented before others. In this paper, one such structure of prerequisites for Lean Manufacturing implementation is presented, and its conceptual validity is discussed.

Keywords: Lean Manufacturing, implementation model, continuous improvement.

1. Introducción

Lean Manufacturing es una filosofía de producción que ha generado grandes impactos en la forma en que se entiende la manufactura moderna en todo el mundo. En los últimos 20 años sus principios y enseñanzas se han extendido por todo el mundo, en empresas de diversos sectores y vocaciones. Inclusive, en años más recientes se han presentado aplicaciones en sectores no manufactureros como los servicios y la salud.

Como aclaración inicial, en este artículo se utilizará siempre la denominación "Lean Manufacturing", o sencillamente "Lean". Se han realizado diferentes traducciones de este término al español (manufactura esbelta, fabricación magra, manufactura ajustada). Todas ellas bien intencionadas, pero imprecisas, el intento por comunicar el sentido original (más sobre esto adelante) y las implicaciones del mismo no se logran. Es necesario tener claridad. Lean Manufacturing es la denominación inglesa del Sistema de Producción Toyota (TPS), desarrollado en esa compañía en los últimos 60 años.

Lean cobra especial vigencia en nuestro contexto global actual, debido a que la producción en masa ha dejado de ser el paradigma más adecuado, inclusive para países industrializados. La producción en masa aprovechaba las economías de escala que se alcanzaban produciendo grandes cantidades del mismo artículo sin variaciones significativas, pero en el momento actual de competencia es necesario poder satisfacer demandas de lotes más pequeños de artículos variados. Las estrecheces financieras presentes y futuras hacen que el capital de trabajo sea precioso, y Lean permite usar eficientemente los recursos de tal manera que consume menos espacio, menos horas hombre y menos materias primas que un sistema de producción masiva con un nivel de producción comparable.

En el medio colombiano y latinoamericano se han escuchado desde hace algo más de veinte años palabras clave que se identifican con Lean Manufacturing, como Justo a Tiempo, Calidad Total, Mantenimiento Productivo Total (TPM), entre otras. En diferentes momentos se han publicado libros y conferencistas y consultores han divulgado estos temas, siguiendo la

tendencia estadounidense de las modas gerenciales ("*managerial fads*"). Si es posible vender libros, conferencias y consultorías, muchos lo harán. Sin embargo, estas modas han hecho más daño que provecho porque no se ha generado un cambio de mentalidad duradero, una constancia que permita ver resultados sostenibles en estas implementaciones. Como resultado de esto se notará que en el modelo propuesto en este artículo se presentan muchas de esas palabras clave, pero no como aprendizajes aislados ni técnicas desconectadas, sino como pasos lógicos de una implementación en una empresa en evolución y mejoramiento constante.

El aporte de este artículo consiste en un modelo de implementación que relaciona las diferentes técnicas de Lean en forma de una estructura secuencial de prerrequisitos. Es decir, se sugiere el orden en el que las diferentes técnicas ("palabras clave") deberían implementarse de tal manera que se genere un proceso lógico de aprendizaje progresivo. Las técnicas implementadas más tempranamente deben generar el conocimiento y las disciplinas necesarias para garantizar la aplicabilidad y sostenibilidad de las técnicas posteriores. Cabe anotar que el modelo de implementación propuesto no refleja la evolución histórica del tema en Toyota, pues esa compañía no inició su trabajo con un mapa de ruta completo. Toyota ha construido en la práctica durante seis décadas de trabajo, por lo que en la actualidad las compañías de todo el mundo reciben los beneficios toda esa experimentación sin los costos de tener que hacer los desarrollos de manera independiente. El modelo tampoco es una copia exacta de las propuestas de los involucrados en el desarrollo del sistema como Taiichi Ohno o Yasuhiro Monden. A juicio del autor la propuesta aprovecha la distancia y la cantidad de discusiones que han ocurrido sobre el Sistema Toyota en diferentes escenarios, relacionando y separando las técnicas y su aplicación. En la mente de Ohno o Monden todas las técnicas deberían estar en su lugar de forma muy natural, lo que les dificulta presentar una estructura secuencial de implementación. A juicio del autor es benéfico contar con un modelo de implementación para facilitar la aproximación de compañías nuevas al tema.

El modelo básico presentado es tomado de Groesbeck (2005), y fue desarrollado como parte

de un trabajo de investigación en el departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas (Industrial and Systems Engineering) en Virginia Tech. Desafortunadamente el Dr. Groesbeck perdió en la nebulosa del tiempo la referencia precisa y presentó a sus alumnos el diagrama general, pero no las razones para su existencia ni su proceso de construcción. Las adaptaciones, la conceptualización de la validez del modelo como estructura secuencial, evolutiva y de implementación progresiva son por completo aportes del autor.

2. Antecedentes

2.1. Desarrollo Histórico de Lean Manufacturing

Ya se ha mencionado que uno de los puntos distintivos de Lean Manufacturing es el uso eficiente de los recursos y su constante empeño en reducir los desperdicios. El primer paladín moderno del uso eficiente de los recursos fue Henry Ford.

El 1913 Ford construyó el complejo industrial de Highland Park, en el cual se construían vehículos con altísima eficiencia. Muchos de los aportes que se hicieron en esa planta cambiaron costumbres manufactureras de raíz, tales como las partes intercambiables, la estandarización del trabajo y la línea de ensamblaje. Sin embargo, esta línea produjo el mismo vehículo (sin grandes modificaciones ni opciones) durante 19 años, lo que evitaba cambios en la línea (alistamientos) y permitía aplicar los principios clásicos de la fina división del trabajo y la especialización de los operadores. El mercado mundial cambiaría después de la segunda guerra mundial, con clientes demandando mayores opciones y mayor variedad de productos en cantidades más pequeñas.

Al otro lado del Océano Pacífico estaba Japón, en el lado perdedor de la guerra. La infraestructura industrial estaba en ruinas. Había estrictas restricciones de crédito, espacio y acceso a materias primas. En el plan de reconstrucción industrial una empresa de la familia Toyoda (Toyoda Automatic Loom Works, fabricante de equipos para fabricación de telas) propuso crear una filial para producir automotores (Toyota Motor Company). Al acercarse al Ministerio de Industria y a los principales bancos recibieron la noticia de que

serían apoyados pero con ciertas condiciones, siendo la más importante que la empresa debería producir una amplia gama de vehículos (desde vehículos compactos de pasajeros para uso particular hasta camiones medianos para uso comercial) en las pequeñas cantidades que el mercado Japonés necesitaría. Además, no tendrían acceso a recursos para comprar materias primas, como acero y carbón, ni espacios para almacenarlas. Entonces, la infraestructura gigantesca y dedicada, ultra eficiente de Ford no tenía aplicación para ellos, que tendrían que ser capaces de producir en lotes más pequeños con mayor variedad de productos.

Entonces, en Toyota cambiaron el énfasis de la optimización del trabajo en cada máquina o estación de trabajo para lograr un mejor y más continuo flujo del producto a través de todo el proceso. La implementación de algunas ideas de *sentido común* como la asignación de recursos dimensionados correctamente al volumen de producción (“right-sizing”), mejorar las capacidades de auto-monitoreo de los equipos para asegurar la calidad (Jidoka), cambiar la distribución física de los equipos para utilizar celdas enfocadas en familias de partes o productos (Sistemas Flexibles), reducir el tiempo de producción perdido en el cambio de una referencia a otra (SMED) y el uso de *kanbans* para coordinar el flujo de producción tipo *Pull* entre estaciones de trabajo sucesiva, y entre la compañía y sus proveedores, entre otras (Womack, 2002).

Con el paso del tiempo Taiichi Ohno (reconocido como el padre del TPS) y algunos otros ingenieros de Toyota (muy importante entre ellos Shigeo Shingo) sistematizaron sus aprendizajes y encontraron que los principios rectores de Lean Manufacturing son el mejoramiento continuo y la constante búsqueda de formas para reducir todas las clases de desperdicio. Esos principios se despliegan en las técnicas que se identifican con Lean y que se discutirán en secciones subsiguientes.

La aplicación del Sistema de Producción Toyota ha permitido que esta empresa haya crecido consistentemente con el paso de los años, superando varias crisis petroleras y de los mercados financieros, hasta convertirse hoy en día en la primera empresa en ventas de vehículos a nivel global, superando a General Motors.

2.2. Impacto de Lean Manufacturing

Muchas empresas en el mundo han mejorado dramáticamente sus resultados y mejorado su competitividad aplicando Lean Manufacturing. Tres casos que se pueden mencionar:

- **Porsche AG:** La famosa fabricante alemana de autos deportivos inició la implementación de Lean en 1991. En un periodo de cinco años Porsche ha doblado su productividad operativa, ha reducido un 90% de los defectos en partes provenientes de proveedores y ha mejorado su producción con calidad desde la primera pasada en más de 55%. Para 1997 había lanzado dos productos altamente manufacturables después de 3 años de desarrollo, habían recortado el espacio requerido para fabricar a la mitad, disminuido el tiempo de respuesta de materiales a producto terminado de seis semanas a tres días y habían disminuido el inventario de partes en un 90% (e-biz, 2008)
- **Dell Computer:** El “modelo directo” que Dell usa incorpora los principios del TPS y agrega algunos propios. El desempeño de las fábricas se compara diariamente con el de plantas en el extremo oriente. Por ejemplo, se espera que la producción de valor por empleado crezca el 3 o 4% cada trimestre. En lugar de construir más líneas para generar esta producción, Dell aumenta el ritmo de producción. Por lo tanto, la empresa tiene que construir capacidades que mejoren continuamente y se basen en principios Lean, al punto que tienen un equipo de 80 personas dedicadas por completo a identificar formas de mejorar la productividad (Made in Europe, 2008).
- **Pratt & Whitney:** Este fabricante de motores para aviones, sistemas de propulsión espaciales y turbinas de gas, ha sido modelo de implementación de Lean. En 1996 lanzó su programa ACE (Achieving Competitive Excellence), y un año después lo extendió a sus proveedores asociados. Este programa se enfocó inicialmente en áreas de ensamble y manufactura, pero rápidamente se diversificó y fue aplicado en áreas de oficina, con su propio conjunto de herramientas de evaluación, entrenamiento e implementación. Desde el inicio del programa se ha establecido una cultura de mejoramiento

continuo en la empresa (Lean Directions, 2008)

Estos ejemplos no son únicos ni exclusivos, pero ilustran la variedad de industrias en las que Lean ha sido aplicado con interesantes resultados en todo el mundo.

3. Vocabulario Lean

En esta sección se presentarán a grandes rasgos los principios rectores de Lean (presentados por el grupo investigador de MIT) y los nombres y breves descripciones de las principales técnicas de Lean Manufacturing. Estos serán los bloques constructores de la metodología de implementación de Lean, y permitirán la comprensión de las relaciones entre las distintas técnicas y por lo tanto la importancia de los prerequisites en la implementación.

3.1. Principios de Lean Manufacturing

El término Lean Manufacturing fue acuñado por un miembro del equipo del proyecto de investigación realizado por MIT para conocer las mejores prácticas de las industrias automotrices a nivel global (Womack, Jones y Roos, 1990). Estos autores encontraron que las prácticas de Toyota eran efectivas y trataron de sintetizar el aprendizaje realizado alrededor de ellas en una obra seminal titulada *La Máquina que cambió al mundo* (The Machine that changed the World). Los cinco principios centrales que los autores proponen se presentan a continuación (Womack y Jones, 1996):

- *Especificar el Valor:* ¿Qué esperan los clientes? ¿Por qué estarán dispuestos a pagar? ¿Qué combinación de características, disponibilidad y precio será la que prefieran?
- *Análisis de la Cadena de Valor:* Una Cadena de Valor es la secuencia de actividades necesaria para entregarle al cliente un producto o servicio. Analizar y graficar la cadena de valor permite distinguir entre las actividades que agregan valor y las que no lo hacen. Esta diferenciación servirá de punto de partida para las actividades de mejoramiento y eliminación del desperdicio.
- *Flujo Continuo:* Las empresas deben tratar de que el valor fluya continuamente, no por lotes (batches). De ahí ha surgido el término

de una pieza a la vez (one piece flow). La creación de lotes favorece la aparición de inventarios en diferentes lugares de la planta, y los inventarios crean demoras y mayores costos.

- *El cliente “hala” (Customer Pull):* Este principio ha sido difundido por la popularidad del Justo a Tiempo. El sistema de producción debe entregar a los clientes los productos que necesitan en el momento preciso, y a raíz de esto activar los recursos productivos solamente cuando la siguiente estación en el proceso consume las unidades que estaban listas para él. Es decir, la actividad de producción no responde únicamente a planes y pronósticos realizados con anticipación, sino que reacciona a los volúmenes reales de la demanda y las ventas.
- *Mejoramiento Continuo:* El eslogan comercial de Lexus (la marca de autos de lujo de Toyota) es *La apasionada búsqueda de la perfección*. El mejoramiento continuo (Kaizen) es la convicción de que los esfuerzos de mejoramiento nunca llegan a un final. Es necesario mantener la disciplina de mejoramiento para que se convierta en un motor permanente de avance para la empresa.

3.2. Bloques – Técnicas comúnmente asociadas con Lean Manufacturing

Desde hace unos 20 años se discuten en Colombia palabras clave tales como Calidad Total, Justo a Tiempo y Mejoramiento Continuo. El propósito de esta sección es presentar una breve descripción de las técnicas que participan en el modelo de implementación. Se presentan las definiciones tanto de términos conocidos como de otros que no se han discutido previamente, que van a nutrir el modelo para hacer clara la relación entre ellos.

- **Kaizen:** Más que solamente mejoramiento, es mejoramiento continuo. Es la acumulación gradual de muchos pequeños mejoramientos hechos por todos los miembros de la empresa. Kaizen es una disciplina que se obtiene a través de la aplicación del verdadero “empowerment” (*empoderamiento, facultamiento*). Las ideas de todos los empleados son consideradas, evaluadas por un proceso visible y conocido

y la retroalimentación para el empleado es pronta y específica. Si la idea se implementa, quien la sugirió participa en su implementación (mientras ello sea relevante), lo que hace que los empleados no solamente proponen ideas sino que responden por su implementación y resultados. Esto acentúa el sentido de pertenencia del empleado hacia la compañía y su responsabilidad con la misma. Finalmente la disciplina del mejoramiento permite un ambiente propicio para la implementación de cambios que favorezcan a la compañía y a los trabajadores. Kaizen es uno de los fundamentos de cualquier programa de evolución y avance continuado en el desarrollo empresarial, sin importar con qué nombre se le conozca.

- **Mapas de la Cadena de Valor (Value Stream Maps):** En la Figura 1 se presenta el mapa de la cadena de valor del producto XY. Estos mapas son esencialmente representaciones de alto nivel del flujo del producto (y la información) desde que se pone la orden, pasando por los proveedores, hasta que el material llega a la empresa para ser transformado y finalmente se despacha el producto terminado a los clientes. El objetivo principal de estos mapas es el de resaltar oportunidades de mejoramiento mostrando los puntos en los que se desperdicia tiempo a través de la existencia de inventarios y demoras innecesarias. Se hace una distinción de los tiempos que agregan valor y los que no lo hacen, encontrando que la proporción de tiempo de valor agregada suele ser mínima. Es en estos tiempos que no agregan valor (desperdicios) que Lean Manufacturing concentra sus esfuerzos de mejoramiento.
- **5S:** De la misma forma en que Kaizen aporta la disciplina del mejoramiento continuo, 5S es el fundamento de la cultura Lean. 5S viene de cinco palabras japonesas que han sido utilizadas para mostrar una evolución desde el orden y la limpieza del sitio de trabajo hasta la disciplina personal:
 - *Seiri (Utilización):* Se refiere a tener en el lugar de trabajo únicamente lo que se necesita, deshacerse de desperdicios, objetos sobrantes, obsoletos y todos aquellos objetos

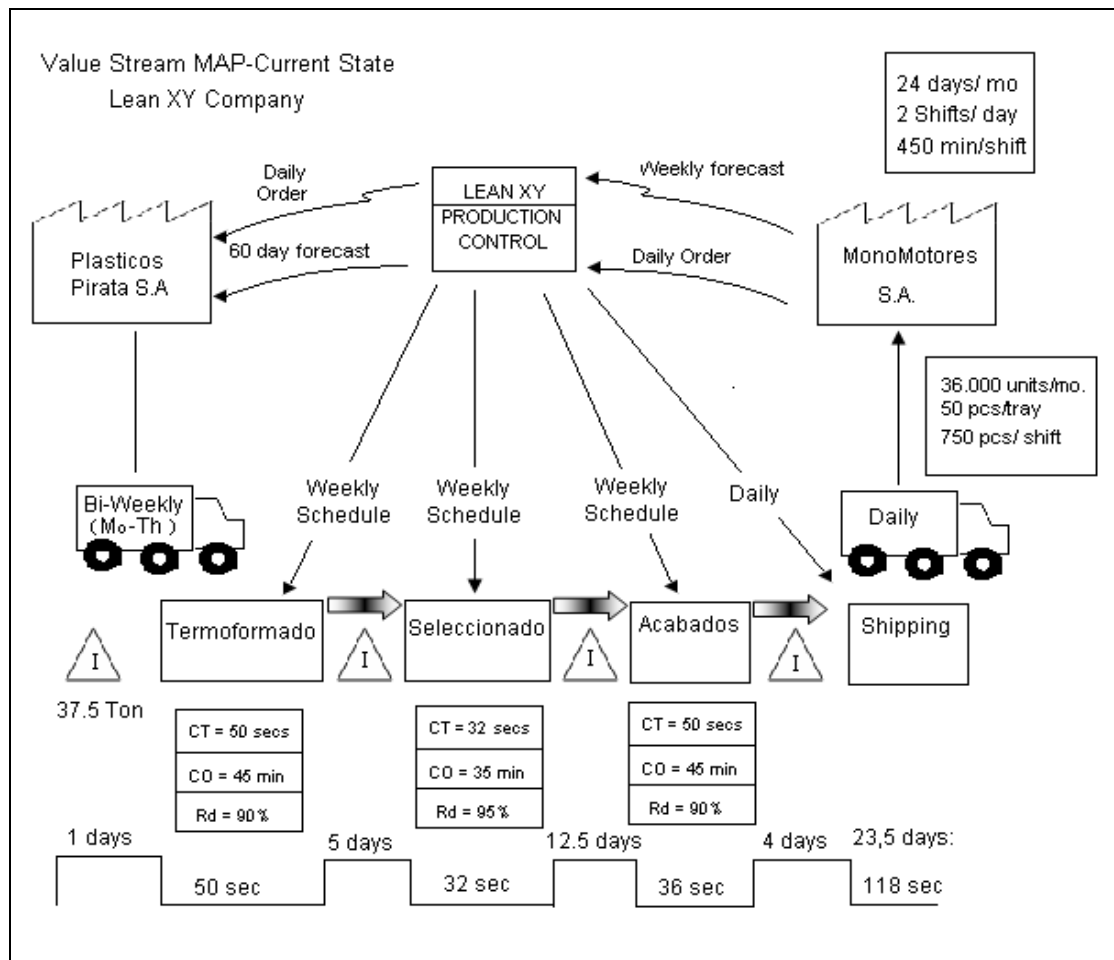


Figura 1: Mapa de la Cadena de Valor del Producto XY.

- que no deban permanecer en el lugar de trabajo para uso corriente. Las personas sienten aversión a desprenderse de objetos que podrían tener uso en un futuro desconocido, pero cuando se hace un análisis juicioso se encuentra que muchos objetos no tienen lugar en el espacio de trabajo.
- Seiton (Orden): El famoso lema “un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”. Los objetos que efectivamente se van a usar deben tener una ubicación que corresponda con la frecuencia de su uso y que ayuden a mantener el lugar de trabajo ordenado y despejado, además de hacer evidente la falta o posición incorrecta de cualquier elemento de trabajo. Incluye además la marcación y etiquetado de los objetos de trabajo y sus ubicaciones correctas.
 - Seiso (Limpieza): Incluye la limpieza del lugar de trabajo, los equipos y superficies que se emplean. Se deben destinar unos minutos al comienzo y final de cada turno para que cada persona limpie y organice su espacio de trabajo. Además, si una persona limpia su espacio de trabajo todos los días, podrá detectar rápidamente cuando aparezcan manchas de lubricante o combustible, lo que permitirá programar las acciones de mantenimiento necesarias antes de que el equipo sufra una avería (*limpieza es detección*).
 - Seiketsu (Estandarización): La cuarta “ese” se refiere a la estandarización y mantenimiento de las tres primeras. Las empresas deben crear formatos estandarizados para los procedimientos de utilización, orden y limpieza, y aplicarlos. Se debe crear un esquema de capacitación,

seguimiento y auditoría permanentes para que los logros alcanzados en las primeras “eses” no se pierdan. El trabajo de las cinco eses debe convertirse en parte normal del trabajo diario y por tanto deben dedicarse recursos y tiempo, además de que debe ser parte de la rutina diaria y de los indicadores de desempeño de todas las áreas de trabajo de la empresa.

- *Shitsuke* (Autodisciplina): La última “ese” tiene que ver con la interiorización de las cuatro anteriores, cuando el trabajo de cinco eses se convierte parte automática de cada persona, e inclusive empiezan a transferir a su vida personal aspectos de cinco eses. Es cuando la utilización, el orden, la limpieza y la disciplina se integran en la forma de pensar y actuar de las personas de manera natural.
- **Sistemas de Trabajo Flexibles:** Estos son los sistemas que se han denominado celdas o células de manufactura, pero con un enfoque Toyota. El concepto de celdas va un poco más a la raíz de la agrupación y la dedicación. En esencia, en Toyota se ha organizado el trabajo por familias de productos, pero no solamente en la manufactura propiamente dicha. La celda es la agrupación de una familia de productos con un grupo específico de máquinas (recursos y espacios), en una ubicación geográficamente próxima y con un grupo de personas asignado a ellos y ellas. De esta forma, el trabajo de desarrollo de productos también se hace por equipos interdisciplinarios dedicados al proyecto (ingeniería concurrente) y el trabajo contable y administrativo se organiza alrededor de grandes familias de procesos y productos.

En manufactura, las celdas al estilo Toyota generan varias ventajas importantes sobre otros sistemas:

- *Operadores Multifuncionales:* En los siguientes puntos se entenderá la necesidad para esto. En la concepción de celdas del TPS los operadores de una determinada celda deben conocer todas las operaciones de la misma, incluida la operación de todas las máquinas.
- *Mejor calidad:* Los operadores de la celda tienen la responsabilidad y la autonomía para detener el funcionamiento de la celda tan pronto como detecten un problema de calidad. En ese momento todos los operadores de la celda, más los supervisores e ingenieros, se reúnen a resolver el problema de calidad. El proceso solo reanuda su funcionamiento cuando el problema se resuelva satisfactoriamente.
- *Reducción del inventario en proceso:* Debido a la proximidad física, se reducen la cantidad de espacios para almacenar producto en proceso. Además, la simplicidad en la programación del trabajo hace que las esperas de lotes de producto para entrar a producción desaparezcan. Finalmente, la utilización de kanbans (más detalles en la sección de Justo a Tiempo) limita, controla y organiza el flujo del inventario en proceso presente.
- *El volumen de producción se altera cambiando la cantidad de personas asignadas a la celda:* Las celdas suelen ser semi-automatizadas, lo que permite a cada operador atender más de una máquina (de ahí la necesidad de que sean multifuncionales). Entonces, cuando los volúmenes de producción varían notablemente se puede variar la velocidad de una celda asignando diferentes cantidades de personas, sin alterar los balances de línea ni desequilibrar las cargas de trabajo (ver Figura 2).

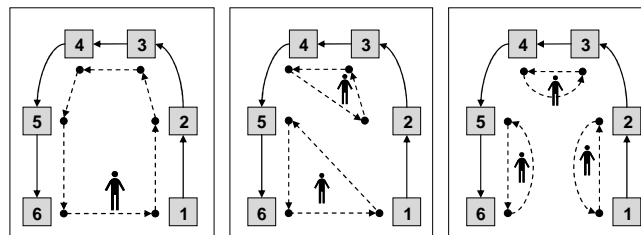


Figura 2: Celda de manufactura atendida por diferentes cantidades de operadores.

- **Trabajo estándar:** Evidentemente, en procesos que pretenden mejorar continuamente su calidad es necesario generar y seguir procedimientos operativos estandarizados. Los estándares facilitan la incorporación del conocimiento individual en el acervo de la empresa, además de posibilitar el entrenamiento de nuevos trabajadores y los análisis de procesos para mejoramiento continuo. El estándar no debe convertirse en una limitación ni camisa de fuerza. Deben existir mecanismos ágiles y claros para describir e implantar estándares actuales, y para revisarlos, mejorarlos e implantar procedimientos mejorados.
- **SMED (Single Minute Exchange of Die, alistamientos rápidos):** Cuando es necesario producir una variedad de productos en la misma infraestructura, será necesario realizar alistamientos. El alistamiento comprende todas las actividades que se realizan desde que sale la última unidad de la referencia anterior hasta que sale la primera unidad buena de la siguiente referencia. Shigeo Shingo clasificó las actividades que ocurren durante el alistamiento en actividades internas y externas. *Internas* son todas aquellas que deben hacerse con la máquina detenida. *Externas* son las que pueden efectuarse sin que la máquina se deba detener. Por ejemplo, preparar las siguientes materias primas, despejar el espacio de trabajo, precalentar un molde son todas actividades externas. Cambiar la herramienta de corte suele ser una actividad interna. Lo que se ha encontrado es que aplicando un sencillo procedimiento se pueden ahorrar grandes cantidades de tiempo en alistamientos. A grandes rasgos dicho procedimiento involucra:
 - *Estudiar la operación del alistamiento:* Es común descubrir que ciertos pasos del alistamiento son innecesarios o ejecutados por costumbre.
 - *Identificar las tareas internas y externas:* De esta forma será posible diferenciar las estrategias a seguir
 - *Convertir todas las tareas internas que sea posible a tareas externas:* Cuando el operador prepara el alistamiento mientras la máquina termina de funcionar es posible realizar actividades

en paralelo y reducir el tiempo no productivo.

- *Eliminar los re-ajustes:* Utilizar sujetadores rápidos, topes y patrones, reducir el uso de destornilladores y herramientas, asegurar desde el diseño del producto que no sean necesarios los reajustes.
- *Suprimir el alistamiento si es posible:* Estandarizando componentes, utilizando los mismos reglajes en el equipo para varias referencias,

Los alistamientos rápidos son vitales para TPS porque permiten reducir el tamaño de los lotes, aumentar la frecuencia de la producción de cada referencia y por tanto reducir los inventarios de todos los tipos (Shingo, 1985).

- **JIDOKA:** Es la automatización con sentido humano (*autonomation*). Es uno de los dos pilares de la casa de Lean (junto con Justo a Tiempo). Consiste en cambios en el diseño del proceso (y del producto), junto con la utilización de sensores y actuadores para prevenir errores tanto humanos como de máquina en el proceso. Jidoka es una herramienta fundamental para garantizar la calidad del producto y del proceso. Shigeo Shingo estudió las causas de los defectos y concluyó que los defectos siempre son causados por errores, bien sea del humano, de la máquina o del material (Shingo, 1986). Para combatir los errores en los materiales se debe trabajar en certificación de proveedores. Los errores de máquina los previene Jidoka, y los errores humanos un subconjunto de Jidoka llamado *Poka-Yoke*, que consiste en configurar las operaciones, equipos y productos de tal manera que sea difícil (o imposible) cometer un error. Es decir, el proceso se convierte en uno a prueba de errores. Jidoka y Poka-Yoke reúnen prácticas de diseño (de producto y de proceso) y el uso de dispositivos mecánicos semi-automáticos que prevengan los fallos y errores. Otro punto de Jidoka es el uso de *Andon*, que permiten el seguimiento del estado del proceso con el uso de indicadores visuales, y que proporcionan los interruptores de emergencia que permiten que el operador detenga la línea cuando detecta que un error se ha producido o se va a producir.

- **Mantenimiento Productivo Total (TPM, Total Productive Maintenance):** Tradicionalmente se consideró que el tiempo dedicado al mantenimiento era tiempo “perdido”, no productivo. El objetivo de este concepto es convertir las actividades de mantenimiento en actividades productivas. El factor clave aquí es el mantenimiento autónomo, los operadores deben aprender a realizar las operaciones necesarias para el correcto mantenimiento de sus equipos. Debería ser intuitivo que TPM tiene estrechas relaciones con 5S, dado que la primera actividad del mantenimiento es la limpieza. El impacto esperado de TPM es doble:
 - *Aumentar la confiabilidad de los equipos:* Esto disminuye el riesgo de las paradas imprevistas, lo que a su vez hace innecesario que se guarden inventarios entre procesos para protegerse de paradas no previstas.
 - *Mejorar la calidad de los productos:* La confiabilidad y estado de las máquinas es uno de los factores que intervienen en el resultado de calidad de los productos. Como resultado, la cantidad de unidades rechazadas y reprocesadas será menor, disminuyendo las operaciones de reparación y los desperdicios que no agregan valor.
- **Justo a Tiempo (Just in Time, JIT):** Es una de las primeras palabras clave que se escucharon en Colombia. A finales de los años ochenta, junto con la literatura gerencial sobre Calidad Total, llegó Justo a Tiempo en libros, conferencias, revistas económicas y notas livianas en los periódicos del momento. El concepto es bastante sencillo de entender: Tratar de que los materiales y productos se entreguen en el momento justo en el que se van a usar, de tal manera que se reduzca la cantidad promedio de inventarios de materia prima, productos en proceso y productos terminados. Las implicaciones de esto nunca se estudiaron realmente a fondo, y lo que terminó ocurriendo es que la gran empresa cliente (o el almacén de cadena) impuso a sus proveedores tiempos de respuesta más rápidos y entregas más frecuentes en lotes más pequeños, sin que los sistemas logísticos de cliente o proveedor estuvieran

preparados. Finalmente los proveedores (especialmente si eran más pequeños que la empresa cliente) debían optar por crear mayores acumulaciones de producto terminado para satisfacer la demanda repentina y cambiante del gran cliente. Esto genera efectos exactamente opuestos a los que se esperan en el sistema Toyota, en el cual el gran cliente debe contribuir agresivamente al avance técnico del pequeño proveedor para que este modifique su forma de producir y modernice su sistema aplicando las herramientas Lean.

Justo a Tiempo es esencialmente la implementación del sistema Pull, en el cual solamente se produce cuando el proceso siguiente solicita unidades del anterior. Si se mantiene una cierta cantidad de inventario de producto terminado, se puede pensar que el cliente se presenta y toma una de esas unidades. En ese momento, esa unidad tiene asociada una tarjeta (*kanban*), que se envía al proceso anterior y señala la necesidad de volver a completar el inventario de producto terminado. La última etapa del proceso toma una unidad que ya pasó por el proceso precedente, la procesa y completa el vacío en el inventario final. Entonces, la penúltima estación recibe la señal de que hay un espacio en su inventario, y debe tomar una unidad del proceso anterior para resolver este problema, y así sucesivamente (Figura 3). Si no hay demanda ni intercambio de *kanbans* no se activan los recursos productivos, reduciendo varias de las clases de desperdicio que se espera eliminar con Lean.

Utilizando *kanbans* para el control de producción es posible que la línea o celda produzca exactamente lo necesario en el momento justo, sin recurrir a una lista de trabajos programada centralmente. Cada centro de trabajo entiende qué debe hacer cuando recibe las señales a través de los *kanbans*.

- **Heijunka (Producción Suavizada):** En la constante búsqueda de hacer que el producto fluya más armoniosamente y en lotes cada vez más pequeños se llegó a Heijunka. Esta es una técnica que sirve para ambientes de demanda relativamente estable y conocida (o programable), por ejemplo para la producción de componentes una vez la

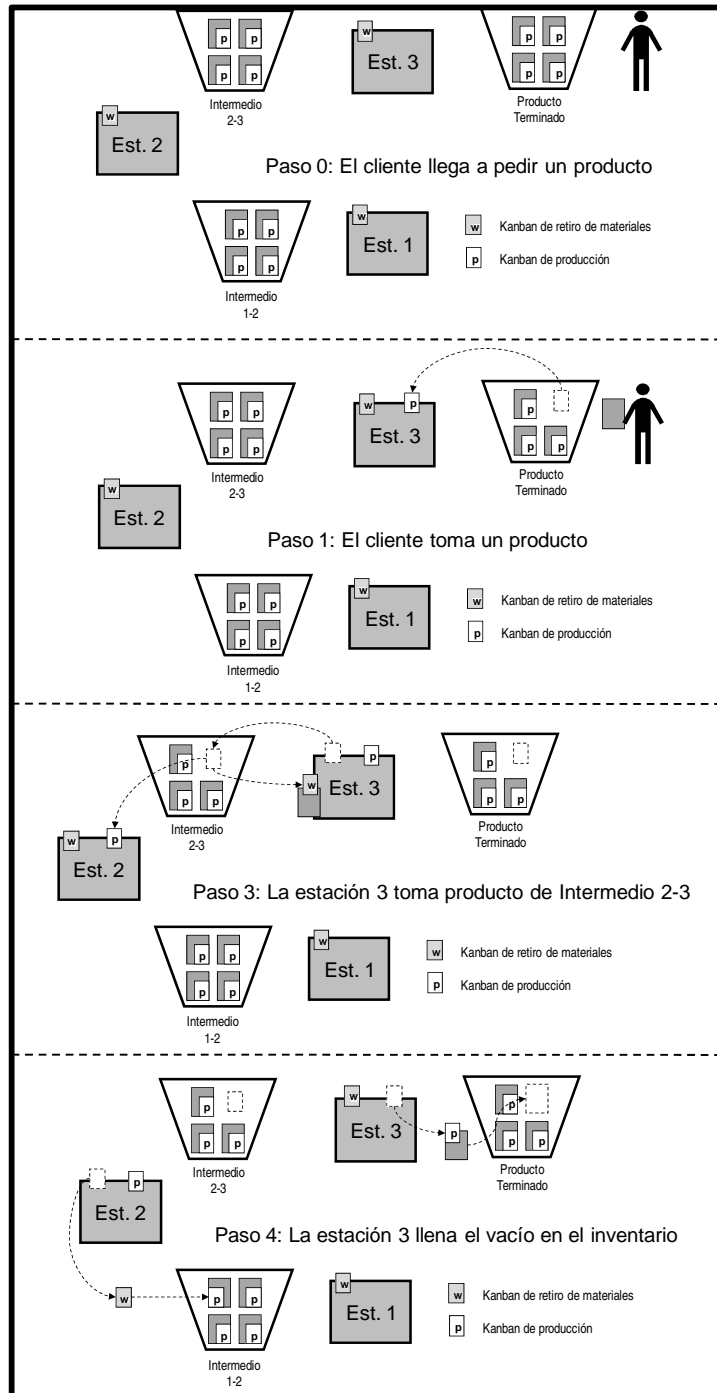


Figura 3. Operación de un sistema Pull utilizando kanbans.

secuencia de producción de vehículos para la próxima semana ha sido fijada. En esencia implica replicar las proporciones de la mezcla de productos en el intervalo más pequeño posible (Figura 4).

El ideal es la producción y movimiento de una unidad de producto a la vez (*one*

piece flow). Se puede intuir que esta producción suavizada genera más movimientos de materiales, por lo que la infraestructura de manejo de materiales debe adaptarse a esta realidad para evitar un desbordamiento de costos por este concepto.

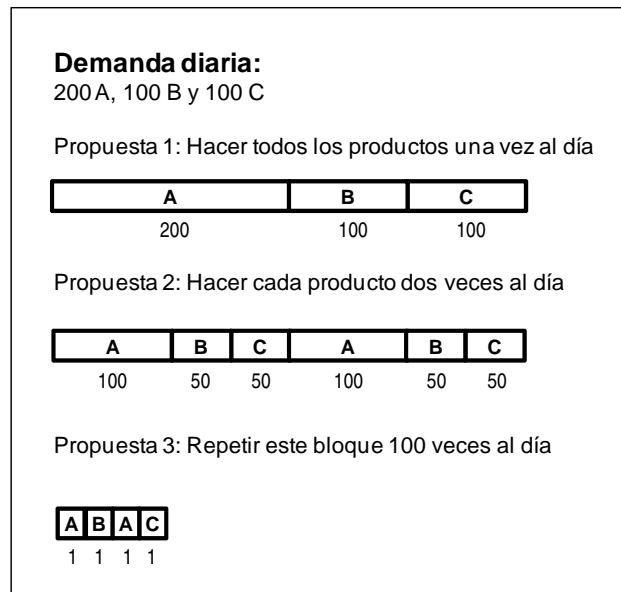


Figura 4. Producción suavizada (Heijunka).

4. Un Modelo de Implementación de Lean Manufacturing

En las obras de Monden, Ohno y Shingo se encuentran explicaciones de los grandes principios del Sistema de Producción Toyota. Igualmente presentan de manera detallada los conceptos y la forma de implementación de muchas de las técnicas que se asocian con Lean. Sin embargo, el enfoque de estos autores tiene mucho que ver con su experiencia, con el orden en el que vivieron las presiones de sus tiempos y las angustias de la supervivencia de la empresa. Es necesario aclarar que los ingenieros involucrados en el desarrollo del TPS tenían tres niveles de motivación: a). Un nivel superior de compromiso con su sociedad, su país y la gente de Japón; b). Un nivel intermedio de

compromiso con el cumplimiento del objetivo social de la empresa, en relación con los consumidores y con sus empleados y c). Un compromiso personal del honor en el cumplimiento de la misión de cada uno.

Actualmente se cuenta con una ventaja que los desarrolladores del sistema no tuvieron, la posibilidad de mirar hacia atrás en el tiempo. Los autores actuales tienen la ventaja de la perspectiva, de la posibilidad de analizar las relaciones entre diferentes variables y componentes del sistema. Es esta posición privilegiada la que permitió la elaboración del modelo de implementación por parte del grupo del Dr. Groesbeck. La propuesta original se presenta en la Figura 5.

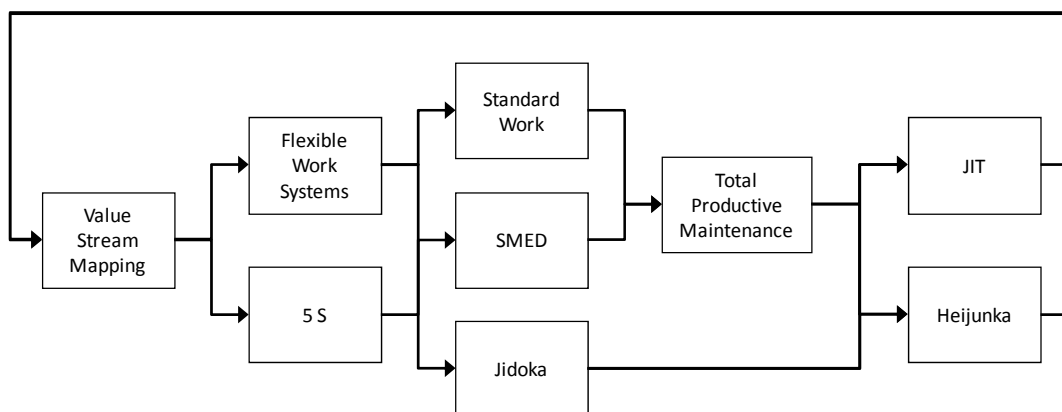


Figura 5: Modelo de implementación de Lean Manufacturing. (Groesbeck, 2005)

El autor adaptó esta propuesta para incluir cuatro fases en el proceso de mejoramiento, e incluir formalmente la necesidad del *Kaizen*, del mejoramiento continuo como actividad y corazón permanente de cualquier implementación de Lean Manufacturing. La Figura 6 muestra dichas adiciones al modelo.

Un concepto fundamental es el de comprender por qué tiempo e inventarios significan lo mismo. Cualquier técnica que reduzca la cantidad de inventario disminuye el tiempo de respuesta y viceversa. Este principio se conoce como la *Ley de Little*, y es una de las pocas leyes en Ingeniería Industrial que se cumplen en muchos entornos y condiciones productivas.

4.1. Ley de Little

Un sistema de producción extremadamente simplificado tiene tres características: La Tasa de Producción (*TP*) es la cantidad de unidades que salen terminadas cada período; el Trabajo en Proceso (*WIP* por su sigla en Inglés) es la cantidad de unidades que en un momento determinado están en el sistema y el Tiempo en el Sistema (*TS*) es el tiempo que una determinada unidad pasa en el sistema. Por ejemplo, si en una fábrica artesanal de sillas se producen cinco sillas por día y se ha medido que cada silla pasa en el taller tres días, ¿cuántas sillas están en el sistema en promedio?. La Figura 7 presenta una imagen de esta situación.

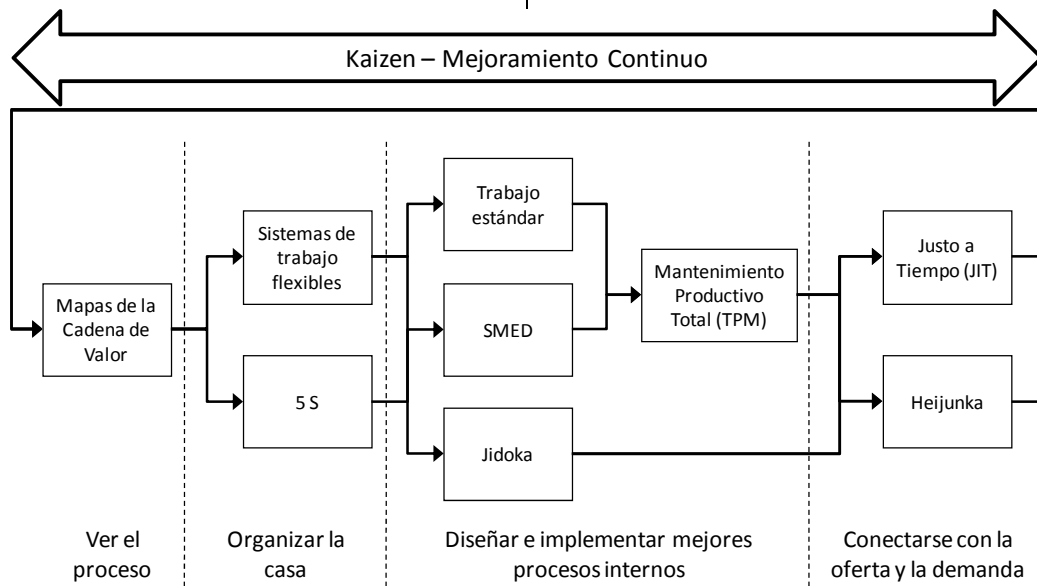


Figura 6. Modelo de Implementación de Lean Manufacturing. (Adaptación del Autor).

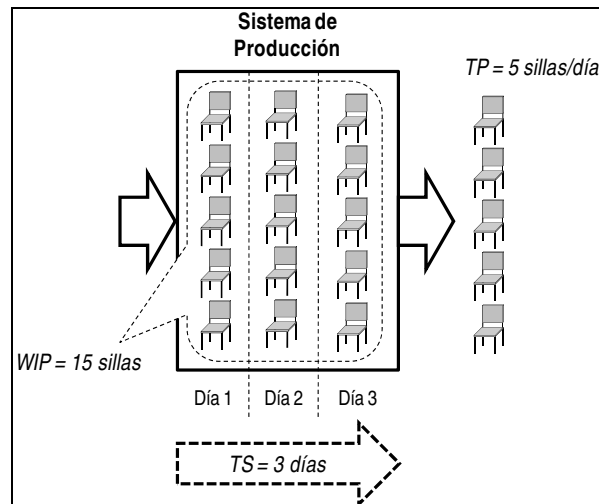


Figura 7. Sistema de producción de sillas.

La lógica de la Ley de Little es sencilla: Si cada día salen terminadas cinco sillas, y cada silla pasa tres días en el sistema, debe haber cinco sillas en día tres para que mañana puedan salir. Así mismo, debe haber cinco sillas en día dos de recorrido para que mañana puedan remplazar a las que saldrán. Finalmente, debe haber cinco sillas más en día uno de recorrido para que puedan remplazar a las de día dos que pasarán a ser de día tres.

En resumen, tendremos que:

$$WIP = TP * TS \quad (1).$$

$$WIP = 5 \text{ sillas/día} * 3 \text{ días} = 15 \text{ sillas}$$

Sobre estas tres variables (Tasa de Producción, Tiempo en el Sistema e Inventario en Proceso) se tiene lo siguiente:

- *Tasa de Producción:* No es fácilmente modificable, ya que depende de los pasos o equipos del sistema que son cuellos de botella.
- *Tiempo en el Sistema:* Realmente es un resultado de las otras dos variables. ¿Cómo podría controlarse el tiempo en el sistema a través de una intervención directa? (*Se deja esta inquietud al lector*).
- *WIP (Inventario en Proceso):* En la mayor parte de los casos el nivel de WIP es una decisión gerencial u operativa, pero en todo caso es controlable por parte de la empresa.

Reordenando los términos de la Ecuación 1 para despejar *TS* tendremos:

$$TS = WIP / TP$$

Si se considera la Tasa de Producción como un parámetro fijo (es decir, no se modifica el proceso ni se cambia la tecnología), se puede deducir que cuando se disminuya el nivel de inventarios el tiempo en el sistema automáticamente bajará, y cuando se logre disminuir el tiempo en el sistema (a través de mejoramiento de procesos y aplicación de Justo a Tiempo) se disminuirá la cantidad de inventarios que la empresa tiene. De ahí que se pueda afirmar que el tiempo de respuesta a clientes y la cantidad de inventarios que la empresa mantiene son dos caras de la misma moneda. Este principio se utilizará en las explicaciones subsiguientes.

4.2. Estructura del Modelo de Implementación

- En la parte superior de la Figura 6 se encuentra Kaizen, representando la promoción de una cultura de mejoramiento continuo. Su implementación debe ser por fuerza gradual, ya que la forma de pensar y actuar de las personas no cambia instantáneamente, de la noche a la mañana. Sin embargo, es indispensable cambiar la forma de considerar y tratar a las personas en la empresa. Podría decirse que el fundamento de Kaizen es respetar la dignidad de cada persona y tratar, muy a propósito, de aprovechar la inteligencia, experiencia y capacidades de cada individuo. Por esto se encuentra a Kaizen como presencia indispensable a lo largo del proceso de implementación Lean.
- El Modelo de Implementación presentado en la Figura 6 tiene como primera técnica la elaboración del *Mapa de la Cadena de Valor* (Value Stream Map). Este mapa, como se explicó en la sección 3.2., presenta de manera gráfica el alcance del proceso productivo que se va a considerar. Es necesario conocer muy bien qué etapas, equipos y máquinas van a ser consideradas dentro de un proceso de implementación Lean. El Mapa (como punto de partida) permite establecer el alcance de los proyectos de implementación. Además, al presentar la información de tiempos de procesamiento, tiempos de espera en inventario y lead times totales, facilita la detección de oportunidades de mejoramiento aplicando las técnicas Lean (de nuevo se aplica la Ley de Little: Es posible intervenir sobre las cantidades de inventarios o los tiempos de trabajo o espera, pero cualquier cambio favorable en una de esas variables tendrá inmediatamente un impacto positivo en la otra). Por estas razones, tiene pleno sentido iniciar un proyecto de implementación de Lean Manufacturing enseñándole a los involucrados cuál es el alcance del sistema productivo en consideración y el estado actual del proceso en cuanto a tiempos y acumulaciones de inventario.
- *Sistemas de trabajo flexibles:* Una vez está claro el alcance del trabajo a desarrollar es posible y necesario organizar la planta por

equipos enfocados o *celdas*. Las celdas deben tener (como regla empírica general) entre cuatro y 12 equipos o estaciones de trabajo, y entre uno y siete trabajadores (existen amplias discusiones al respecto) (Monden, 1998; Ohno, 1988). La organización por celdas es necesaria para la implementación de herramientas posteriores porque aporta el **foco** y el **alcance** al trabajo de las personas involucradas en una determinada celda. No quiere decir que una persona esté limitada a trabajar permanentemente en una sola celda, quiere decir que el establecimiento de límites de trabajo facilita el entrenamiento y el aprendizaje de todas las tareas de la celda, así como de las características de calidad esperadas del producto en cada etapa del proceso. Este es un esquema intermedio entre el trabajo artesanal (donde el artesano debe dominar todas las etapas del proceso) y el trabajo por procesos (donde el operador se especializa en un tipo determinado de equipos y su funcionamiento). En la organización por celdas es posible entrenarse rápidamente en el trabajo de una celda y si es necesario pasar a otra posteriormente, se llevarán como aportes las habilidades adquiridas en la primera celda.

- **5S:** Cómo se discutió en la sección 3.2, 5S es más que un esquema de orden y limpieza. Después de 5S los operadores sabrán dónde debe ir cada implemento de su trabajo, cuál es el mejor lugar para poner sus herramientas y materiales, cada cuánto y cómo debe realizarse el aseo y mantenimiento de sus equipos y su lugar de trabajo. Es la forma de generar pertenencia, disciplina y estandarización. Un lugar de trabajo con 5S está claramente demarcado, ergonómicamente distribuido y operativamente estandarizado.
- **Trabajo Estándar:** Para estandarizar las operaciones y procedimientos de trabajo, es necesario haber desarrollado el entrenamiento específico para el trabajo de la celda y la organización del lugar de trabajo. Es por esto que para el establecimiento de estándares y su permanente actualización es necesario haber pasado por la organización por celdas y la aplicación de 5S.
- **SMED:** Un punto indispensable para SMED es la familiarización profunda con el funcionamiento de los equipos y con las necesidades de alistamiento que se presentan entre el procesamiento de una referencia y otra (celdas). Además, parte importante de SMED es la de racionalizar el procedimiento del alistamiento, evitando perder tiempo de producción innecesariamente. Esto será en parte posible si existe un lugar definido, lógico, ergonómicamente adecuado y conocido para cada herramienta y material que intervienen en el alistamiento (5S). SMED a su vez permitirá perder menos tiempo en cada alistamiento y por lo tanto hacer más cantidad de alistamientos. De esta forma se podrá fabricar cada referencia con mayor frecuencia, lo que facilitará la reducción de los tamaños de lote, reducirá los inventarios en proceso y, por la Ley de Little, permitirá reducir el tiempo que los productos pasan en el sistema (reducción del lead time).
- **TPM (Mantenimiento Productivo Total):** Para poder cambiar hacia un mantenimiento cada vez más autónomo y productivo, es necesario que los operadores conozcan muy bien sus procesos y equipos (*celdas*). También es importante que el lugar de trabajo esté limpio y ordenado (5S), pues uno de los principios de TPM es que *limpieza es detección*, es decir, que la rutina de limpieza revelará rápidamente cuando se presente un problema relacionado con mantenimiento (escapes de lubricante, virutas o limaduras metálicas en sitios no previstos). La disciplina de la estandarización es también necesaria, puesto que para lograr la autonomía en las actividades de mantenimiento es necesario seguir unos protocolos definidos y poder participar en su mejoramiento. En TPM es muchas veces necesario el apoyo de personal especializado en mantenimiento, pues existen ciertos componentes del equipo con algún grado de sofisticación técnica y su atención debe realizarse por personal capacitado en el área.
- **Jidoka:** Para aplicar Jidoka es prerequisite que los operadores y los técnicos conozcan a fondo su proceso y las etapas de transformación que sufre el producto, para poder observar en qué sitios ocurren errores

y generar los cambios en el procedimiento, en el equipo y las ayudas de automatización. Así mismo, la limpieza y el orden reducen las causas posibles de errores, por lo que es más factible producir con calidad en un entorno ordenado y limpio (5S).

- **Justo a Tiempo (JIT):** Cómo se discutió en la sección 3.2, para poder hacer entregas más frecuentes y justo en el momento en el que se necesitan, es necesario poder producir en lotes más pequeños, lo que no será posible sin SMED. Es también necesario poder garantizar la calidad de los productos (propios y de proveedores), pues los esquemas JIT no permiten consumir tiempo en la realización de inspecciones de ingreso (*Jidoka*). Se supone que es posible confiar en la calidad de un proveedor certificado que ha pasado por un proceso de entrenamiento y asistencia técnica con la empresa cliente. Además, el rápido reabastecimiento de los kanbans utilizados no será posible si la confiabilidad y

disponibilidad del equipo son deficientes (*TPM*).

- **Heijunka (Producción Suavizada):** Para hacer la producción suavizada existe una necesidad acentuada de poder hacer alistamientos frecuentes (*SMED*), de que la calidad esté asegurada (*Jidoka*) y de que la programación de producción se pueda cumplir sin sobresaltos (*TPM*). Por estas razones JIT y Heijunka son las dos técnicas que tienen más prerequisites y que se consideran más sofisticadas en su implementación, puesto que gran cantidad de principios tienen que estar operando en la empresa antes de poder implementarlas.

En la Figura 8 se presenta el mapa de implementación con los aportes que cada etapa realiza para las siguientes. La idea principal es que la implementación sea una construcción sostenida y que los aprendizajes ganados se conserven y se aprovechen para generar ganancias operativas cada vez mayores.

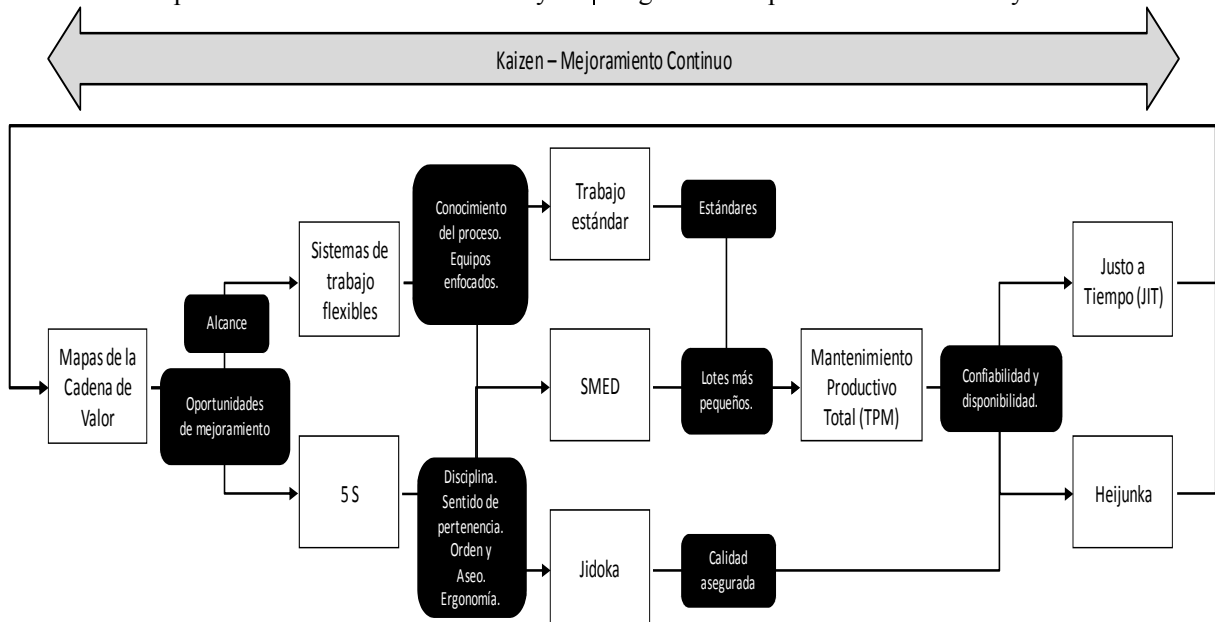


Figura 8: Mapa de implementación con aportes progresivos

5. Conclusiones

- Las diferentes herramientas que se asocian con Lean Manufacturing no son desconectadas. Existe una lógica de prerequisites que se desprende de los aprendizajes y disciplinas ganados en la implementación de cada técnica y que son

necesarios para aplicar las técnicas más “sofisticadas”.

- La identificación de estos aprendizajes permite la construcción de una estructura teórica de implementación basada en los requerimientos de cada técnica.

- Los *Mapas de la Cadena de Valor* permiten enfocar los esfuerzos e identificar las oportunidades de mejoramiento. *Kaizen* es la raíz del cambio cultural permanente e indispensable. Sin embargo, la herramienta tangible y concreta que ocasiona los primeros cambios visibles, mejora el sentido de pertenencia, mejora el lugar de trabajo y pone la base física de todos los mejoramientos posteriores es *5S*.
- Todos los aprendizajes posteriores se hacen posibles después de la aplicación de *5S*, por lo tanto es vital que no se deaiga en su uso y aplicación. La realización de entrenamientos continuos, proyectos de estandarización, de control visual y de auditorías internas cruzadas debe aprovecharse para mantener y mejorar el nivel alcanzado.

6. Investigación Futura

- Sería importante realizar un contraste de este modelo teórico con implementaciones reales en empresas colombianas e internacionales. Observar qué prácticas han funcionado y cuáles no, explorando las razones de éxitos y fracasos, permitiría reunir evidencia para compararla con la propuesta teórica para mejorar su validez empírica.
- De otra parte, podrían realizarse implementaciones piloto a través de proyectos de grado y de semestres de práctica, para observar el comportamiento de este modelo en la práctica y estudiar sus ventajas y limitaciones en la aplicación real.
- Es probable que se deban crear enfoques que reconozcan las diferencias culturales entre países, regiones y compañías, para incorporar dichas diferencias en las especificidades de cada implementación. Es decir, sería adecuado crear mecanismos que hagan flexible el modelo y que permitan reconocer condiciones propias en la forma de ser de cada empresa y explícitamente guiar al consultor o implementador de Lean

en las distintas dimensiones a considerar en el mejoramiento.

7. Referencias bibliográficas

1. Groesbeck, R. (2005). Class Notes for the course in Production Systems Improvement. Virginia Tech, Blacksburg, VA.
2. Liker, J. (1997). *Becoming Lean: Inside stories of U.S. Manufacturers*. Productivity Press, Portland, OR.
3. Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time*. Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.
4. Ohno, T., (1988), *Toyota Production System*, Productivity Press, Portland, OR.
5. Shingo, S., (1985), *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Productivity Press, Portland, OR.
6. Shingo, S., (1986), *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*, Productivity Press, Portland, OR.
7. Womack, J. P., Jones, D. T., and Roos, D., (1990), *The Machine that Changed the World*, Macmillan, New York, NY.
8. Womack, J. P. and Jones, D. T., (1996), *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon and Schuster, New York, NY.
9. Womack, J. P. and Jones, D. T., (2005), *Lean Solutions*, Free Press, New York, NY.
10. *Lean Thinking and Strategic Asset Management*. Consultado de la página web <http://www.ebizq.net/topics/scm/features/5443.html> (23 de Octubre de 2008).
11. *Lean to the Bone: Dell Computers. Made in Europe Magazine*. Consultado de la página web http://newsweaver.ie/madeineurope/e_article000324760.cfm?x=b11,0,w (23 de Octubre de 2008).
12. Pratt & Whitney plays the ACE of Lean. *Lean Directions (the Lean Manufacturing e-newsletter)*. URL: <http://www.sme.org/cgi-bin/get-newsletter.pl?LEAN&20060907&1&> (consultado el 23 de Octubre de 2008).