

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

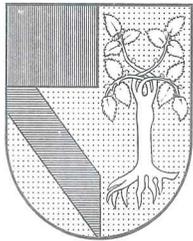
CAMPUS GUADALAJARA

PAULINA GONZÁLEZ AYALA

*Generación de un mapa sistémico para la
aplicación de herramientas lean en la construcción*

Tesis presentada para optar por el título de
Licenciado en Ingeniero Civil Administrador
con Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la
SECRETARIA DE EDUCACION PÚBLICA,
según acuerdo número 871472 fecha 07-Oct.-1987.

Zapopan, Jalisco, Junio 2017



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACION

C. PAULINA GONZÁLEZ AYALA

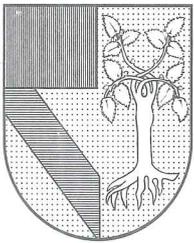
Presente.

En mi calidad de Presidente de la Comisión de Exámenes Profesionales y después de haber analizado el trabajo de titulación en la opción TESIS titulado: **“Generación de un mapa sistémico para la aplicación de herramientas lean en la construcción”** presentado por Usted, le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos para ser presentado ante el H. Jurado del Examen Profesional, por lo que deberá entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

Atentamente

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

Mtro. RODRIGO NAVARRO GUERRERO



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

26 Junio de 2017

ING. RODRIGO NAVARRO GUERRERO
Universidad Panamericana
Campus Guadalajara
Escuela de Ingeniería Civil y Administración
Comité de Titulación
Presente

Estimado Ingeniero Navarro:

Por medio de la presente y en mi carácter de Asesor de Tesis de **Paulina González Ayala**, he revisado cuidadosamente el documento titulado **“Generación de un mapa sistémico para la aplicación de herramientas lean en la construcción”**. Tesis que en mi concepto y en los términos establecidos por la Institución, reúne los requisitos de una tesis de carácter recepcional.

Sin más por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier duda o comentario sobre el particular.

Atentamente

Mtro. Francisco Moreno Abril
Asesor de Tesis.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de estos 5 años de carrera y durante el tiempo de investigación para concluir con este proyecto. Por la fuerza que me brindó en los momentos de debilidad y por aquellos tantos de felicidad.

A mis padres por todo el apoyo incondicional que me han manifestado desde el primer día que decidí estudiar esta carrera.

También agradezco a mis profesores asesores Javier Masini y Francisco Moreno por compartir sus conocimientos, su tiempo y esfuerzo dedicado para concluir con este trabajo de investigación.

RESUMEN

En los últimos años se ha visto un mayor interés en mejorar los procesos en la industria de la construcción y en la aplicación de nuevas metodologías.

El pensamiento *Lean* es un concepto que inició en la manufactura japonesa y se esfuerza en eliminar los excesos o desperdicios de los procesos en un sistema. La metodología *Lean* se ha aplicado al proceso de la construcción conocido como *Lean Construction*®, sin embargo, la resistencia de la industria “tradicional” de la construcción a las ideas de la manufactura esbelta ha limitado el alcance que puede ofrecer esta metodología sin pérdidas.

Esta investigación nos ayuda a entender y conocer más sobre las bondades y ventajas de la filosofía *Lean Construction* ® para la planeación, ejecución y control de obras, su origen, características y herramientas, pretendiendo servir como base para impulsar la implementación de esta filosofía dentro de las empresas constructoras.

Se pretende también, realizar un análisis de funciones (*Value Engineering*®) de todas las herramientas de la filosofía *Lean* con el objetivo de saber qué funciones llevan a cabo éstas y crear un mapa que nos ayude a entender cómo se interrelacionan y cómo en conjunto, trabajando como un sistema, se puede lograr cumplir con la función objetivo de la metodología *Lean Construction* ®.

ÍNDICE

Capítulo 1 Introducción	10
1.1 El porqué de la tesis	10
1.2 Antecedentes	10
1.3 Hipótesis y objetivos.....	11
1.3.1 Hipótesis	11
1.4 Alcance	12
1.5 Metodología	13
1.6 Descripción	13
Capítulo 2 Marco teórico.....	15
2.1 Introducción.....	15
2.2 Filosofía <i>Lean</i>	15
2.2.1 ¿Qué es <i>Lean</i> ?.....	15
2.2.1.1 <i>Lean Production</i>	16
2.2.1.2 <i>Lean Construction</i> ®.....	19
2.3 Herramientas de <i>Lean Production</i>	22
2.3.1 <i>Last Planner</i> ®	22
2.3.2 <i>Just in Time</i>	28
2.3.3 <i>Kanban</i>	30
2.3.4 Supermercados	34
2.3.5 <i>Jidhoka</i>	35
2.3.6 <i>Heijunka</i>	37
2.3.7 <i>Shojinka</i>	38
2.3.8 Celdas de Manufactura	39
2.3.9 <i>SMED</i>	40
2.3.10 <i>Poka Yoke</i>	42
2.3.11 Trabajo Estándar.....	45
2.3.12 Trabajadores con Habilidades Múltiples	48
2.3.13 Mapa de la Cadena de Valor	49
2.3.14 <i>Kaizen</i>	50
2.4 <i>Lean Construction</i> ®.....	54
2.4.1 Propósito de <i>Lean Construction</i> ®.....	54
2.4.2 <i>Lean Construction</i> ® como un Sistema	55
2.4.2.1 ¿Qué es un Sistema?	55
2.4.2.2 <i>Lean Construction</i> ® como un Sistema	56

2.4.3 Principios de <i>Lean Construction</i> ®	58
Capítulo 3 Comparación	63
3.1 Introducción.....	63
3.2 Visión de Diferentes Autores	63
3.2 Análisis FODA.....	65
3.3 Análisis de Funciones y Diagrama FAST	66
3.4 Propuesta.....	68
Capítulo 4 Análisis	69
4.1 Introducción.....	69
4.2 Interpretación de los resultados.....	69
4.2.1 Visión de los autores	69
4.2.2 FODA	70
4.2.3 <i>Value Engineering</i> ®	70
4.2.4 Análisis de propuesta	71
4.3 Validación de objetivos.....	80
4.3.1 Objetivos particulares	80
4.3.2 Objetivo general	82
Capítulo 5 Conclusiones	83
5.1 Introducción.....	83
5.2 Conclusiones.....	83
5.3 Futuras líneas de investigación	84
Bibliografía.....	86
Anexo 1	89
Anexo 2	94

Índice de Figuras

Figura 1 Ciclo de la mejora continua (Liker, 2006)	18
Figura 2 Espiral de la mejora continua (Liker, 2006)	19
Figura 3 <i>Last Planner</i> ® (Howell G. L., 2002).....	24
Figura 4 Proceso de planeación del último planificador (Howell G. L., 2002)	24
Figura 5 Diagrama conceptual del sistema <i>kanban</i> (Company, 2016).....	31
Figura 6 Ejemplo de <i>kanban</i> de retirada (Monden, 2012).....	32
Figura 7 Ejemplo de <i>kanban</i> de producción (Monden, 2012)	32
Figura 8 Supermercado en la construcción.....	34
Figura 9 Supermercado dentro del sistema <i>pull</i> (Shook, 1999)	35
Figura 10 Cómo <i>jidhoka</i> alcanza su propósito (Monden, 2012).....	36
Figura 11 Factores para llevar a cabo <i>shojinka</i> (Monden, 2012)	39
Figura 12 Fases conceptuales para mejora de preparaciones (Shingo S. , 2012)..	42
Figura 13 Luz de aviso (Masini, 2006)	44
Figura 14 Andón en línea de producción (Masini, 2006)	45
Figura 15 Elementos de las operaciones estándar (Monden, 2012).....	46
Figura 16 Ejemplo de hoja de secuencia de trabajo estándar (Monden, 2012)	48
Figura 17 <i>Kaizen</i>	50
Figura 18 Mejora a través del tiempo	51
Figura 19 <i>Plan Do Check Act</i> (Adecuación de El Ciclo de Deming)	52
Figura 20 PDCA → SDCA (Masini, 2015b)	53
Figura 21 Estabilidad conectada en la cadena de valor (Liker, 2006).....	53
Figura 22 PDCA en el tiempo (Ruiz, 2015)	54
Figura 23 Cómo interactúa <i>Lean Construction</i> ®	57
Figura 24 Diferentes enfoques (Koskela, 1992)	59
Figura 25 Disminución del tiempo de ciclo (Koskela, 1992)	60
Figura 26 Diagrama FAST <i>Lean Construction</i> ®.....	67
Figura 27 Mapa sistémico <i>Lean Construction</i> ®.....	68
Figura 28 Función orden superior y básica	71
Figura 29 Telebelt en la construcción de una presa (Putzmeister, 2017)	74
Figura 30 Uso de transportador modular para instalación de puentes (Transportation, 2010)	76
Figura 31 Módulos listos para ser transportados al lugar de montaje (Jun, 2016)..	77

Figura 32 Montaje de módulos (Jun, 2016) 78
Figura 33 Casa modular de *Toyota Home* (Home, 2016) 78

Capítulo 1 Introducción

1.1 El porqué de la tesis

Cada proyecto de construcción debe de contar como objetivos principales el cumplimiento en calidad, plazos y costos. A pesar de la importancia con la que actualmente cuenta la industria de la construcción en México, nos seguimos encontrando con errores que se han venido repitiendo desde años anteriores, día con día, en los proyectos de construcción: calidad pobre, desviaciones en cumplimientos de plazos y costos, baja productividad, altos índices de accidentes, etc.

Hoy en día, existe una mayor competitividad entre las empresas dedicadas a la industria de la construcción, lo cual nos lleva a la necesidad de generar procesos y sistemas innovadores que permitan mejorar y eliminar los errores antes mencionados en las obras y que nos ayuden a concluir proyectos más eficientes y competitivos.

De aquí surge la necesidad de investigar las herramientas y principios de la filosofía *Lean Production*, cuáles son sus funciones en lo particular y cómo lograr que al interactuar entre sí, se genere un sistema que una procesos y flujos, alcanzando los objetivos de disminuir las pérdidas y aumentar el valor de los proyectos de construcción.

1.2 Antecedentes

Lean Construction® surge de la aplicación de los conceptos y herramientas de la metodología de *Lean Production* aplicada en la industria de la construcción, el cual tiene como objetivo el optimizar los desempeños de los procesos de producción, generando mayor valor al proyecto minimizando los desperdicios.

Las herramientas de la filosofía *Lean* están enfocadas a los procesos de producción, sin embargo, cuando son aplicados a los procesos constructivos se logra un enfoque más productivo y eficaz en la planificación, control y gestión de obra. El sistema se está actualizando constantemente de información real, haciendo que los procesos sean cada vez más transparentes, permitiendo alcanzar los objetivos con éxito.

Cuando se reduce al máximo posible el tiempo que se invierte a aquellas actividades que no agregan valor y generan desperdicios, se produce la reducción de las pérdidas en los procesos del proyecto de construcción. El sistema clasifica a los desperdicios en 7 categorías: sobreproducción, esperas, transporte, procesos, inventarios, movimientos innecesarios y defectos.

Los principios aplicables a los proyectos de construcción según Koskela (1992) son los siguientes:

1. Reducir la participación de actividades que no agregan valor.
2. Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente.
3. Reducir la variabilidad.
4. Reducir el tiempo de ciclo.
5. Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso.
6. Incrementar la flexibilidad de las salidas.
7. Incrementar la transparencia de los procesos.
8. Enfocar el control de los procesos al proceso completo.
9. Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.
10. Balancear la mejora del flujo con la mejora de la conversión.
11. Referencias permanentemente los procesos (*benchmarking*).

Llevando a cabo la aplicación de las herramientas correctas y el seguimiento de estos principios se puede llegar a la construcción sin pérdidas, optimizando procesos y recursos durante todas las etapas del proyecto.

1.3 Hipótesis y objetivos

1.3.1 Hipótesis

Esta tesis se basa en la siguiente hipótesis:

“Generar un modelo para la aplicación de las herramientas y principios de Lean Production para ser aplicadas en la construcción”

1.3.2 Objetivo General

Se pretende realizar una investigación profunda de las herramientas y principios de la metodología *Lean* para así, ampliar los conocimientos de sus funciones y posibles aplicaciones en la industria de la construcción.

1.3.4 Objetivos Particulares

Se proponen los siguientes objetivos particulares:

- A través de un análisis de funciones de todas y cada una de las herramientas *Lean*, identificar qué función o funciones desempeñan.
- Una vez tengamos las funciones de las herramientas, proponer un mapa sistémico que nos ayude a entender cómo funcionan las herramientas cuando interactúan entre sí, es decir, cuando trabajan como un sistema logrando cumplir con su objetivo principal.
- Desarrollar una comparación entre tres autores y sus opiniones de la metodología *Lean*, identificar cuáles son sus semejanzas y diferencias y qué aportaciones pueden realizar al trabajo de los otros autores complementando los principios de la metodología para lograr la mejora en cada proyecto.
- Desarrollar un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) para detectar y analizar características internas y externas de la situación actual de la aplicación de la metodología *Lean* en la construcción.

1.4 Alcance

El estudio de esta investigación se delimitará a un análisis literario de lo publicado a la fecha de diciembre de 2016 en revistas de investigación, libros de aplicación de la metodología, ensayos de diferentes autores expertos en la materia y de congresos que se dedican a la investigación sobre *Lean* y su aplicación en la construcción.

1.5 Metodología

Se realizará a través de un estudio cualitativo. Una investigación documental sobre temas relacionados a la metodología *Lean Production* y *Lean Construction*®. Se obtendrá información de diferentes autores para profundizar en las metodologías y posterior comparación y análisis.

1.6 Descripción

El contenido de esta tesis se dividirá en 5 capítulos más un capítulo de anexos.

- El primer capítulo, la introducción, incluye los antecedentes, hipótesis y objetivos, alcance y metodología para la realización de la tesis.
- El capítulo número dos es el marco teórico de la tesis, explicamos desde qué es *Lean*, cuáles son sus inicios y cómo fue que se abrió las puertas para su aplicación en el ramo de la construcción. Cuáles son los principios que se aplican en la metodología, cuáles son las herramientas y cómo funcionan.
- En el capítulo tres se hace la comparación entre los diferentes autores y sus principios de la metodología *Lean*. Se realiza también el análisis FODA para determinar las características de la aplicación de las herramientas en la construcción, y se desarrolla un estudio de análisis de funciones con ayuda de la metodología de *Value Engineering*® para determinar sus funciones y proponer un diagrama para la implementación de las herramientas en base a sus tareas a ejecutar, haciéndolas trabajar en conjunto para llegar a cumplir su objetivo principal.
- En el capítulo cuarto, se realiza el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior. Del diagrama obtenido se proponer realizar un mapa sistémico con el fin de exponer de una manera visual cómo se debería de implementar *Lean Construction*® en los proyectos. Además, se hace la validación o anulación de los objetivos presentados en el capítulo uno.

- El quinto capítulo desarrolla las conclusiones, se verifica si la hipótesis propuesta es afirmativa o negativa, además, se proponen temas para líneas de investigaciones futuras.
- El último capítulo contiene la bibliografía, glosario de términos, y otros anexos que ayudaron para el desarrollo de la tesis, tales como la lista aleatoria de funciones de las herramientas y el diagrama FAST (*Function Analysis System Technique* - Técnica para el Análisis del Sistema de Funciones) de *Lean Construction*®.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Introducción

En este capítulo se explica qué es *Lean*, un poco de la historia de sus orígenes, cuáles son las herramientas y sus principios. También se explica cómo se ha estado aplicando en la industria de la construcción y los beneficios que se obtienen de su aplicación.

La información presentada en este capítulo se obtuvo de diferentes fuentes tales como revistas de investigación, libros de aplicación de la metodología, ensayos de diferentes autores expertos en la materia y de congresos que se dedican a la investigación sobre *Lean* y su aplicación en la construcción.

2.2 Filosofía *Lean*

2.2.1 ¿Qué es *Lean*?

“La manera para convertirse en Lean es tener todos los elementos funcionando como un sistema. Debe practicarse a diario y de manera consistente” - Fujio Cho
(Liker, 2004)

La palabra *Lean* tomó sentido cuando un equipo de investigación del *Massachusetts Institute of Technology* trabajaba en una investigación para los procesos de la manufactura automotriz, y decidieron llamar *Lean Manufacturing* al conjunto de procesos y métodos que el mayor fabricante de la industria, Toyota, utilizaban para obtener beneficios de su aplicación, con los objetivos de:

- Minimizar el uso de recursos.
- Entregas oportunas de los productos solicitados (lo que se necesita, cuando se necesita y en la cantidad necesaria).
- Tendencia a cero defectos.

Este estudio dio como resultado que la aplicación de los métodos *Lean* en las empresas requirieran de menor esfuerzo humano, menor inversión en inventarios de materiales y herramientas, menor espacio y menor cantidad de horas de ingeniería para el desarrollo de productos.

Así pues, *Lean Manufacturing* es un conjunto de herramientas aplicadas para la mejora y optimización de procesos (tiempos de respuesta más cortos, mejoras en la atención y servicio al cliente, mejoras de calidad, minimización de costos, etc.) desarrollada por Toyota.

2.2.1.1 *Lean Production*

Eiji Toyoda y Shoichi Saito, directivos de Toyota en los 50's, realizaron una visita por las fábricas de *Ford Motor Company* en Estados Unidos para observar las últimas tecnologías de producción de automóviles. A su regreso a Japón, los dos hombres comenzaron con una política de vital importancia que se ha mantenido vigente en Toyota; el continuo compromiso de invertir en sólo las instalaciones de producción más modernas como la clave para los avances de productividad y calidad. Toyota se movió con rapidez y de manera agresiva en la década de los 50's, se hizo de inversiones de capital para nuevos equipos para las instalaciones de producción de la empresa (Masini, 2015a).

Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno, y otros en Toyota se dieron cuenta que con una serie de innovaciones sencillas en el sistema de producción de Ford, podían mejorar la continuidad en el flujo del proceso (lo que incrementaría su productividad y eficiencia) y a expandir una variedad de oferta en sus productos. Así que se propuso una serie de objetivos para el diseño de su sistema de producción:

- Producir un carro con los requerimientos específicos del cliente.
- Entrega al instante.
- No mantener inventarios o almacenes intermediarios (inventario mínimo).

Así, en 1954, Taiichi Ohno introdujo el sistema *Kanban*. Se le ocurrió la idea de un sistema como éste después de visitar un supermercado en Estados Unidos, donde

los 'consumidores' tomaban los 'productos' de los estantes, y el 'almacenista' reponía el *stock* hasta el nivel que se había agotado. *Kanban* es una herramienta clave de lo que, tras evolucionar un poco más, se convertiría en el Sistema de Producción Toyota (TPS – *Toyota Production System*).

El Sistema de Producción Toyota, se estableció en base a dos grandes conceptos según lo muestra el mismo Toyota en su sitio web (1995):

- *Jidhoka*. Esto significa que cuando se produce un problema, el equipo se detiene inmediatamente, evitando que los productos defectuosos sean producidos (control automático de defectos) y será notificado vía *andon* para que el operador pueda ir a identificar la causa del problema y evitar su recurrencia. A esto Toyota lo describe como "automatización con un toque humano".
- *Just in time*. Se refiere a la meta lograda cuando cada proceso produce sólo lo que se necesita, sólo en el momento que lo necesita y sólo en la cantidad necesaria; todo esto en un flujo continuo.

Con estos dos grandes pilares, se crea un sistema con el cual se logra reducir el tiempo entre la colocación del pedido por parte del cliente hasta su entrega, eliminando los desperdicios o excesos, y permitiendo así, un flujo continuo durante la elaboración de los productos y la disminución de costos.

Espiral de la mejora continúa

Flujo de trabajo

La primera tarea a realizar para lograr un flujo de trabajo, es el estandarizar los procesos por los cuales, una vez realizados se ven satisfechas las necesidades del cliente. Cuando se genera este flujo de trabajo y posteriormente, la unión de los procesos, los problemas se ven evidenciados, ayudando a poner atención a éstos para lograr solucionarlos y evitarlos en el futuro. Para lograr esto, se realizan 4 pasos, que posteriormente se vuelven un ciclo, el ciclo de la mejora continua (Liker, 2006).

1. Crear un proceso estable capaz de satisfacer las necesidades del cliente.
2. Crear flujo conectando procesos.

3. El proceso se vuelve consistente (se estandariza).
4. Se nivela de forma incremental.

Después de que una operación ha alcanzado este nivel, un segundo proceso se estabiliza y luego se conectan los dos procesos, haciendo un proceso dependiente del otro.

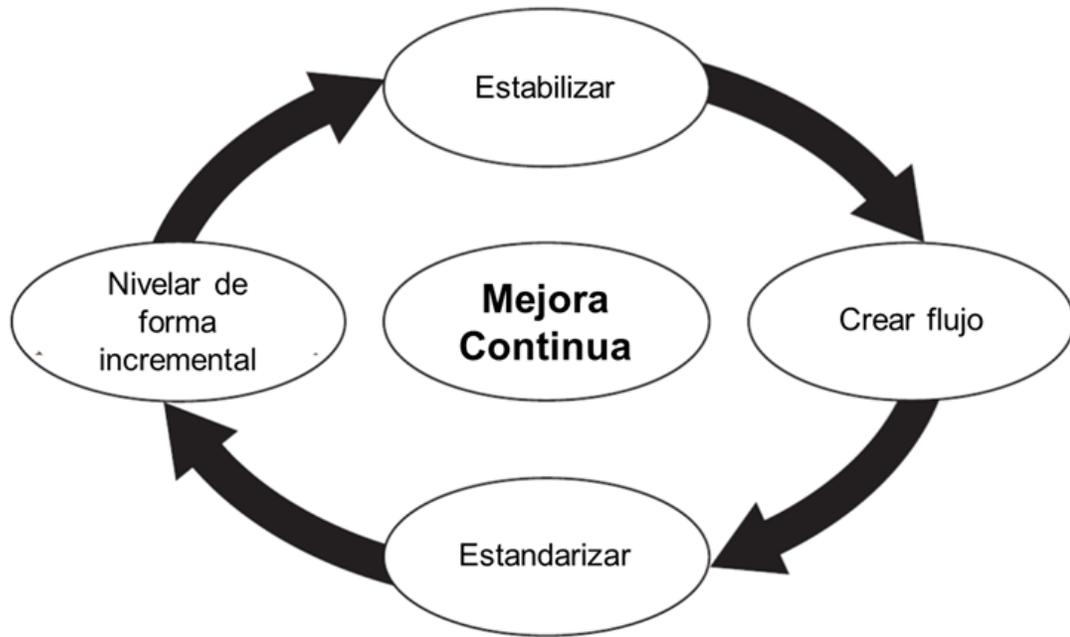


Figura 1 Ciclo de la mejora continua (Liker, 2006)

Después de conectar las operaciones con éxito a otras operaciones, toda la cadena avanza simultáneamente, es decir, se crea el flujo de trabajo. Cuando este proceso se repite, se convierte en una espiral, como se muestra en la figura 2. Cada ciclo a través de las fases que lo componen, se traduce en que el trabajo se volverá más eficiente, por lo cual cada vez serán más pequeñas las mejoras incrementales a realizar. Sin embargo, esto no quiere decir que en algún punto llegaremos a la perfección, ya que la variación de fuentes externas, como lo son el clima o la economía, generan inestabilidad en los procesos y es aquí donde se generarán grandes cambios, manteniendo en movimiento esta espiral.

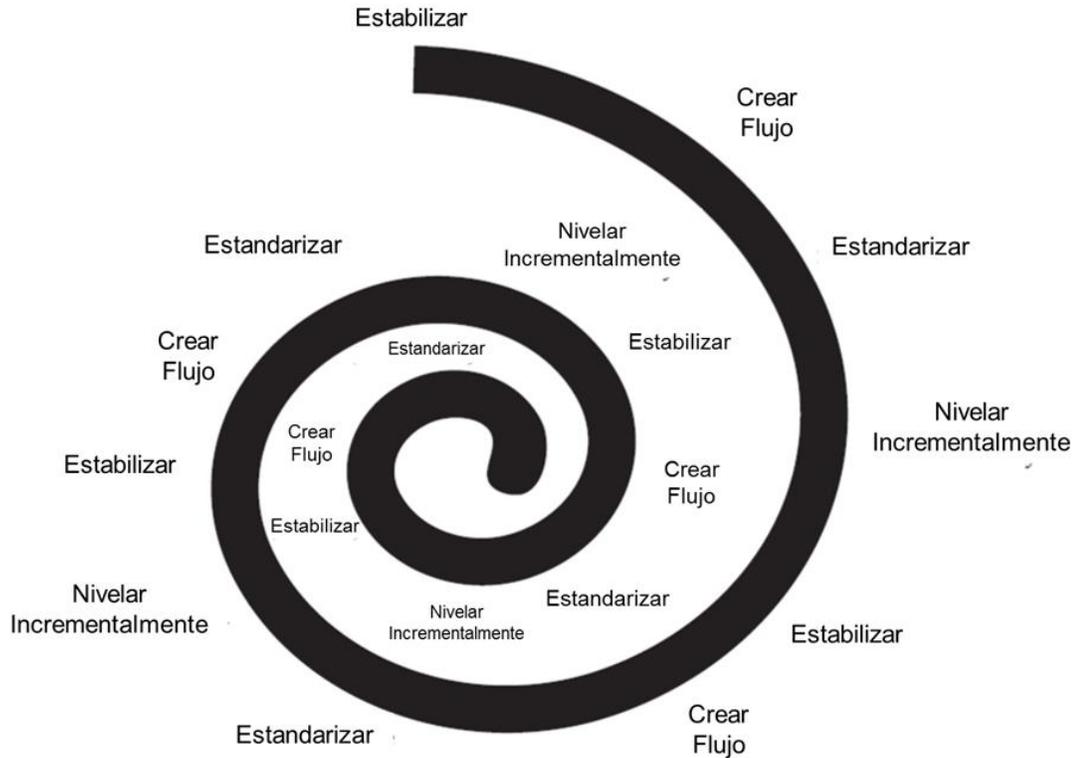


Figura 2 Espiral de la mejora continua (Liker, 2006)

2.2.1.2 *Lean Construction*®

Los primeros trabajos en los años 1890's de Frank Gilbreth, quien es considerado el padre de la Ingeniería Industrial, indican el gran potencial que tienen los enfoques de la manufactura al ser utilizados en la construcción para mejorar la velocidad y la eficiencia de trabajo en la misma (Forbes & Ahmed, 2011).

Gilbreth vio una oportunidad con los albañiles de las obras. Miró la forma en la que los albañiles trabajaban y sintió que ellos podrían trabajar de una manera más eficiente. Desarrolló una idea a la que llamó *Speed Work*. Gilbreth notó que muchos de los movimientos que realizaban los trabajadores eran innecesarios y además, no agregaban valor al proyecto. Los trabajadores tenían que agacharse y tomar cada uno de los ladrillos colocados en un montón en el suelo, una vez realizada esta maniobra, tenían que acomodarlo en sus manos para después colocar la mezcla sobre de él, trabajo que tomaba tiempo extra. Gilbreth se dio a la tarea de encontrar mejoras en el trabajo que realizaban los albañiles. Colocó en una plataforma el

montón de ladrillos para que el albañil no tuviera que agacharse por él, y así disminuyó severamente el tiempo en la maniobra. También organizó a los trabajadores con menores habilidades o peor pagados y que fueran ellos quienes acomodaran el ladrillo en la plataforma de trabajo, así, el albañil se centraría en su trabajo por colocar ladrillos en la pared, actividad que agrega valor para el cliente. Así fue como Gilbreth desarrolló un método que redujo el número de movimientos del albañil de 18 a 5, minimizando la fatiga del trabajador y aumentando su productividad. También se dio a la tarea de hacer mejoras en el sistema, entre ellas buscó cuál sería la carga óptima que un trabajador pudiera manipular con una pala, con el fin de aumentar la seguridad en el trabajo del día a día en la obra; por mencionar sólo algunas de las mejoras que logró implementar.

Durante la mayor parte del siglo XX, la productividad en la industria de la construcción ha ido en aumento. El crecimiento de la productividad se debió principalmente a la aplicación de tecnologías tales como mejores herramientas y equipos, innovaciones como la construcción de elementos prefabricados, soluciones computacionales de planeación, entre otras; ayudaron a mejorar la velocidad en el proceso de construcción.

En el año de 1983 se fundó el Instituto de la Industria de la Construcción (CII - Construction Industry Institute) basado en la Universidad de Texas en Austin. Este instituto, se ha dedicado durante muchos años al estudio de las deficiencias en la industria, con el fin de lograr desarrollar mejoras en el sistema.

En 1992, Lauri Koskela, profesor en Construcción y Planeación de Proyectos en la Universidad de Huddersfield, inició con la investigación de la aplicación de los términos *Lean* en la industria de la construcción en la Universidad de Stanford donde pasó un año como profesor visitante y llevó a cabo un estudio titulado “Las Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción de la Construcción”. Koskela propuso un nuevo enfoque que no se basa en la tecnología, sino más bien en los principios de la filosofía de producción.

En 1997 el profesor de las Universidades de Stanford y Berkely, Glenn Ballard, fundó el *Lean Construction Institute* (LCI) y junto con Greg Howell, han enseñado la técnica

de *Lean Construction*® por todo Estados Unidos y han colaborado en diversos proyectos en la industria de la construcción a nivel mundial.

Es hasta principios del siglo XXI cuando *Lean Construction*® empieza a ser desarrollado, aplicado e investigado en diversas partes del mundo: Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Dinamarca, Finlandia, Japón, Israel, Brasil, Chile, Perú, etc. A la fecha, universidades y despachos especializados, se dedican a la enseñanza, divulgación y aplicación de esta metodología.

Desperdicios

Desde la perspectiva del sistema *Lean* según Toyota Company (2016), se considera un desperdicio a cualquier otra cosa agregada a la cantidad mínima de equipo, materiales, partes, espacio y esfuerzo de los trabajadores, además de los que son absolutamente esenciales para agregar valor al producto.

Una de las actividades claves en *Lean* es el identificar las actividades que agregan (por las que el cliente está dispuesto a pagar) y aquellas que no (agregan costo, bajan la productividad y la competitividad). Una vez clasificadas, es posible emprender acciones para mejorar las que agregan y eliminar o disminuir las que no agregan valor. En una actividad es común encontrar que más del 95% del tiempo no se está agregando valor.

En un proceso de producción típico, el material se procesa (se convierte) en un número de subprocesos. También se inspeccionan, se mueve de una operación a otra, o se hacen esperar. La inspección y las esperas del material se consideran actividades de flujo. Las **actividades de conversión** son consideradas como aquellas que agregan valor (albañilería, colado, etc.), mientras que las **actividades de flujo** no agregan valor al cliente.

Shigeo Shingo, en su libro *Study of Toyota Manufacturing System (1989)* propuso la siguiente clasificación de desperdicios orientados a la manufactura:

Sobreproducción: producir algo antes de que se venda o en una cantidad mayor a lo que necesita el cliente. Producir más temprano o más de lo necesario genera otros

desperdicios, como el exceso de personal, el almacenamiento y los costos de transporte a causa de exceso de inventario.

Esperas: cuando los materiales no se encuentran en transporte o en proceso de transformación, y sólo están esperando (más material, mano de obra, maquinaria, etc.). En los procesos tradicionales la mayor parte de creación de un producto, éste se encuentra a la espera de ser trabajado.

Transporte: mover el material de un lugar a otro, incluso si es sólo una corta distancia; o bien tener que mover los materiales, partes o productos terminados dentro o fuera de almacenamiento.

Proceso: la adopción de medidas que no sean necesarias para agregar valor a las partes; los procesamientos ineficientes debido a herramientas en mal estado. La inspección y las preparaciones son ejemplos de procesos que no agregan valor directo al cliente, a pesar de su esencia de proceso.

Inventarios: excesos de materia prima, material en proceso o de producto terminado que producen largos tiempos de entrega, obsolescencias, productos dañados, y costos por almacenamiento. También, el inventario extra esconde problemas como los desequilibrios en la producción, retrasos en las entregas de los proveedores, defectos, tiempo muerto de la maquinaria, y tiempos de preparación largos.

Movimientos innecesarios: cualquier movimiento que tiene que realizar el trabajador durante su curso de trabajo como buscar material, apilar piezas, localizar herramientas, etc.

Defectos: producción de piezas defectuosas o corrección. Retrabajos e inspección significa un desperdicio de tiempo y esfuerzo.

2.3 Herramientas de *Lean Production*

2.3.1 *Last Planner*®

El sistema de planeación y control de la producción *Last Planner*®, fue propuesto por los profesores Glenn Ballard y Gregory A. Howell a finales de los 90's. Su principal objetivo es aumentar la fiabilidad de los flujos de producción y reducir la variabilidad tomando acciones principalmente en dos niveles: **Planeación intermedia y planeación semanal** de obra y con esto, mejorar los desempeños (Rodríguez Fernández, Alarcón Cárdenas, & Pellicer Armiñana, 2011).

Cuando se realiza una correcta planeación de obra, y se realizan las actividades con la mejor secuencia, se aumenta la productividad ya que los tiempos de esperas son eliminados o disminuidos, se asigna la mano de obra adecuada y se coordina la interdependencia de las múltiples actividades a realizar.

Para mejorar la planeación en la industria de la construcción según lo menciona Ballard (1994), se deben de superar varios obstáculos comunes, tales como:

1. Prevenir cambios malos y causar buenos cambios.

En 1964, Joseph Juran publicó un libro llamado *Managerial Breakthrough*, en el cual propone que la administración cuenta con tan sólo dos tareas: prevenir malos cambios y causar los buenos. Prevenir los malos fue llamado “control” y causar los buenos “avance”.

Controlar y avanzar, son dos procesos muy diferentes que requieren de distinta información, Ballard comenta que en la industria de la construcción se cuenta con más información para controlar que aquella para lograr avances (Ballard, *Lean Construction*, 1994).

2. La planeación no se concibe como un sistema, sino que se basa en las habilidades y el talento de las personas que tienen responsabilidades en la programación del trabajo.

La construcción requiere de la planeación realizada por diferentes personas (en diferentes momentos y en diferentes lugares en la organización).

La planeación gerencial de la organización tiende a centrarse en los objetivos globales que rige todo el proyecto. Estos objetivos conducen a un nivel inferior de planeación que especifican los medios para lograr estos fines. Al final de la cadena, es un individuo o un equipo quien decide qué trabajos se llevarán a cabo al día siguiente. Estos trabajos planeados son llamados “asignaciones” y quien las produce es llamado “último planificador” (Ballard, 1994).

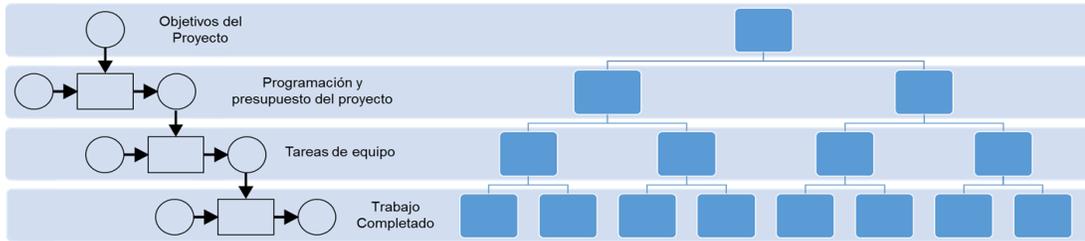


Figura 3 Last Planner® (Howell G. L., 2002)

3. La planeación se entiende en términos de programación y es descuidada la planeación a nivel del equipo de trabajo.

Primeramente, los elementos esenciales del sistema de planeación son aquellos que determinan qué se *debería* de hacer, qué se *puede* hacer y qué se *hará*. La estabilización del ambiente de trabajo comienza aprendiendo a hacer y mantener compromisos. Del último planificador se espera pueda asumir compromisos (se *hará*) haciendo lo que se *debería* de hacer, en la medida que se *pueda* hacer.

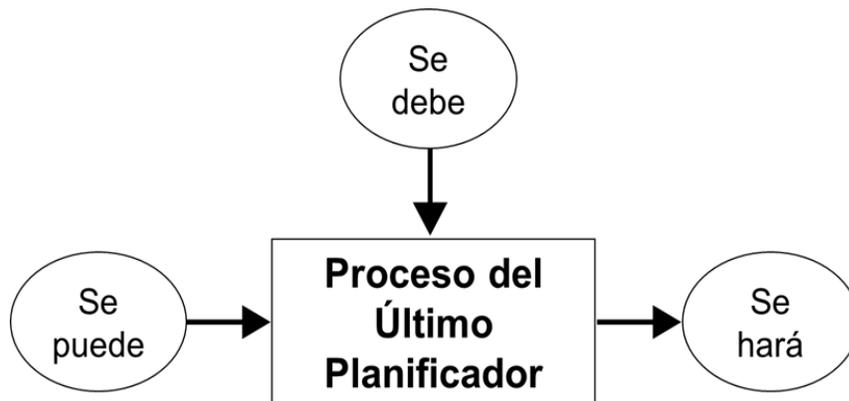


Figura 4 Proceso de planeación del último planificador (Howell G. L., 2002)

4. El desempeño del sistema de planeación no se mide.

La dimensión del rendimiento clave de un sistema de planeación a nivel del equipo de trabajo es su calidad de salida.

El rendimiento del sistema de planeación es más fácil de medir indirectamente, a través de los resultados de la ejecución del plan. El Porcentaje de Asignaciones Completadas (PPC) es el número de actividades planificadas que se completaron, dividido por el número total de las actividades previstas y se encuentra expresado

en porcentaje. Un mayor PPC corresponde a hacer mayor trabajo con los recursos dados, es decir, mayor productividad y progresos.

Según lo comenta Howell (2002) un buen desempeño se sitúa por encima del 80%; un desempeño pobre está por debajo del 60%. Equipos con experiencia en el sistema mantienen un desempeño por encima del 85%.

5. Las fallas de planeación no se analizan para identificar y actuar sobre las causas fundamentales.

Si el PPC es menor al 100% ¿Se sabe cuál es la razón por la cual el trabajo planeado no es realizado?

El PPC mide el grado en que se realizó lo planeado por el supervisor (el “se hará”). Un análisis de las diferencias nos puede ayudar a conducir a las causas del porqué no se cumplió lo planeado y éstas nos pueden ayudar a las mejoras futuras. Cabe señalar, que las causas pueden ser encontradas en cualquier nivel del sistema, proceso o función y son una gran oportunidad para las iniciativas innovadoras de mejora.

Planeación Intermedia

El proceso de planeación intermedia, abarca intervalos de 5 a 6 semanas y sus principales propósitos según Ballard y Howell (2003) son:

- **Realización de una adecuada secuencia de las actividades.**

Se refiere a tener una secuencia lógica en las actividades, que se encuentren ordenadas. También se refiere a que dos grupos diferentes de trabajo no se encuentren en la misma zona (se podrían estorbar), que los equipos de trabajo cuenten con el material que se necesita para realizar sus actividades, etc.

- **Balanceo de la carga de trabajo vs. la capacidad de trabajo.**

Carga de trabajo es la capacidad de trabajo esperado a realizar por una unidad de producción en cierto tiempo mientras que la capacidad de trabajo es la cantidad de trabajo que una unidad de producción logra realizar en cierto tiempo. Lo que se pretende lograr es que estas cargas se encuentren balanceadas para que la unidad de producción pueda realizar una cierta cantidad de trabajo que sea igual a su máximo rendimiento.

- **Mantener un inventario de tareas ejecutables listas para ser llevadas a cabo (ITE, Inventario de Trabajo Ejecutable).**

Es ideal que este inventario sea lo suficientemente amplio de asignaciones (actividades que no tienen restricciones) ya que si por algún motivo, una actividad no puede ser ejecutada, la unidad de producción podrá realizar estas asignaciones para evitar que se queden sin producir.

- **Desarrollo detallado de los métodos de ejecución de los trabajos en el intervalo de tiempo.**

Cuanto más detallada sea la forma en la que se ejecutarán las actividades programadas, será más fácil evidenciar posibles errores o inconvenientes que puedan surgir durante su ejecución.

Las actividades que se encuentran dentro de este proceso son exploradas a profundidad, lo que permite determinar sus restricciones. Las restricciones más comunes en el ámbito de la construcción son: el diseño, tiempo de entrega de materiales y su disponibilidad, la cantidad de mano de obra relacionada con la tarea a realizar, los equipos necesarios para la realización de las tareas, y los pre-requisitos que deben cumplirse para que la tarea se realice. Cuando las restricciones son eliminadas, las actividades se encontrarán listas para ser ejecutadas. (Tabla 1)

Actividades (Se deben hacer)	Diseño	Materiales	Mano de obra	Equipos	Pre-requisitos	Se pueden hacer
Act. 1	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Act. 2	SI	NO	NO	SI	SI	NO
Act. 3	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Act. 4	SI	SI	NO	SI	NO	NO

Tabla 1 Esquema representativo del estudio de restricciones

El análisis de las restricciones exige a los proveedores de bienes y servicios que controlen activamente su producción y entrega, y proporciona al coordinador la alerta temprana de los problemas; esperando contar así con el tiempo suficiente para que planifique lo que pueda surgir.

Al momento en que la actividad queda libre de restricciones, entran en la clasificación de Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE). Cuando una actividad no es completada o que llega a ser terminada antes de los tiempos programados, el ITE proporcionará otras actividades para evitar que las unidades de producción tengan tiempos ociosos o que se realicen actividades que no estén programadas.

Este control de actividades, así como la coordinación de diseño, proveedores, recursos humanos y requisitos previos, son elementos esenciales para que se dé el flujo de trabajo y así cumplir con el objetivo del proyecto.

Planeación Semanal

El proceso de planeación semanal, es derivado de la planeación intermedia. El objetivo principal de este proceso es el generar el control del flujo de trabajo y este flujo depende mucho de la calidad de las asignaciones que se hicieron por el último planificador.

La planeación semanal escoge las actividades de las que pueden ser hechas, es decir, que se encuentran en el ITE, evitando que se pierda el flujo de trabajo, así las unidades de trabajo siempre se encontraran ocupadas, eliminando tiempos muertos.

Los criterios que deben contener las asignaciones en este proceso para que puedan ser consideradas asignaciones de calidad, son los siguientes:

- **Información detallada.** Las actividades que se generaron en el nivel de planeación intermedia son subdivididas en actividades que pueden ser manejadas por el jefe de cuadrilla.
- **Solidez.** ¿Son las actividades factibles? ¿Se entiende cuáles son los requerimientos? ¿Se cuenta con lo que se necesita de otros procesos? Se cuenta con las estrategias de constructibilidad (características que hacen que un diseño pueda ser construido).
- **Mejor secuencia.** De acuerdo al plan maestro seleccionado, la selección de la secuencia para realizar las actividades es la más factible para el flujo de trabajo.

- **Tamaño.** La cantidad de trabajo asignada es la indicada de acuerdo a la capacidad de trabajo de los equipos que ejecutaran las actividades.
- **Aprendizaje (retroalimentación).** Se realiza un seguimiento a las tareas incompletas. Se busca la razón por la cual no se realizó y qué acciones se llevarán a cabo para solucionar el problema.

2.3.2 *Just in Time*

“Mi plan era recortar lo máximo posible las restricciones de tiempo en los procesos de trabajo y los envíos de piezas y materiales. Como principio básico en la realización de este plan, me apoyaría en una aproximación al just-in-time. La regla que se debe seguir es no enviar productos ni demasiado pronto ni demasiado tarde.”

- Kiichiro Toyoda, fundador de Toyota Motor Company, 1938.

Just-in-Time significa hacer sólo lo que se necesita, cuando es necesario, y en la cantidad necesaria. Por ejemplo, para construir un edificio es necesario crear un plan detallado, que incluya la adquisición de los materiales. El suministro de "lo que se necesita, cuando se necesita y en la cantidad necesaria", y de acuerdo a este plan de construcción se podrá eliminar y disminuir el desperdicio, las inconsistencias y los requisitos irrazonables, lo que resulta en una mayor productividad.

Lo que se pretende lograr es un flujo de trabajo donde la conexión entre los materiales sea equilibrada en el proceso de producción completo.

Fierre Béranger (1994) hizo mención de algunos conceptos como claves para la implementación del JIT (Luna Villarreal & González Tamez , 2007):

- *“Estabilizar y nivelar el MPS (Mass Production Sequence) con una carga de trabajo uniforme en la planta. Crear una carga uniforme en todos los centros de trabajo a través de la planeación de la producción de manera diaria y constante (Heijunka).*
- *Reducir los tiempos de procesos. Esto se puede hacer a través de una mejor planeación, del reajuste del proceso, y del reajuste del producto.*

- *Reducir los tamaños de los lotes (fabricación y compra). La reducción en los tiempos de procesos de materiales, permite la producción económica de lotes más pequeños. Así mismo, la colaboración estrecha con los proveedores es necesaria para alcanzar reducciones en los tamaños de lotes de compra, ésto se logra con entregas programadas y surtidas continuamente.*
- *Reducir los tiempos muertos (producción y entrega). Estos pueden ser reducidos moviendo las estaciones de trabajo, agrupandolas, aplicando tecnologías de grupo. Esto genera una reducción en la longitud de colas, una mejor coordinación y la cooperación entre los procesos sucesivos.*
- *Mantenimiento preventivo. Utilizar los tiempos muertos de las máquinas y de los trabajadores para revisar y dar mantenimiento al equipo, esto con el fin de prevenir interrupciones.*
- *Carga de trabajo flexible. Los trabajadores deben ser entrenados para realizar varios trabajos, para realizar tareas de mantenimiento, así como para realizar inspecciones de calidad.*
- *Requerir la garantía de calidad del proveedor e implementar un programa de calidad de cero defectos. Los errores que provocan artículos defectuosos deben ser eliminados, puesto que una de las tendencias del JIT, es disminuir el almacén y el costo que este tiene. Por consecuencia se eliminan los espacios intermediarios para el exceso de piezas.*
- *Fletes de lotes pequeños. Utilizar un sistema de control tal como el sistema Kanban para transportar piezas entre las estaciones de trabajo en cantidades pequeñas.”*

La filosofía del *Just in Time*, proveniente del sistema de producción de Toyota, se basa en que la producción debe de ser llevada desde el usuario final a los procesos anteriores, es decir, el flujo va en sentido contrario al flujo de producción tradicional, es decir, quien interviene en cierto proceso, tendrá que recoger en el proceso anterior “*lo que necesite, cuando lo necesite y las cantidades que necesite*” y este proceso sólo producirá para reemplazar las piezas que se tomaron. El tipo y la cantidad de unidades necesarias para ser reemplazadas, se solicitan a través de una tarjeta denominada *Kanban*.

2.3.3 Kanban

La aplicación del sistema de *Just in Time*, nos ayuda a eliminar los excesos de la sobre producción, para esto, se apoya de la herramienta llamada *Kanban*.

Se la nombra *Kanban* al sistema de información que controla las cantidades de productos o piezas que deben de ser producidas en cada proceso. También controla el flujo de los materiales y de los artículos que son necesarios en las etapas de producción.

La traducción de *kanban* (かんばん) al español es “letrero”.

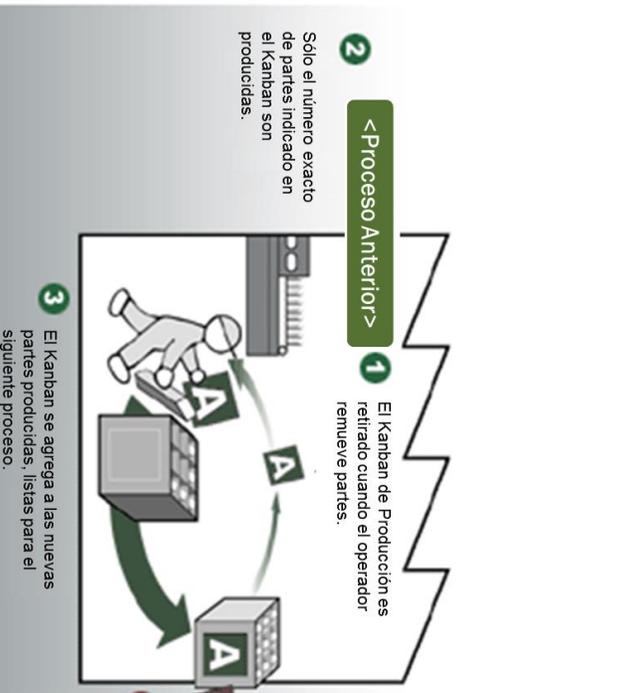
Un *kanban* es una ficha dentro de una mica de plástico. Se utilizan por lo regular dos tipos de *kanban*:

1. ***Kanban de Retirada***: Especifica tanto el tipo como la cantidad de productos (o partes) que un proceso subsecuente deberá retirar de algún proceso precedente.
2. ***Kanban de Producción***: Especifica tanto el tipo como la cantidad de productos (o partes) que un proceso precedente deberá producir.

La información que normalmente se encuentra en una tarjeta *kanban* es:

- Número de pieza (SKU)
- Tipo o tamaño del contenedor
- Capacidad del contenedor
- Ubicación del contenedor
- Destino de las piezas
- Horarios y lugares de entrega
- Dibujo de la pieza o foto
- Nombre o descripción del proceso

Flujo Operacional de una Instrucción de Producción con Kanban. **A**



Flujo Operacional de una Instrucción de Retirada con Kanban. **A**

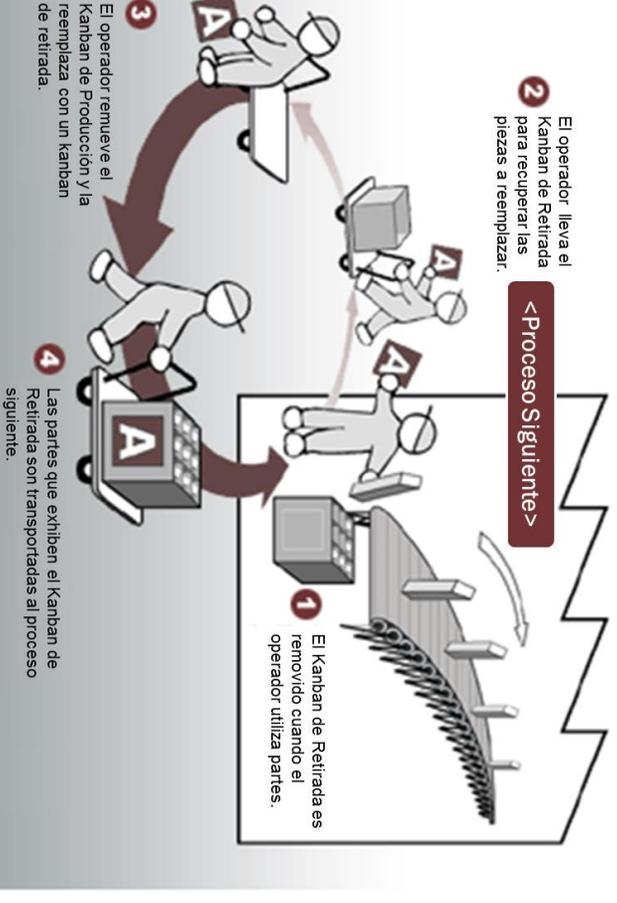


Figura 5 Diagrama conceptual del sistema *kanban* (Company, 2016)

Anaquele de Almacén No. F26-18	Código de La pieza No. A5-34	Proceso anterior
Pieza No. 56690-321		FORJA B-2
Nombre de La pieza PIÑÓN IMPULSOR		Proceso posterior
Tipo de automóvil. SX50BC		MECANIZACIÓN
Capacidad de la caja. 20	Tipo de la caja. B	

Figura 6 Ejemplo de *kanban* de retirada (Monden, 2012)

Anaquele de Almacén No. F26-18	Código de La pieza No. A5-34	Proceso
Pieza No. 56690-321		MAQUINADO SB-8
Nombre de la pieza. Muelle		
Cantidad A producir. 200		

Figura 7 Ejemplo de *kanban* de producción (Monden, 2012)

Reglas para el uso del *Kanban*

Para llevar a cabo el uso de las tarjetas *kanban* y cumplir con su objetivo se deberán seguir las siguientes reglas:

1. El proceso posterior debe retirar los artículos necesarios del proceso anterior en las cantidades necesarias, en el momento necesario.

2. El proceso anterior debe producir las cantidades de productos que fueron retiradas por el proceso siguiente.
3. Jamás transportar productos defectuosos al proceso siguiente.
4. El número de *kanban's* debe de ser mínimo y calculado.
5. El *Kanban* debe usarse para adaptar la producción a las pequeñas variaciones en la demanda.

La estrategia no puede ser aplicada hasta que algunos componentes estén disponibles, incluyendo:

- 1) **Supermercados:** Normalmente son almacenes y varía su tamaño dependiendo de la magnitud del proyecto. Requiere, además de otras cosas, un diseño detallado de su *layout* para determinar la mejor posición de sus estantes y el cómo los materiales deberán fluir para entrar y salir del supermercado. Esta estrategia considera al supermercado, básicamente, como un búfer de inventario para proteger la producción en sitio de la variabilidad del suministro y de las variaciones de la demanda.
- 2) **Vehículos de recogida y entrega:** Estos vehículos de recolección serán gestionados directamente por los dueños del proyecto y no por el proveedor. Estos vehículos visitarán los almacenes de los proveedores de forma regular para recoger materiales con el fin de reponer el inventario del supermercado.
- 3) **Tienda satélite:** En un proyecto de construcción, normalmente son los contenedores a los que se les llama "Tiendas satélite". Son ubicados estratégicamente en la construcción. El número de tiendas y su ubicación varía según el avance del proyecto y de su magnitud. El valor de inventario que contienen estas tiendas es de 2 días aproximadamente y se reabastece constantemente a través del "supermercado".
- 4) **Sistema de gestión de inventario:** Este sistema, permite al equipo del supermercado rastrear todas las reposiciones, generando transacciones e informes de facturación que se presentarán a los líderes de los equipos de producción y detallan cada retiro por miembro del equipo, el producto y el gasto total por equipo o cuadrilla.

Este sistema, se opone al enfoque tradicional que genera pedidos en grandes lotes en forma semanal o quincenal. Sin embargo, cambiar la mentalidad de pedidos en grandes lotes es uno de los retos más importantes a vencer cuando se quiere aplicar la metodología *kanban*.

2.3.4 Supermercados

Muchas veces cuando se quiere lograr un flujo en la producción, ésta se ve afectada por diversas razones (por ejemplo, conectar los procesos es complicado porque algunos de ellos requieren de mucho o poco tiempo de ciclo y se genera un cuello de botella). Lograr controlar la producción y generar un flujo continuo puede ser posible conectando estos procesos a través de un supermercado.

Un supermercado es un inventario controlado de piezas que serán utilizadas en la producción en procesos siguientes.



Figura 8 Supermercado en la construcción

Algunos de los suministros que encontraremos en un supermercado que se encuentra en una zona de construcción son: material para electricidad, palas, picos, cascos, chalecos, cemento, arena, herramienta varia, cortadoras, soldadoras, piedra, cal, cajones, etc.

Por un supermercado pasaran los dos tipos de *kanban's* mencionados anteriormente (de retirada y de producción), ya que un *kanban* de producción será el que de la señal al proveedor de mandar piezas a éste (disparador de producción), y el *kanban* de retirada llegará al supermercado para retirar tantas piezas como *kanban's* se dejen en el mismo (como una lista de compras).

El utilizar esta herramienta del sistema *pull* nos ayuda a dar instrucciones precisas para la producción de piezas para el supermercado, sin la necesidad de predecir la demanda.

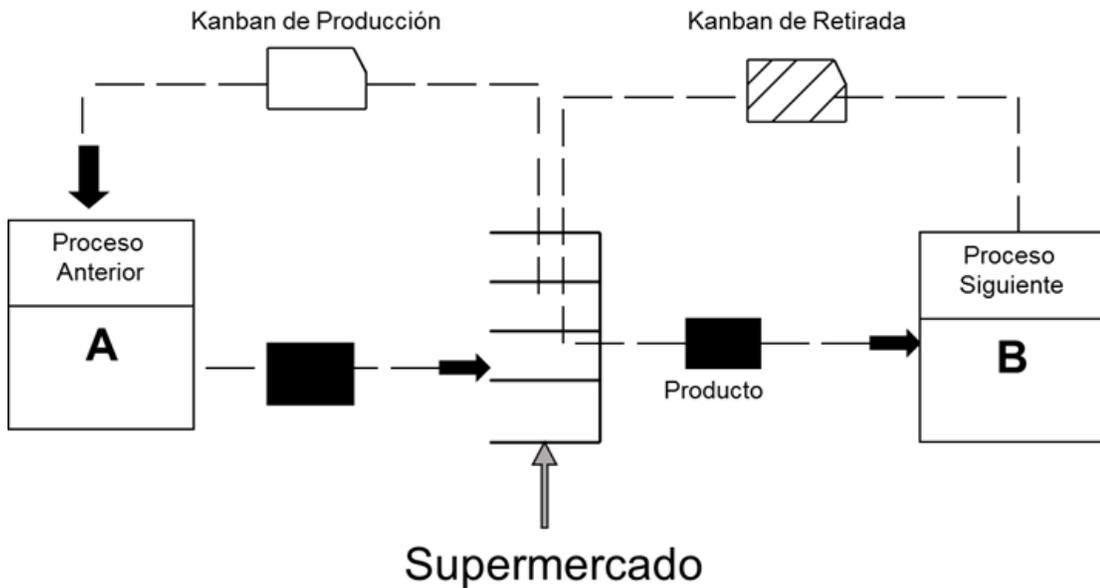


Figura 9 Supermercado dentro del sistema *pull* (Shook, 1999)

2.3.5 Jidhoka

Jidhoka, también conocido como *automation with a human mind*, que refiere al agregar juicio humano a la maquinaria automatizada, es un control automático de defectos y una parte muy importante en la metodología *lean* que puede ayudar a mantener una alta calidad en los procesos.

Este sistema de detección de defectos hace sonar una alerta y detiene automáticamente (o manualmente) la operación y/o equipos operando cuando se detecta una condición anormal o defecto, dirigiendo la atención al equipo parado para que el trabajador realice las acciones necesarias para que pronto se pueda seguir operando, además de que se realiza una investigación para saber cuáles fueron las causas del problema y evitar que vuelva a pasar (realizar una acción correctiva para prevenir el mismo error).

Las máquinas que tienen la capacidad para auto detenerse, aligeran la carga de las personas de supervisar la máquina, permitiendo así, que los supervisores y trabajadores puedan estar operando más de una máquina a la vez. Estas máquinas no sólo se detienen cuando ocurre un defecto, también tienen la capacidad de detenerse cuando la operación está finalizada o la cantidad de piezas indicada ha sido producida.

Esta herramienta da el derecho y responsabilidad a cualquier trabajador de detener la línea en la que se está trabajando cuando se detecta un error.

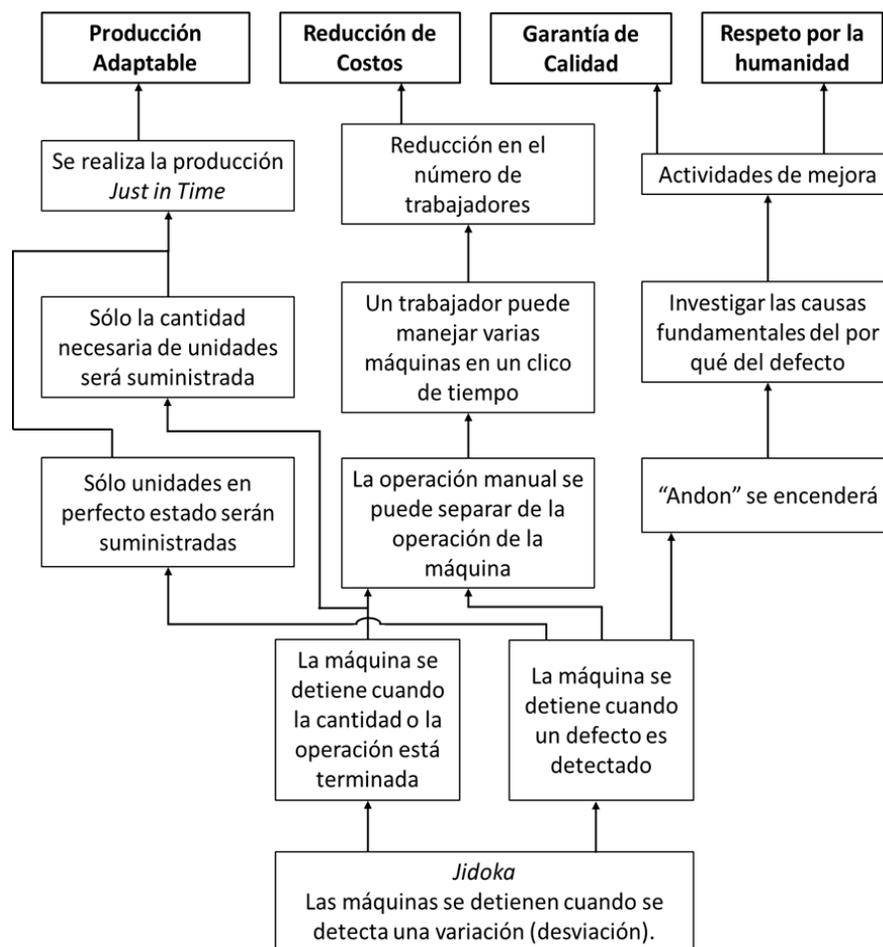


Figura 10 Cómo *jidhoka* alcanza su propósito (Monden, 2012)

2.3.6 Heijunka

Mura que se traduce como variabilidad, se refiere a la inconsistencia en los resultados de las operaciones, debido a una producción irregular o de volúmenes de producción inestables debido a problemas internos, falta de materiales o defectos.

Heijunka es la herramienta que nos ayuda a estabilizar la producción en dos niveles: volumen y mezcla de productos. Esta herramienta, no fabrica los productos según los pedidos del cliente ya que éstos pueden ser un día muy altos y otros días no contar con pedidos para producir. Se le llama nivelar la producción cuando se logra amortiguar el volumen de mezcla para que la variación de la producción entre un día y el otro sea mínima. Básicamente consiste en planificar la producción en un periodo de referencia elegido, por ejemplo semanal, de modo que cada día se produzcan un número similar de unidades de cada producto.

La variabilidad en el flujo influye mucho en las prácticas de *Lean Construction*® ya que la finalización tardía de una tarea puede afectar el tiempo total de entrega del proyecto.

En la construcción se asume que existe una variabilidad “natural” incluso cuando los métodos, tecnología y las condiciones sean fijas, además, existe la dificultad de estimar con precisión cuando hay cambios en estas variables, o cuando hay cambios en el tipo de trabajo, o si hay cambios en el equipo de trabajo. Desde el hecho de que no se hacen productos idénticos en la construcción en condiciones controladas, la variabilidad en la capacidad es un hecho en la construcción. En las técnicas actuales para la administración de la producción, se ignora este hecho.

Además de que la capacidad es variable, el segundo hecho clave es que la capacidad se puede aumentar mediante la reducción de tiempo de trabajo no productivo, es decir, el tiempo de trabajo no productivo disminuye al aumentar el PPC.

En la construcción, cuando la demanda se vuelve variable, la adaptación resulta considerablemente difícil, pero siempre se pueden tomar medidas. En las obras, se puede aumentar el número de actividades que pueda realizar un trabajador (sin ser

especialista) y disminuir los trabajadores eventuales. Toyota tiene la mentalidad de evitar la rotación de personal, así logran que sus trabajadores sean fieles ya que saben que la empresa a pesar de estar en situaciones difíciles y de poco trabajo, no los despedirán. Algunas actividades que pueden realizar durante periodos de baja actividad son:

- Disminución de horas extras.
- Eventos *Kaizen*.
- Reparación y mantenimiento de maquinaria.
- Mejora de herramientas e instrumentos.
- Prácticas en mejoras de preparación (cambios rápidos).

2.3.7 Shojinka

Se denomina *shojinka* cuando el número de trabajadores puede ser adaptado a los cambios en la demanda, es decir, aumentar o disminuir el número de trabajadores cuando la demanda en la producción ha sido cambiada (mayor o menor demanda).

Para que esta metodología pueda ser llevada a cabo es importante tomar en cuenta 3 factores como prerequisites (Monden, 2012):

1. Diseño adecuado de distribución de maquinaria (estaciones de trabajo): Cuando se cuenta con una distribución adecuada, el rango de trabajo u operaciones del que un trabajador es responsable se vuelve fácilmente más amplio (o menor, sea el caso).
2. Trabajadores versátiles y bien entrenados (*multi skill workers*): Trabajadores que saben operar varias máquinas y procesos. Constantemente están rotando en éstos, además cuentan con entrenamientos y asesorías para ampliar sus conocimientos.
3. Evaluaciones continuas y revisiones periódicas de las rutinas de operación estándar: Se dá a través de la mejora continua en manuales de trabajo y de maquinaria con el propósito de reducir el número de trabajadores incluso en periodos donde la demanda incrementa.

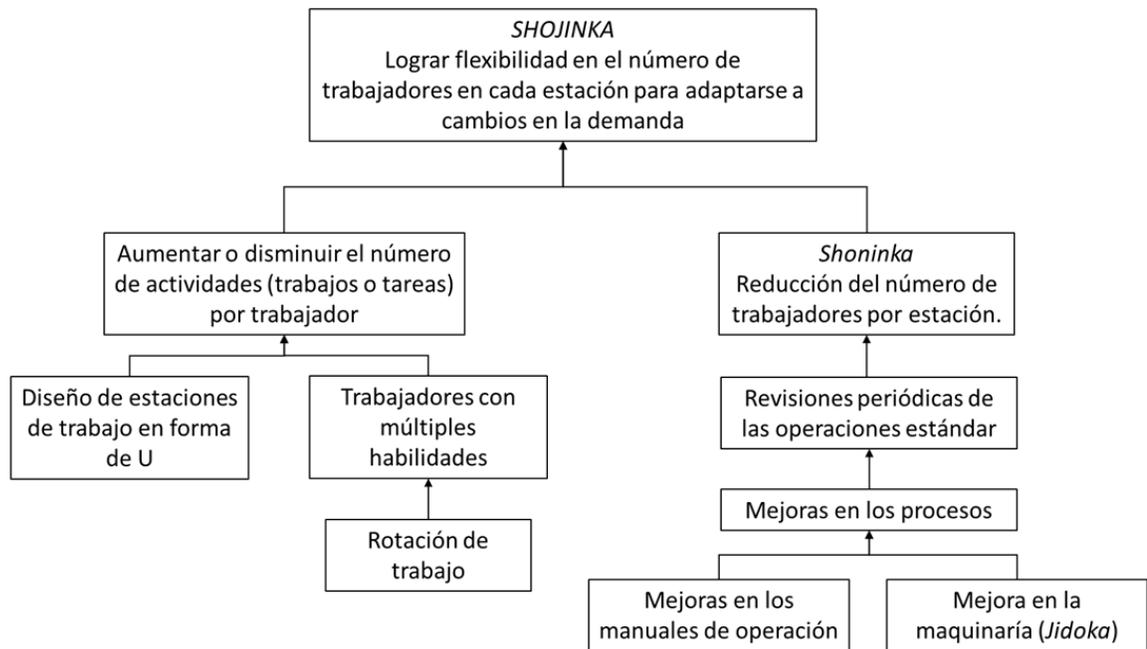


Figura 11 Factores para llevar a cabo *shojinka* (Monden, 2012)

2.3.8 Celdas de Manufactura

Las celdas de manufactura o también conocidas como células de trabajo, es una estrategia derivada del concepto de tecnología de grupos que busca cumplir con el objetivo de contar con la flexibilidad de producir la demanda tanto en cantidad como en variedad de productos. Esto se logra creando familias de componentes que incluyen máquinas, materiales, métodos y personas.

Las celdas de manufactura se han utilizado y se siguen utilizando debido a las mejoras en productividad que éstas generan para la organización, sobre todo para aquellas organizaciones que tienen productos variados con bajos volúmenes de producción.

En una celda de manufactura, la parte es procesada con un flujo continuo en orden secuencial *piece by piece* que permite a uno o pocos trabajadores con multihabilidades estar al cargo de esa zona de trabajo. Las celdas están formadas, como ya se había mencionado, por personas, máquinas, materiales y métodos, que juntos forman una pequeña familia con atributos parecidos y ayudan a transformar

estas partes en un producto, que después será procesado en otra celda hasta llegar al producto final, creando así un sistema de celdas de manufactura. Estas celdas normalmente se encuentran ubicados dentro de una huella física definida y contigua.

Al utilizar las celdas de manufactura se pueden obtener grandes beneficios, tales como: reducción en el tiempo de ciclo, disminución del inventario en proceso, las distancias para el manejo de materiales se acortan, reducción de tamaños de lote, reducción en el área de trabajo, entre otros.

Para alcanzar estos beneficios es muy importante contar con una planificación adecuada del diseño de un Sistema de Células de Manufactura. En general el diseño requiere de 3 pasos (Javadi, 2013) :

1. Formación de células, es decir agrupar las partes en familias (personas, máquinas, materiales y métodos). Identificar las células y las familias, su tamaño y número, cuáles son los cuellos de botella.
2. Diseño de células, es decir asignar a cada familia su trabajo. Determinar el mejor acomodo para las máquinas o estaciones de trabajo dentro de cada célula. Ésta configuración puede ser de diferentes formas: en una sola fila (line de flujo), múltiples filas (taller de trabajo) o tipo U.
3. Diseño del sistema de células. Determinar el mejor acomodo para todas las células que componen el sistema, siguiendo con la filosofía del flujo de trabajo.

Algunos de los principales retos para la implementación son la resistencia al cambio, reubicación de la maquinaria, capacitación para los empleados (trabajadores con múltiples habilidades), mantenimiento constante de maquinaria, etc.

2.3.9 SMED

Single-Minute Exchange of Die

También conocido como QDC (*Quick Die Change* – Cambios rápidos), nace de la importancia de reducir el tiempo de *set-up* (cambio), es decir del tiempo para efectuar los cambios necesarios para que una determinada estación de trabajo pueda pasar de producir un determinado tipo de pieza a producir otro, en otras palabras, es un

método de mejora de la productividad en el que el tiempo es mejor aprovechado al utilizar menos tiempo al cambio y más al procesamiento efectivo.

En el año de 1950, Shigeo Shingo dirigió un estudio de mejora de eficiencia en una fábrica de Mazda, en Hiroshima (P.N., 2009), en este estudio observó cómo se encontraba la eficiencia en 3 prensas de moldeo de carrocería de los automóviles que ahí fabricaban, después de observar por un tiempo las operaciones que se realizaban para preparar las máquinas, se dió cuenta que estas operaciones se categorizaban en dos:

- **Preparación interna:** operaciones que sólo se pueden realizar cuando la máquina está parada.
- **Preparación externa:** operaciones que se pueden realizar mientras la máquina está en operación.

Los tiempos de cambio de *set up* reducidos son clave para disminuir el tamaño de los lotes de fabricación y así mejorar el flujo, uno de los principios *Lean*. La expresión "*single minute*" (minutos expresados con una cifra) hace referencia a que el objetivo es que los cambios de *set up* se realicen en menos de diez minutos. Se basa fundamentalmente en la realización de tantas actividades de cambio de *set up* como sea posible cuando la estación está funcionando (preparaciones externas) y en la optimización de las mismas a través de la eliminación de tareas que no agregan valor como parte de un proceso de mejora continua.

Algunas compañías emplean dos o más horas o, en el peor de los casos, un día entero en realizar las acciones de preparación, *set up's*.

Para acortar los tiempos de preparación se utilizan cuatro conceptos principales, según Shigeo (2012):

1. Distinguir las preparaciones cuando la máquina se encuentra parada (internas) de las preparaciones cuando la máquina se encuentra en marcha (externa).
2. Convertir la mayor cantidad de preparaciones posibles de máquina parada a preparaciones con máquina en marcha (de interna a externa)

3. Eliminar los procesos de ajustes (*poka yoke's* para eliminarlos)
4. Eliminar la misma fase de preparación.

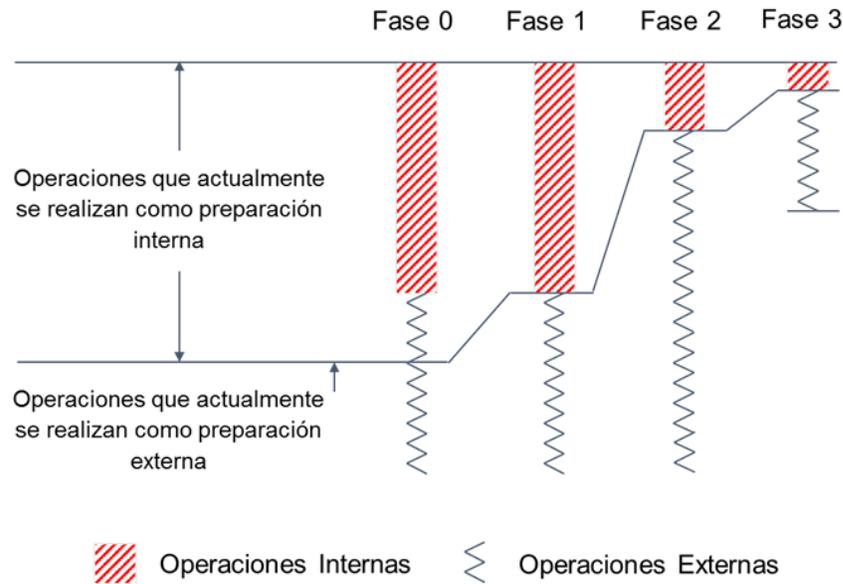


Figura 12 Fases conceptuales para mejora de preparaciones (Shingo S. , 2012)

2.3.10 Poka Yoke

Poka Yoke es un sistema para evitar errores. Este término se traduce al español como “a prueba de errores”. Se basa en la filosofía de que la gente no de manera intencional, comete errores o realiza el trabajo de forma incorrecta, pero por diversas razones los errores pueden ocurrir y ocurren.

Existe una variación entre lo que nos dice Toyota acerca de los errores y entre lo que piensan la mayoría de las empresas. La mayoría de las empresas opinan que todos somos seres humanos y por eso cometemos errores, mientras que el libro *Toyota Way* (Liker, 2004), menciona que los errores existen porque el sistema y los métodos que se utilizan, los permiten.

La diferencia es que en Toyota es común ver que un gerente pida disculpas al trabajador cuando éste comete un error, ya que es responsabilidad del gerente contar con sistemas más eficaces a prueba de errores. Cuando los trabajadores se liberan

de la culpa, son libres para centrarse en la creación de sistemas más eficaces y en pensar en la solución de problemas, en lugar de defenderse.

La clave para la prevención de errores radica en la comprensión del cómo o del por qué se produjo el error.

- Entender las circunstancias que llevaron al error
- Identificar si el error es aleatorio o repetitivo
- ¿Ocurre el error con todo el personal (o en todas las áreas) o es con una persona en específico?

Las soluciones que se pueden dar en caso de que el error ocurra en todo el personal o si es sólo en una persona en específico puede ser diferente, por eso, antes de llegar a una conclusión y de la aplicación de la herramienta del *Poka Yoke* se tiene que estar bien informado acerca del error.

Niveles de Control Visual y *Poka Yoke*

Son 6 los niveles de control visual y *poka yoke*. Los primeros 3 niveles se dan siempre, aun cuando el problema no existe (control visual):

1. Documental: Instrucciones en los manuales.
2. Gemba: Las instrucciones en dónde se necesitan.
3. Atrae a los sentidos: Una luz o alarma nos obliga a ver las instrucciones en el lugar donde se necesitan.

Los tres últimas, sólo se activan cuando los problemas se presentan. Éstos tres últimas se conocen como *poka yokes*:

4. Avisa acerca de anomalías: Suena una alarma.
5. Detecta anomalías: No permite continuar hasta que se repare la anomalía.
6. Previene anomalías.

Es importante mencionar que un dispositivo *poka yoke* no es la solución para llegar a cero defectos, sin embargo, siempre ayuda. Cada día nos enfrentamos a la posibilidad de cometer errores, de olvidarnos de detalles que puedan ocasionar un accidente, no obstante, con la ayuda de éstos dispositivos se logra detectar y erradicar los errores antes de que se conviertan en defectos.

Luces de Aviso y Andón

Las lámparas para controlar los estados de la línea y el piso de producción son llamadas luces de aviso.

Cada estación o línea de máquinas utiliza una luz con la finalidad de desplegar información. Si se requiere de un supervisor, mantenimiento, llamar a un trabajador, etc. se utilizan las luces de aviso. Usualmente éstos cuentan con diferentes colores de luces y cada color simboliza una persona, por ejemplo; rojo para llamar al supervisor, amarillo para llamar a un operador, azul para llamar a la persona encargada de mantenimiento, etc. La mayoría de las veces estos monitores son colocados a una elevación considerable para que cualquier persona lo pueda ver desde cualquier punto de la zona de trabajo.

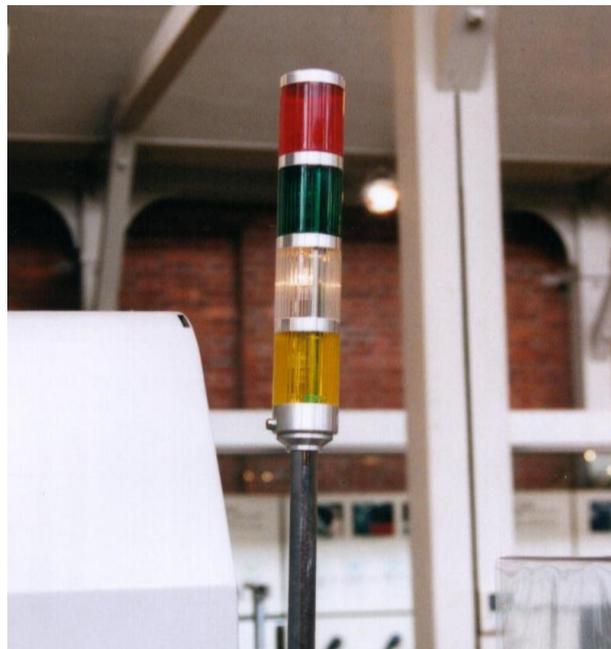


Figura 13 Luz de aviso (Masini, 2006)

Por otro lado, el andón es el nombre que se le da a un tablero indicador que muestra cuando un trabajador ha parado la línea de producción. En el caso de Toyota, cada trabajador tiene el “poder” de parar la línea cuando ocurre alguna avería o retraso en las estaciones de trabajo. Cuando esto suceda, una luz roja encenderá en el andón para mostrar qué parte de la línea es la responsable del paro y poder atender el error. Muchas veces, el andón tiene diferentes colores para indicar la condición en la que se encuentra la línea, por ejemplo, verde para indicar que su estado es normal, amarillo para indicar que el operador necesita ayuda, etc.

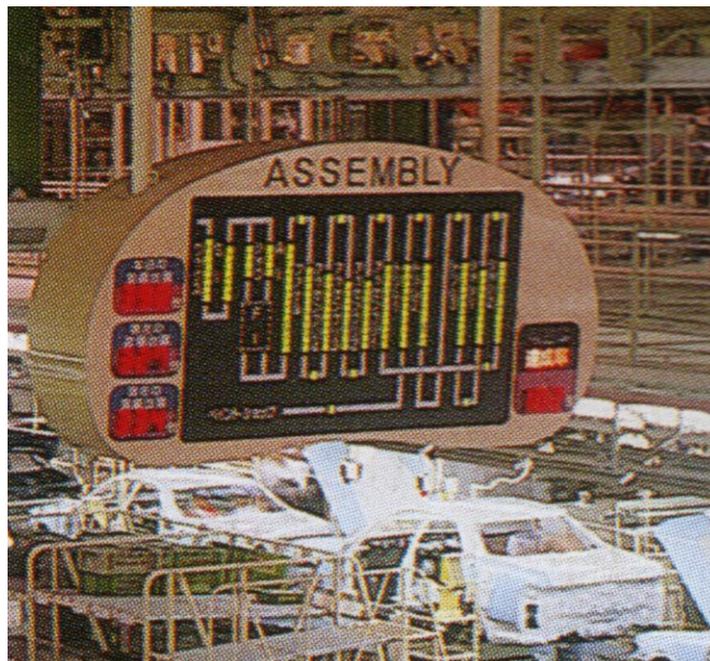


Figura 14 Andón en línea de producción (Masini, 2006)

2.3.11 Trabajo Estándar

Trabajo estándar es un método para producir eficazmente sin desperdicios, el cual fue concebido tomando en consideración los movimientos de las personas. La idea es que no puede haber mejoras donde no exista el trabajo estándar.

El trabajo estándar está enfocado a utilizar el número mínimo de trabajadores para cumplir con la producción solicitada. Se enfoca en los movimientos de las personas y no de las máquinas.

Los objetivos que se quieren lograr a través de esta metodología son (Monden, 2012):

1. Lograr una alta productividad a través de un trabajo arduo, lo que no significa forzar a los trabajadores, sino que su trabajo se haga sólo con los movimientos necesarios.
2. Lograr el balanceo de líneas entre todos los procesos en términos de toma de tiempos, es decir, el *takt time*, debe ser regido por el trabajo estándar.
3. Sólo la mínima cantidad de trabajo en proceso calificará como estándar (*Standard quantity of work in process*), o el número mínimo de unidades necesarias para que el trabajo estándar pueda ser llevado a cabo por los operarios, lo que nos ayuda a eliminar inventario en proceso.

El trabajo estándar está compuesto por tres elementos que se presentan a continuación, y ninguno de ellos puede ser ignorado:

1. *Takt Time*: Se refiere al lapso en el cual una unidad deberá de ser producida.

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ diario\ efectivo\ de\ operación}{Cantidad\ de\ producto\ diario\ requerido}$$

2. Rutina de operaciones estándar: Se refiere al orden de las acciones que cada trabajador deberá realizar dentro de un tiempo de ciclo dado.
3. Cantidad estándar de trabajo en proceso: Se refiere a la cantidad mínima de inventario que puede retenerse en cada proceso, de modo que el operario pueda trabajar a un mismo ritmo conforme a la secuencia de trabajo.

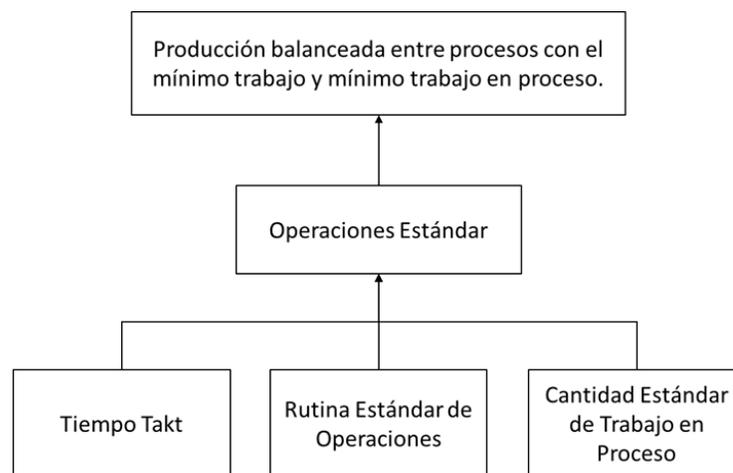


Figura 15 Elementos de las operaciones estándar (Monden, 2012)

Las operaciones estándar son determinadas de la siguiente manera:

1. Determinar el tiempo de ciclo,
2. Determinar el tiempo *takt*,
3. Determinar la rutina de operaciones estándar,
4. Determinar la cantidad estándar de trabajo en proceso, y
5. Preparar la hoja de secuencia de trabajo estándar.

El tiempo de ciclo se refiere al lapso de tiempo más corto para realizar un ciclo de la operación bajo condiciones normales. Las operaciones como tiempos de *set up*, mediciones, preparaciones, etc. no serán incluido en el tiempo de ciclo.

Una hoja de secuencia de trabajo estándar se utiliza para indicar el rango de operación de cada trabajador en un gráfico, utilizando símbolos para confirmación de calidad, precauciones de seguridad, etc., así como los 3 elementos del trabajo estándar: tiempo *takt*, secuencia de trabajo y cantidad estándar de trabajo en proceso.

La hoja de secuencia de trabajo estándar contiene todos los elementos que anteriormente se obtuvieron y son los elementos necesarios para la estandarización de operaciones, y son (Monden, 2012):

1. Tiempo *takt*,
2. Rutina de operaciones estándar,
3. Cantidad estándar de trabajo en proceso,
4. Tiempo neto de operación $T = N(C + m)$

Donde,

T = Tiempo neto de operación

N = Capacidad de producción en términos de unidades de producción

C = Tiempo de Ciclo

m = Tiempos de *set up* por unidad

5. Puntos de inspección de calidad, y
6. Puntos de revisión de seguridad del operario.

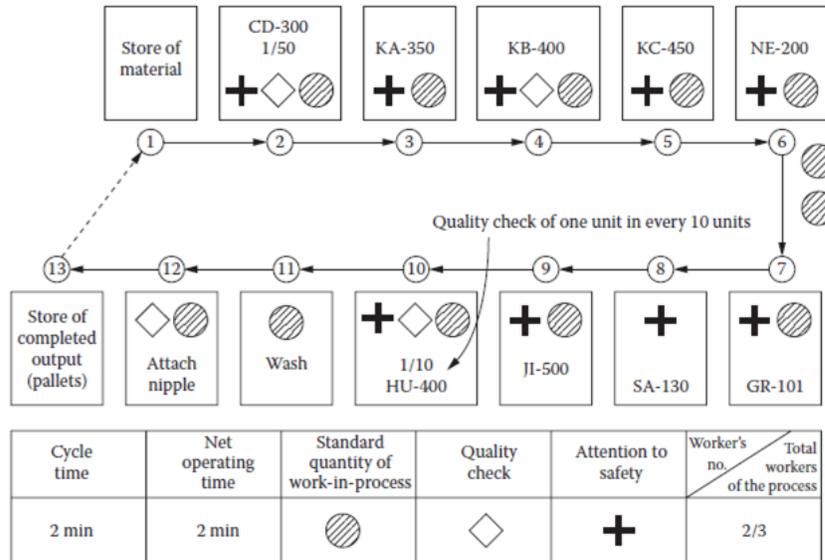


Figura 16 Ejemplo de hoja de secuencia de trabajo estándar (Monden, 2012)

Una vez que las operaciones estándar fueron establecidas por el supervisor, él deberá de ser capaz de realizar esas operaciones perfectamente y luego deberá instruir a los trabajadores para hacerlas, así como también deberá de explicarles el por qué es importante que estas operaciones se mantengan estandarizadas (objetivos).

El supervisor deberá estar constantemente supervisando a sus trabajadores para monitorear si las operaciones se están realizando de la manera adecuada y si no lo es, deberá inmediatamente instruir a los trabajadores con los adecuados procedimientos.

Es importante comentar que las operaciones estándar se tienen que estar revisando constantemente, ya que siempre se pueden encontrar imperfecciones y ajustar las mejoras correspondientes en todos los procesos (mejora continua, *kaizen*).

2.3.12 Trabajadores con Habilidades Múltiples

Cuando Toyota se propuso cumplir con sus metas de producción, realizó algunos rediseños en sus lugares de trabajo, esto para permitir que varios procesos los pudiera hacer un sólo trabajador, un trabajador con habilidades múltiples. Los acomodos de las estaciones de trabajo se diseñaron nuevamente para que cada trabajador pudiera operar varias máquinas al mismo tiempo.

En una línea donde se cuenta con un trabajador con habilidades múltiples, no se permite continuar con el siguiente proceso hasta no terminar el actual, lo que da como resultado que la línea se mantenga siempre equilibrada.

Al trabajar en una línea equilibrada, el número de trabajadores necesarios para la producción disminuye y de este modo aumenta la productividad al mismo tiempo que el trabajador obtiene conocimientos necesarios para participar en varias operaciones en la línea de producción.

2.3.13 Mapa de la Cadena de Valor

“Whenever there is a product for a customer, there is a value stream. The challenge lies in seeing it”. Mike Rother & John Shook (Shook, 1999)

Desde hace ya muchos años, la industria de la construcción ha sufrido por no entregar los proyectos a tiempo, dentro de los márgenes del presupuesto y con la calidad demandada por el cliente. La clave para la mejora en el sitio de la construcción se encuentra en la administración del flujo de materiales, recursos e información. Para esto, el equipo de administración de obra debe de ser entrenado para diferenciar entre las actividades que agregan valor y las que no, por tanto, el detectar y eliminar las actividades que no agregan valor en el proceso de construcción, es sumamente importante.

El mapa de la cadena de valor (VSM - *Value Stream Map*) muestra el flujo de información y de los materiales necesarios para producir las salidas. Este mapa ayuda a entender el proceso, a identificar fuentes de desperdicio y a distinguir entre las actividades que agregan y no agregan valor.

Básicamente, para crear un mapa de la cadena de valor requiere de 4 etapas según lo explica Pasqualini (2005):

1. Seleccionar una familia de productos. Una familia de productos consiste en productos que pasan por procesos similares, o que utilizan equipos similares. Por ejemplo: Mampostería, hidráulico, etc.

2. Crear el mapa del estado actual. Consiste en realizar un dibujo de cómo el proceso se hace actualmente. La información que se requiere es la relacionada con el flujo de los materiales y de la información (tiempo *takt*, tiempo de ciclo, tiempos de entrega, etc.)
3. Análisis del mapa de estado actual. Este análisis es el que en realidad permite identificar los desperdicios. Son los expertos en estos temas quienes se encargan de, a través de su análisis proponer mejoras en la cadena actual.
4. Crear el mapa del estado futuro. Este mapa es el dibujo del estado “ideal” donde se maximiza el tiempo que se agrega valor y se minimizan los desperdicios, es decir, se eliminan las causas raíces de los desperdicios y se conectan los procesos para crear flujo en el sistema.

Las mejoras propuestas tienen como objetivo, mostrar cómo los desperdicios pueden ser atacados y reducidos, o en la medida de lo posible, eliminados. La aplicación de las mejoras propuestas no se pueden llevar a cabo de manera integral en una sola etapa, pero es importante empezar por los puntos más problemáticos hasta llegar al estado “ideal” planeado en el mapa de estado futuro.

2.3.14 *Kaizen*

Se define *kaizen* (改善) al mejoramiento continuo. La palabra implica un mejoramiento constante que involucra a todas las personas, desde gerentes hasta trabajadores de piso. A pesar de que los resultados que se obtienen a través de la aplicación de esta filosofía son pequeños, en un largo plazo estos resultados se vuelven incrementales.

<p>改</p> <p>KAI</p> <p>Reducir, apartar Modificar Cambiar</p>	<p>善</p> <p>ZEN</p> <p>Juzgar Hacer bien Hacer mejor</p>	<p>改善</p> <p>KAIZEN</p> <p>Cambiar para la mejora Mejora Mejora continua</p>
--	---	---

Figura 17 *Kaizen*

La metodología *kaizen* se basa en mejoras de sentido común y de bajo costo y riesgo, llegando a un progreso incremental que se verá compensado en el futuro, mejorando tiempos, evitando errores, mejores costos, etc.

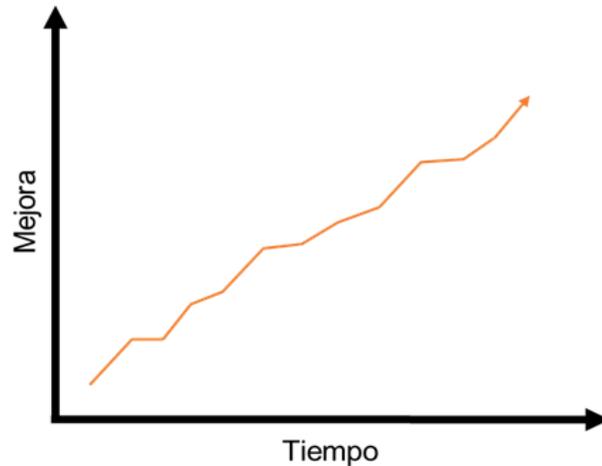


Figura 18 Mejora a través del tiempo

Los eventos *kaizen*, son actividades donde un equipo de trabajo multidisciplinario (diferentes especialidades, diferentes niveles jerárquicos, diversas actitudes, creativos, objetivos, etc.) se organiza dentro de la empresa para llevar a cabo tareas específicas, aplicando las herramientas necesarias, para resolver problemas de calidad, costos, seguridad, productividad, etc. de manera enfocada en un tiempo determinado, tratando de reducir las mudas o desperdicios al máximo. La duración de un evento *kaizen*, varía desde uno hasta cinco días.

Siguiendo los pasos adecuados y aplicar estos a los procesos de forma apropiada, cualquier empresa será capaz de obtener los beneficios de la metodología.

Algunos de los beneficios que se pueden llegar a obtener de un evento *kaizen* son:

1. Reducciones en costo de producción.
2. Mejoras en tiempos de preparación de maquinaria.
3. Mejoras de calidad y tiempos de entrega.
4. Mejoras en las condiciones de trabajo (limpieza y seguridad).

Ciclo de la Mejora Continua

El ciclo de la mejora continua, también conocido como PDCA (*Plan, Do, Check, Act*, - Planear, Hacer, Verificar, Actuar), es una metodología que en su mayoría se utiliza para la realización de eventos *kaizen* y se apoya constantemente en la ruta de la calidad para que su ejecución sea llevada con éxito y de manera sistemática.

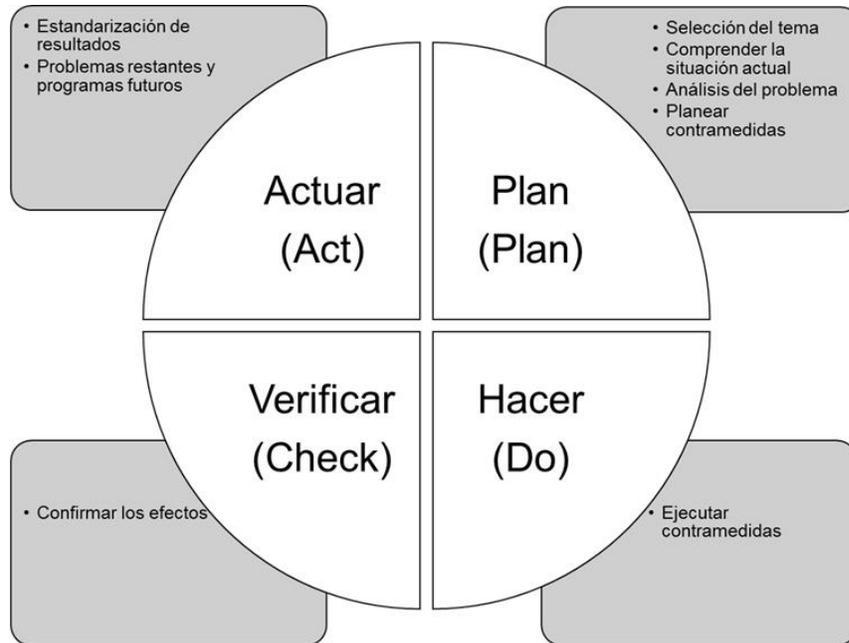


Figura 19 *Plan Do Check Act* (Adecuación de El Ciclo de Deming)

Planear se refiere al establecimiento del objetivo que se quiere mejorar y a la ideación de planes de acción para cumplir el objetivo. *Hacer* se refiere a llevar a cabo la implementación del plan. *Verificar* se refiere a la determinación de si la implementación sigue dando lugar a la mejora planeada. *Actuar* se refiere a la estandarización de los nuevos procedimientos para prevenir la recurrencia del problema original o de establecer nuevas metas para las siguientes mejoras.

Después de que se empieza a trabajar con esta metodología, cualquier proceso actual debe ser estabilizado en un proceso a menudo referido como el SDCA (*Standardize, Do, Check, Act* – Estandarizar, Hacer, Verificar, Actuar), así, la mejora siempre será continua.

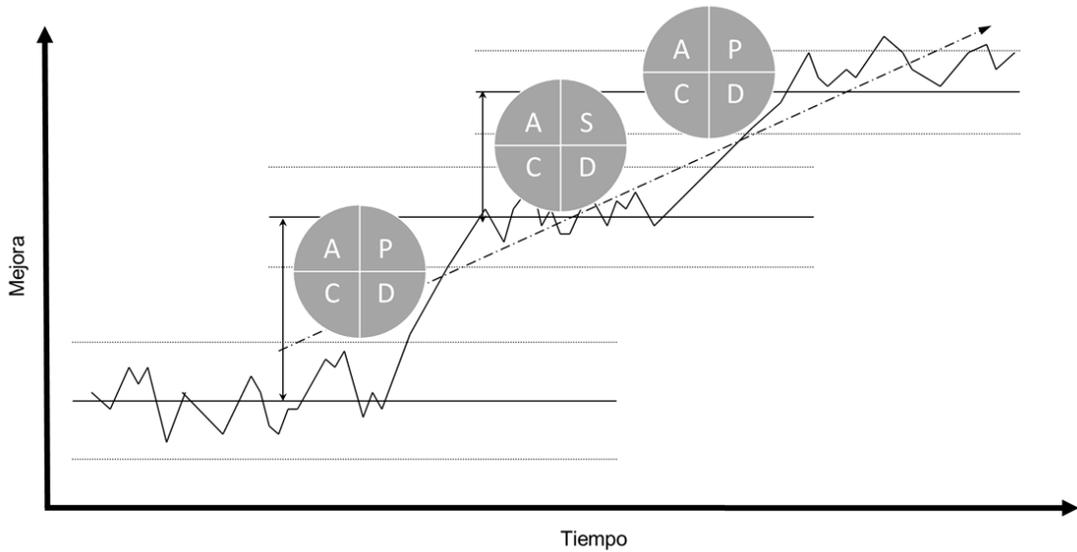


Figura 20 PDCA → SDCA (Masini, 2015b)

Como ya se comentó anteriormente, lograr que los procesos se estandaricen y se conecten es un paso fundamental para alcanzar la mejora y que el flujo de los procesos se dé como lo plantea la metodología de *Just in Time*, uno de los pilares de la filosofía *Lean*.

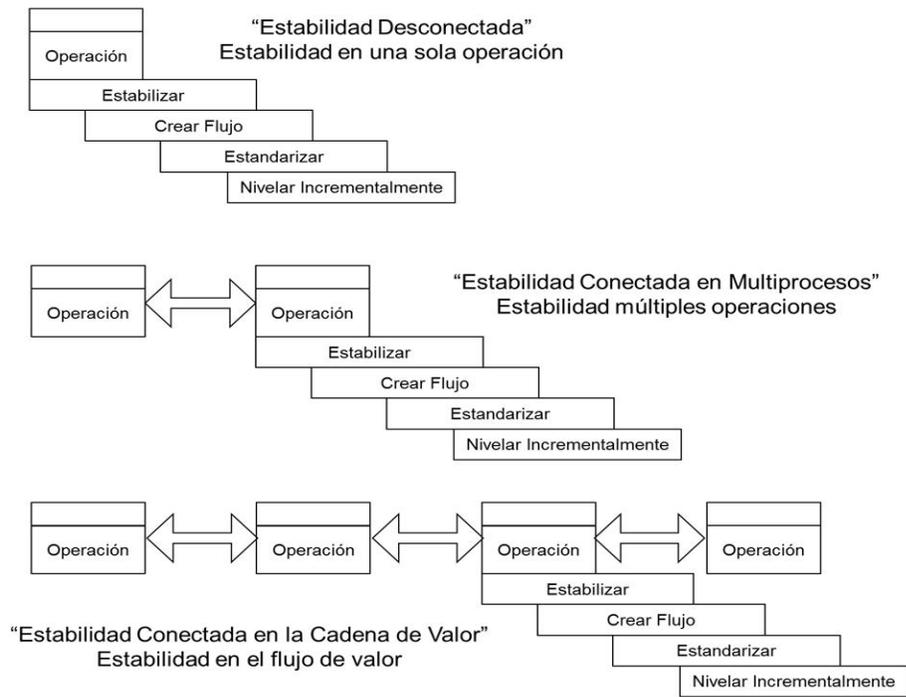


Figura 21 Estabilidad conectada en la cadena de valor (Liker, 2006)

Uno de los errores más críticos y común en la práctica es que el tiempo que se dedica a la planeación, de cualquier proyecto o actividad a realizar es muy poco; se le da poco interés, dejando un campo muy amplio para los errores, es decir, cuando la actividad se realiza. Sin una buena planeación, tardaremos más tiempo en darnos cuenta qué fue lo que falló y todavía más tiempo en el rehacer y arreglar los defectos que surgieron. Sin embargo, cuando se cuenta con una buena planeación y se dedica más tiempo a la misma, los errores serán menores, evitando así, el reajuste por acciones que no fueron las adecuadas y causaron, además de retrasos en el tiempo, una pérdida de dinero.

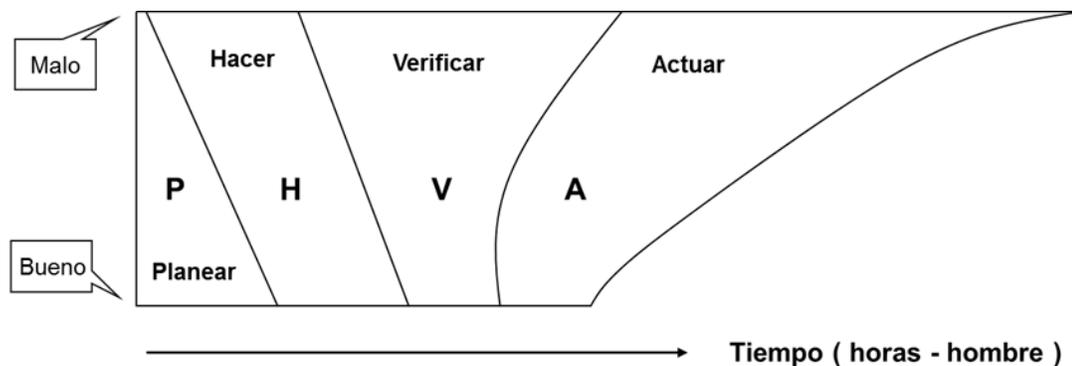


Figura 22 PDCA en el tiempo (Ruiz, 2015)

2.4 *Lean Construction*®

2.4.1 Propósito de *Lean Construction*®

Día a día la industria de la construcción se ve envuelta en un mercado global donde la exigencia por mejorar tiempos, calidad y costos se encuentra en aumento. *Lean Construction*® es una metodología que proporciona herramientas que nos ayudan a optimizar estos parámetros, logrando cumplir con las expectativas del cliente.

Para que en las empresas pueda ser aplicada la estrategia *Lean* es importante que el entorno en el cual se quiera implementar se encuentre preparado culturalmente para este cambio.

La implementación de la metodología *Lean* puede ser llevada a cabo en cualquier empresa sin importar su antigüedad, tamaño o posicionamiento en el mercado. Actualmente en México, la mayoría de las empresas que se dedican a la construcción son pequeñas y medianas empresas (PYME's) y según un estudio realizado en 2007, en la mayoría de estas empresas ya se aplica de cierta forma la metodología *Lean*, logrando mejoras considerables en los factores anteriormente mencionados (Luna Villarreal & González Tamez , 2007).

2.4.2 *Lean Construction*® como un Sistema

2.4.2.1 ¿Qué es un Sistema?

La palabra sistema, según el diccionario de la Lengua Española significa “*conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí*”, es decir que prácticamente cualquier cosa es considerada como un sistema.

Los elementos que conforman un sistema deben de cumplir con las siguientes 3 características (Galvis Panqueva, 2004):

1. El comportamiento o las características que componen a cada uno de los elementos del sistema, causará un efecto en el comportamiento o características del conjunto completo.
2. Este efecto se verá reflejado en todo el conjunto, es decir, no hay elementos que interactúen de manera independiente del conjunto.
3. Un sistema puede estar dividido en subsistemas, sin embargo, cada subsistema cumple con las 2 características antes mencionados, por lo cual, no se puede dividir en subsistemas independientes.

Con estas ideas sobre lo que es un sistema, queda un poco más claro sobre la importancia de las interrelaciones y de la manera en que las cosas están organizadas para constituir una entidad significativa, y nos evidencian la forma en que se afectan entre sí los elementos de un sistema. Al afectar una parte del sistema, estamos afectando a todo el sistema.

2.4.2.2 *Lean Construction*® como un Sistema

A continuación, se propone un modelo para la ejecución de un proyecto aplicando la metodología de *Lean Construction*®. Es un modelo en donde un pilar principal (ó 11) sostiene desde el diseño, planeación, ejecución y cierre del proyecto, me refiero a los principios de *Lean Construction*® que nos ayudarán a llevar a cabo de una manera más eficiente el flujo de trabajo en la construcción. Este pilar principal también se ve reforzado y apoyado por dos estructuras; por una parte, están los cimientos. Los cimientos se componen de la correcta planificación y diseño del proyecto a ejecutar. Para que los cimientos se mantengan firmes nos podemos auxiliar de diversas metodologías como lo son *Value Engineering*®, BIM (*Building Information Modeling* – Modelado de Información para Construcción), *Project Management*, etc. que más adelante se explicarán, así como también de la importancia de que se cuente con un buen diseño y planeación desde el inicio del proyecto. Por la otra parte, la segunda estructura, se encuentra un pilar secundario que impulsa a la ejecución de la metodología *Lean*. Este pilar se compone de herramientas de fácil práctica ya sea en la oficina o en la obra que nos ayudarán a tener un mayor control sobre las cosas, herramientas visuales y actividades en equipo que facilitarán la mejora continua en la organización. En el centro del modelo, se encuentran las herramientas *Lean* que nos ayudarán a minimizar el uso de todo tipo de recursos, contar con entregas oportunas, tender a calidad de cero defectos, entre otros beneficios. Así pues, interactuando entre los cimientos, pilares y el centro del modelo como un sistema se mejorarán y optimizarán los procesos de la empresa, eliminando los excesos y logrando la mejora dónde tanto el cliente como la organización se verán beneficiados.

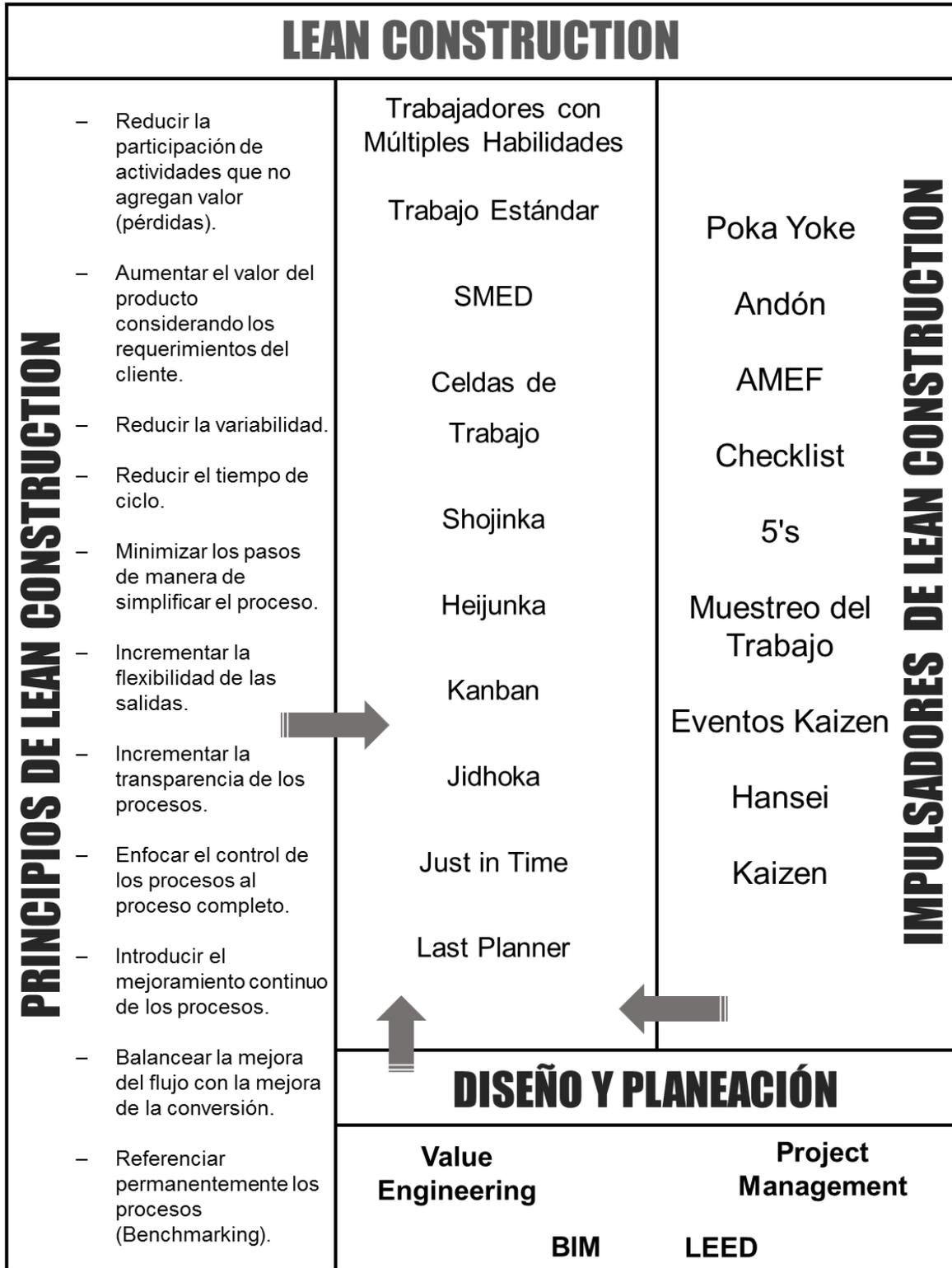


Figura 23 Cómo interactúa *Lean Construction*®

2.4.3 Principios de *Lean Construction*®

En la construcción, todas las actividades que se realizan implican de un costo y de un consumo de tiempo. Como ya se ha mencionado, aquellas actividades que agregan valor y por las que el cliente está dispuesto a pagar son las llamadas actividades de conversión. Es por eso que se debe de mejorar y ser más eficientes para lograr la eliminación o reducción de las actividades que no agregan valor.

Koskela (1992) propone once principios para llevar a cabo de una manera más eficiente el flujo de trabajo en la construcción, analizando los principios y la aplicación del *Just in Time* en base a lo aprendido de *Lean Production*.

1. Reducir la participación de actividades que no agregan valor (pérdidas).

Como ya se ha mencionado antes, aquellas actividades que requieren de tiempo, recursos o espacios pero no agregan valor al producto o servicio final que se le entrega al cliente, son las que se requieren eliminar o disminuir. A través de estudios, se ha demostrado que usualmente sólo del 3 al 20% de las actividades son las que agregan valor (Ciampa, 1991). Y ¿por qué hay tantas actividades que no agregan valor? Existen 3 razones principales: a) diseño, b) ignorancia, y c) la propia naturaleza de la producción.

Existen en el diseño, porque cuando una actividad es dividida en dos sub actividades, éstas son realizadas por diferentes especialistas lo que hace que aumenten las actividades que no agregan valor. Por la naturaleza de la producción existen actividades que no agregan valor, por ejemplo, algunos trabajos en proceso, tienen que ser movidos de un lugar a otro para seguir con su conversión (esperas, movimientos, inspecciones, etc.). Se refiere a que la ignorancia es una de las principales razones por la cual hay actividades que no agregan valor debido a que muchas actividades no están diseñadas de manera ordenada, lo que provoca que los planes sean modificados constantemente y no se cuente con un nuevo plan y se ejecuten de una manera espontánea y de esta forma aumentan las actividades que no agregan valor.

La mejora del rendimiento en las diferentes visiones: convencional, enfocado a la calidad y la nueva filosofía de producción.

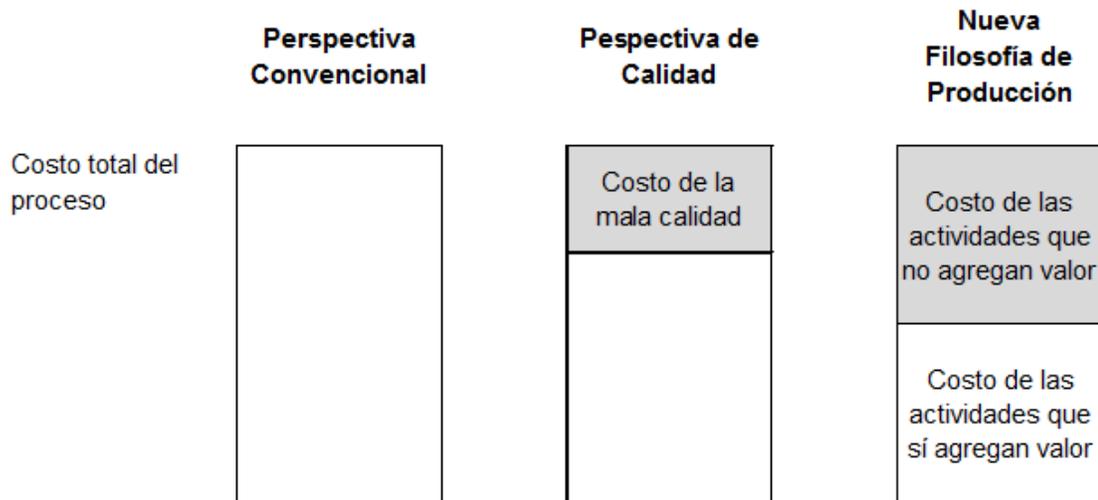


Figura 24 Diferentes enfoques (Koskela, 1992)

2. Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente.

El valor se genera a través del cumplimiento de los requerimientos del cliente. Para cada actividad existen dos tipos de clientes, las actividades siguientes y el cliente final.

En muchos procesos, los clientes nunca han sido identificados, por ende, tampoco sus requerimientos han sido aclarados ya que el principio dominante en este proceso es el de minimizar los costos en cada estación.

3. Reducir la variabilidad.

Existen dos razones por las cuales es muy importante reducir (ya que es imposible eliminar del todo) la variabilidad en el proceso. La primera razón, desde el punto de vista de un cliente, un producto uniforme, es decir, siempre igual, es mejor. La segunda razón, es porque la variabilidad en la duración de una actividad, hace que incrementen aquellas actividades que no agregan valor.

Como conclusión, debe entenderse que la búsqueda de la reducción de la variabilidad en los procesos debe de ser un objetivo intrínseco.

4. Reducir el tiempo de ciclo.

“El tiempo es una métrica útil y universal de costo y de calidad, ya que puede ser utilizado para conducir a mejoras en ambas” (Krupka, 1992).

Tiempo de ciclo, como ya antes se mencionó, es el tiempo necesario para que una pieza pase por el flujo completo. La importancia de la reducción del tiempo de ciclo se basa en que para poder reducirlo, se obliga a la reducción de tiempos de inspección, de transportes y de esperas. Otro de los beneficios que conlleva la reducción del tiempo de ciclo es que el cliente se verá beneficiado ya que la entrega de su producto será más rápida.

En una organización jerárquica este tiempo se ve afectado, ya que cada nivel añade tiempos de ciclos en corrección de errores, resolución de problemas, supervisiones, etc. (tiempos basura). La nueva filosofía se basa también en la disminución de estos niveles, potenciando así para que más personas trabajen directamente en el flujo del proceso y tengan mismas responsabilidades y oportunidades.

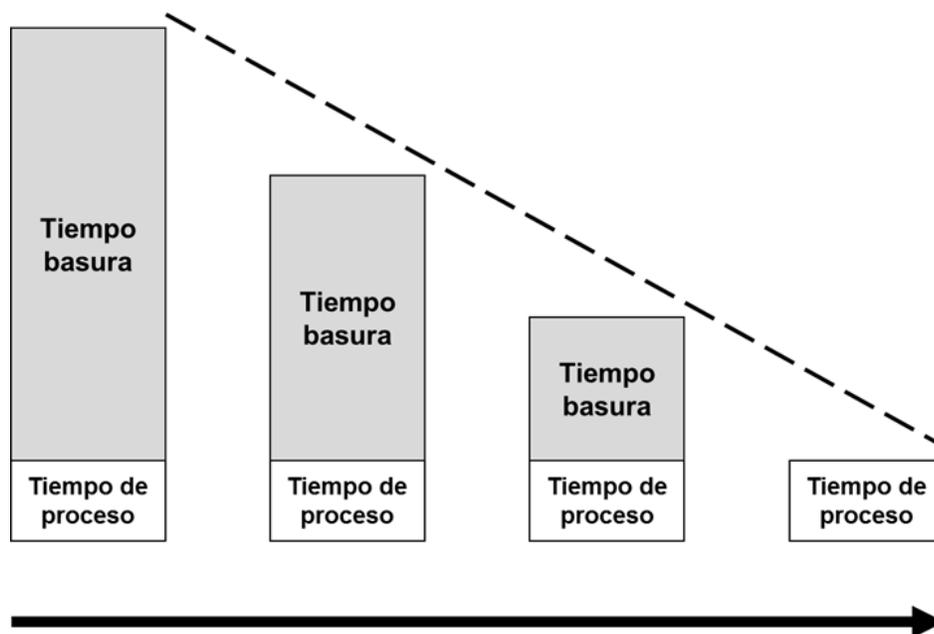


Figura 25 Disminución del tiempo de ciclo (Koskela, 1992)

El tiempo de ciclo se puede disminuir progresivamente a través de la eliminación de actividades que no agregan valor y de la reducción de la variabilidad (Berliner & Brimson, 1988). La implementación de eventos *kaizen* son de gran ayuda para la eliminación de estos tiempos.

5. Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso.

La complejidad de un producto o de sus procesos aumenta su costo además de que se vuelve poco fiable ya que los sistemas complejos son inherentemente menos fiables que los sistemas simples.

Simplificar el proceso se puede lograr a través de la reducción del número de pasos para que la pieza termine el flujo completo o también reduciendo el número de componentes del producto. Esta simplificación se puede llevar a cabo también, mediante la eliminación de actividades que no agregan valor en el proceso de producción o mediante la reconfiguración de partes.

6. Incrementar la flexibilidad de las salidas.

Uno de los elementos clave para incrementar la flexibilidad y que nos ayuda a mejorar la productividad, es el diseño de un producto modular. Se mencionan a continuación, enfoques prácticos para incrementar la flexibilidad:

1. Reducir la dificultad de los arranques y cambios de productos (SMED).
2. Aplicación de celdas de trabajo.
3. Minimizar el tamaño de lote.
4. Entrenar a trabajadores con multihabilidades.

7. Incrementar la transparencia de los procesos.

Al no contar con procesos transparentes, incrementa la posibilidad a cometer errores y la visibilidad de éstos, así como también se disminuye la motivación para lograr la mejora, por esto *“es importante que el flujo de las operaciones, de principio a fin, sea visible y comprensible para todos los empleados”* (Stalk & Hout, 1989).

8. Enfocar el control de los procesos al proceso completo.

El proceso completo tiene que ser medido, no los subprocesos, ya que si se miden por subprocesos cada quién hará sus mejoras sin saber si al proceso siguiente lo beneficio o lo perjudica.

9. Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.

El esfuerzo para reducir los desperdicios y aumentar el valor en los procesos, actividades y productos es una actividad interna, incremental e iterativa, que debe de ser llevada a cabo de forma constante y continua.

10. Balancear la mejora del flujo con la mejora de la conversión.

En la mejora de las actividades productivas, las conversiones y los flujos tienen que ser balanceados. Para cualquier proceso de producción, el flujo y las actividades de conversión tienen un potencial diferente para la mejora. Sin embargo, en una situación en la que los flujos se han descuidado durante años, la posibilidad de mejorar el flujo suele ser mayor que la mejora de la conversión. Por otra parte, la mejora de flujo se puede iniciar con inversiones más pequeñas, pero generalmente requiere un tiempo más largo que una mejora de la conversión. Es importante destacar cómo están íntimamente relacionados la mejora del flujo y la mejora de la conversión:

- Mejores flujos requieren de menor capacidad para la conversión y por tanto, menor inversión en maquinaria.
- La implementación de nueva tecnología para la conversión es más fácil cuando se logran flujos controlados.
- La variabilidad disminuye cuando se implementa nueva tecnología para la conversión.

11. Referenciar permanentemente los procesos (Benchmarking).

Según Casadesús (2005) el Benchmarking es una *“técnica para buscar las mejores prácticas que se pueden encontrar fuera o a veces dentro de la empresa, en relación con los métodos, procesos de cualquier tipo, productos o servicios, siempre encaminada a la mejora continua y orientada fundamentalmente a los clientes”*.

A menudo, el benchmarking es un estímulo útil para lograr que la mejora avance a través de la reconfiguración de los procesos.

Capítulo 3 Comparación

3.1 Introducción

En este capítulo se hará la comparación entre los diferentes autores y sus principios de la metodología *Lean*. Se realizará también el análisis FODA para determinar las características de la aplicación de las herramientas en la construcción, y se desarrollará un estudio de análisis de funciones con ayuda de la metodología de *Value Engineering®* para determinar sus funciones y proponer un diagrama para la implementación de las herramientas en base a sus tareas a ejecutar, haciéndolas trabajar en conjunto para llegar a cumplir su objetivo principal.

3.2 Visión de Diferentes Autores

Son varios los autores que hablan acerca de la metodología *Lean*, de sus principios y formas de verla. A continuación se muestra un concentrado comparativo con los diferentes principios de tres autores: *Toyota Production System* (Liker, 2004), Lauri Koskela (Koskela, 1992) y *Lean Enterprise Institute* (Institute L. E., 2016) sobre esta metodología.

No.	<i>Toyota Production System</i>	Lauri Koskela	<i>Lean Enterprise Institute</i>
1	Base las decisiones en una filosofía de largo plazo, incluso a expensas de las metas financieras de corto plazo.	Reducir la participación de actividades que no agregan valor (pérdidas).	Maximizar el valor desde la perspectiva del cliente.
2	Deben crearse procesos con flujos continuos con el fin de hacer visibles sus problemas.	Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente.	Organizar el proyecto según flujo de trabajo.
3	Utilice sistemas " <i>Pull</i> " para evitar la sobreproducción.	Reducir la variabilidad.	Crear flujo de trabajo continuo.
4	Nivela la carga de trabajo (trabaje como la tortuga, no como la liebre).	Reducir el tiempo de ciclo.	Trabajar bajo el sistema <i>PULL</i> según lo requerido por el cliente.
5	Construya una cultura que detenga el trabajo para resolver los problemas.	Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso.	Buscar la perfección.
6	Las tareas y procesos estandarizados son cimiento para la mejora continua y la participación del empleado.	Incrementar la flexibilidad de las salidas.	
7	Explote la administración visual del lugar de trabajo para hacer visibles los problemas ocultos.	Incrementar la transparencia de los procesos.	
8	Solo use tecnología probada y confiable que dé servicio a su gente y a sus procesos.	Enfocar el control de los procesos al proceso completo.	
9	Cultive líderes que entiendan profundamente el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros.	Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.	
10	Desarrolle gente excepcional y equipos que sigan la filosofía de su empresa.	Balancear la mejora del flujo con la mejora de la conversión.	
11	Respete su red extendida de asociados y proveedores retandolos y ayudándolos a mejorar.	Referencias permanentemente los procesos (Benchmarking).	
12	Vaya y verifique usted mismo si en verdad quiere entender el problema.		
13	Tome decisiones lentamente, (por consensos y tomando en cuenta todas las opciones) pero implemente sus decisiones rápidamente.		
14	Conviértanse en una organización que aprende a través de la mejora continua y la reflexión incesante		

Tabla 2 Principios *Lean*. Varios Autores

3.2 Análisis FODA

A continuación, se presenta un análisis FODA en el cuál se podrá determinar cuáles son las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la aplicación de la metodología *Lean Construction*® en México y posteriormente se realizará su análisis a profundidad.

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Mejora los procesos.• Reducción de desperdicios.• Mayor comunicación entre todo el personal.• Cumplimiento en tiempo y presupuesto del proyecto.• Entregas con mejoras en calidad.• Procesos técnicos y administrativos de calidad.	<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none">• Poco a poco se “exige” la aplicación de la metodología. La tendencia es mayor día a día.• Cada día hay mayores herramientas tecnológicas para su aplicación (Software).• Investigaciones extranjeras para su aplicación.• Uso de herramientas de <i>Lean Production</i> adaptados a la construcción
<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none">• Poco conocimiento o conocimiento erróneo sobre las herramientas.• Falta de capacitación de trabajadores.• Pobre aplicación de la metodología.• Cultura de aprendizaje.• Resistencia al cambio.	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Poca experiencia en su aplicación.• Mayor competitividad en la industria.• Poco interés por mejorar la industria.

Tabla 3 Análisis FODA *Lean Construction*®

3.3 Análisis de Funciones y Diagrama FAST

Con la ayuda de la metodología de *Value Engineering*®, se propone realizar un análisis de funciones de todas las herramientas antes mencionadas, para así obtener cuáles son las funciones que desempeñan (que en la mayoría de las veces es más de una), para posteriormente realizar un diagrama FAST que nos ayudará de una manera más visual a obtener y analizar la estructura funcional de la metodología de *Lean Construction*®. Este diagrama establece las relaciones que existen entre las distintas funciones y nos muestra el alcance de la metodología respondiendo las preguntas ¿cómo? y ¿para qué o por qué?

* El análisis de funciones se encuentra en la sección de Anexos.

3.4 Propuesta

A continuación, y en base a los datos obtenidos con el análisis de funciones y del diagrama FAST, se propone un modelo sistémico para la aplicación de la metodología *Lean Construction*® en los proyectos.

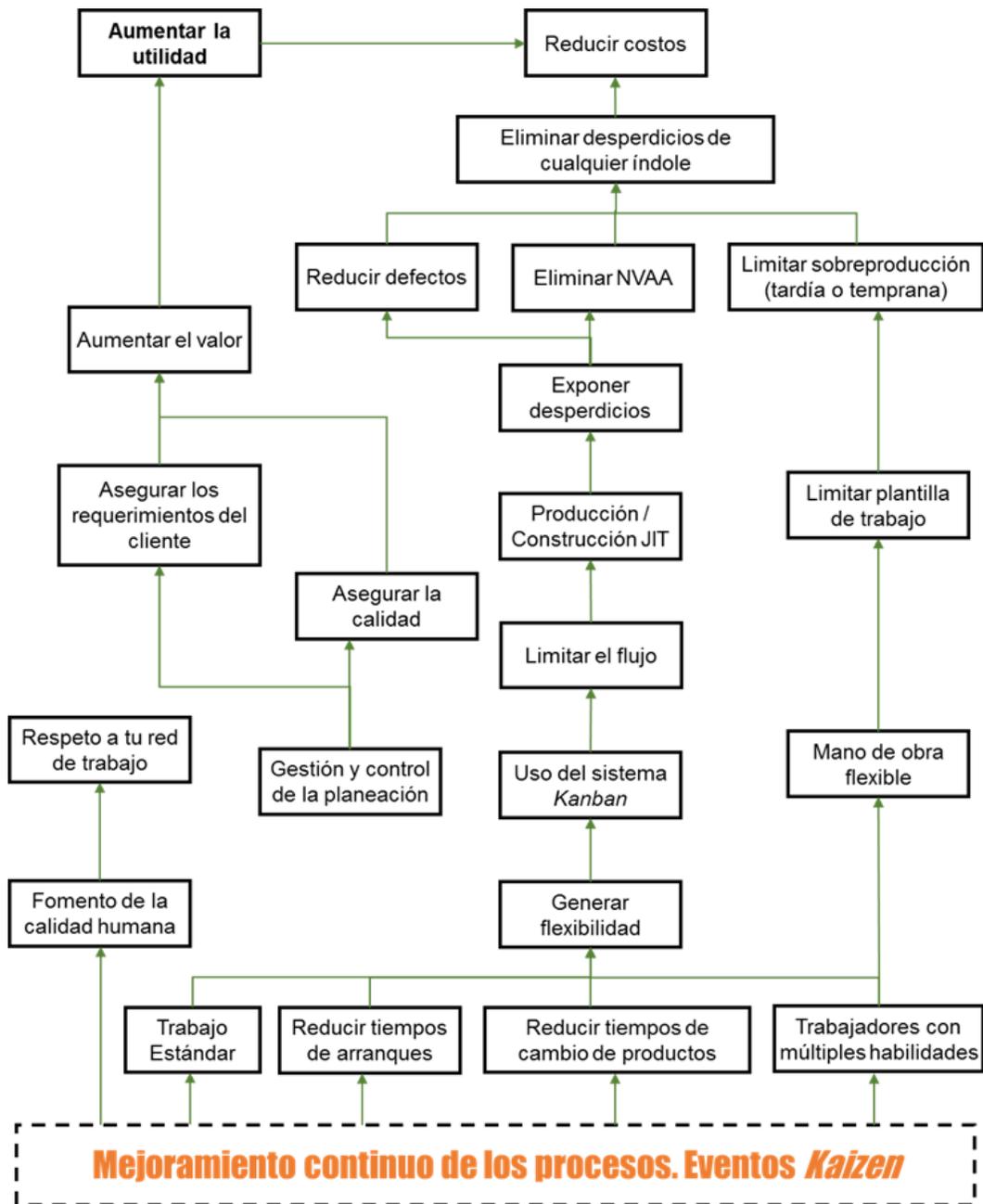


Figura 27 Mapa sistémico *Lean Construction*®

Capítulo 4 Análisis

4.1 Introducción

En este capítulo se realizará el análisis de los datos obtenidos en el capítulo anterior. La interpretación de las diferencias y semejanzas entre los 3 autores respecto a los principios aplicados a la metodología *Lean*, sugerencias para convertir las amenazas en oportunidades con el diagrama FODA, y con la ayuda del diagrama FAST crear e interpretar un mapa sistémico para la aplicación de *Lean Construction*®.

4.2 Interpretación de los resultados

4.2.1 Visión de los autores

Es evidente que entre los autores e instituciones hay diferentes enfoques en sus principios, similitudes y diferencias. Por un lado, los principios de Toyota se pueden aplicar de una manera clara desde el trabajador operador de una máquina hasta el director general de la empresa; éstos refieren a procesos, tareas, pero sobre todo se ven enfocados a las personas y su cultura tanto dentro de la empresa (trabajadores) como fuera de ella (proveedores). En los principios de Lauri Koskela, se puede observar una clara inclinación en procesos y tareas, no menciona nada de la filosofía en la empresa ni de las personas que laboran en ella y esto no quiere decir que sean malos, sólo que su enfoque es diferente. Y por último, *Lean Enterprise Institute*, instituto que se encarga de la investigación, educación y divulgación de la metodología *Lean*, comparte con pocos principios, una idea muy general del ideal de una empresa, siendo éstos un poco carentes de contexto para la aplicación de los mismos.

Esto abre la posibilidad de presentar de manera más clara cuáles herramientas *Lean* y en qué orden aplicar para lograr la mejora continua de los procesos dentro de la industria de la construcción.

4.2.2 FODA

De la matriz FODA podemos concluir lo siguiente:

- La aplicación de la metodología cuenta con puntos fuertes internos o capacidades fundamentales sobre los que se puede crear una estrategia atractiva. Hay un gran campo de acción con el que se puede trabajar, hay pocas empresas que se encuentran actualmente aplicando la metodología, sin embargo, poco a poco se exige más su ejecución en las obras.
- Uno de los puntos débiles que más se debe de atacar, es el conocimiento que se tiene sobre *Lean*, capacitar a los trabajadores y sobre todo a los líderes de proyecto, dejar de lado pensamientos como “ya sé todo lo que hay que saber sobre *Lean*”, “la implementación de la metodología será sólo un gasto de tiempo y dinero”, ya que éstos son los causantes de la resistencia al cambio y que competitivamente sea vulnerable la correcta aplicación de la metodología.
- Para crear una buena defensa ante las amenazas que se presentan será necesario ir implementando poco a poco la metodología, no de la noche a la mañana, no esperar resultados instantáneos. Esto es un proceso que hay que llevar a cabo paso a paso e ir obteniendo experiencias, conocimiento y aprendizaje sobre su aplicación.

A través de las habilidades, capacidades y recursos con los que cuentan las empresas se deberán aprovechar las oportunidades reflejadas en el análisis.

4.2.3 *Value Engineering*®

A través del análisis de funciones de las herramientas que se investigan, se desarrolló un diagrama FAST donde de una manera muy visual resalta cuáles son las funciones del sistema, el cómo se relacionan entre sí y, sobre todo, se determinan cuáles son las funciones de orden superior y básicas del sistema *Lean Construction*®.

Del diagrama que se desarrolló se obtuvo que las funciones de orden superior, las que especifican el por qué o para qué se lleva a cabo la aplicación de la metodología fueron: aumentar el valor, tanto para el cliente como para el constructor y, aumentar

utilidad para el constructor. Las funciones básicas que nos explican cómo llevar a cabo las funciones de orden superior fueron reducir desperdicio, respondiendo a la pregunta ¿cómo aumento valor? Reduciendo desperdicio. Y la segunda es reducir costos que también contesta a la pregunta ¿Cómo aumento utilidad? Reduciendo costos

Estas funciones serán la base para realizar el mapa sistémico de la metodología *Lean Construction*®.

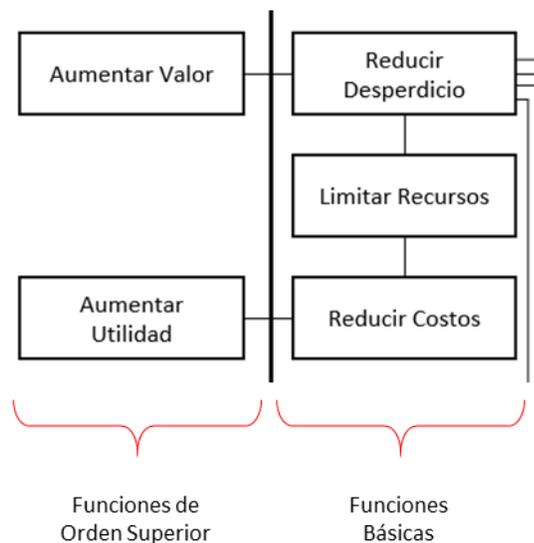


Figura 28 Función orden superior y básica

4.2.4 Análisis de propuesta

El mapa sistémico que se sugiere a partir de las funciones básicas y de orden superior que se obtuvieron en el diagrama FAST, es similar al que se propone en el modelo de producción de Toyota (Monden, 2012). El propuesto se enfoca a la construcción, donde de alguna manera las herramientas *Lean* son aplicadas y aprovechadas al máximo para lograr el cumplimiento de la función de orden superior de la metodología *Lean Construction*® (a mi manera de interpretarlo), ***aumentar la utilidad para la empresa***. Desde los eventos *kaizen*, trabajo estándar, SMED, entrenar a trabajadores con múltiples habilidades, uso del *kanban*, *poka yokes*, etc. se ven interrelacionados

como un sistema para lograr dicho objetivo. Además, también los principios de la metodología se ven reflejados en el sistema, algunos ejemplos:

- Al eliminar desperdicios se reduce la participación de actividades que no agregan valor.
- Al asegurar los requerimientos del cliente y asegurando la calidad del trabajo y de los procesos se aumenta el valor del producto.
- Al lograr que los equipos de trabajo practiquen eventos *Kaizen* se logrará el mejoramiento continuo de los procesos.

La aplicación de todas las herramientas no es la solución para que la empresa sea “perfecta”. Las herramientas funcionan como medicamentos y como lo es con cualquier ser vivo, no por tomar todas las medicinas estarás sano, quizás padezcas de un dolor de garganta y se recetará algo para aliviar esa molestia en específico, no con otro medicamento para aliviar problemas del hígado. Hay que saber identificar cuál es nuestro malestar y atacar con el medicamento correspondiente.

Es importante mencionar que cuando ya se cuenta con la aplicación de alguna de las herramientas mencionadas y desea implementar otra, no tiene por qué desechar la que con anterioridad se utilizó. Es decir, son herramientas que, unidas entre sí, interactúan y cumplen con su fin, que es hacer de la construcción, una construcción esbelta, *lean*.

Ejemplos de aplicación de las algunas herramientas en la construcción

***Kanban* y Supermercado**

Algunas aplicaciones del sistema *kanban* han sido integradas en la industria de la construcción. El sistema *kanban* se puede utilizar para realizar las compras del material o herramientas que se necesitarán en el momento adecuado y en las cantidades adecuadas en función a la demanda o producción real ya sea utilizando el *kanban* de retirada o de producción según sea el caso (almacén de obra o proveedor externo).

Roberto Arbulu, consultor de *Strategic Project Solutions*, desarrolló una estrategia para gestionar la reposición de ciertos tipos de productos de varios proveedores con ayuda del sistema *kanban*. Este sistema, permite a los equipos de construcción obtener productos del “supermercado”, de acuerdo a sus necesidades.

Jidhoka

Una de las industrias donde la práctica de la automatización es muy poca o nula, es sin duda en la construcción, sin embargo, la necesidad de la aplicación de tecnologías para la automatización para la construcción de caminos, puentes y túneles como nueva maquinaria, aparatos electrónicos, se encuentra en aumento.

Recientes investigaciones en el campo de ciencias de la computación y de la robótica han ayudado a desarrollar nuevas tecnologías para la construcción. Estas tecnologías ayudan a reducir mano de obra donde los trabajos se vuelven inseguros, costos, tiempos y mejoran el aumento de la productividad.

Algunas de las ventajas del uso de la automatización en la construcción son las siguientes (Tejankar, 2016):

- Calidad uniforme y con mayor precisión.
- Uso de maquinaria en tareas que impliquen trabajos arriesgados y que atentan contra la seguridad de los trabajadores.
- Facilitar tareas que van más allá de las capacidades humanas.
- Aumento de la productividad.

Una aplicación muy común de la automatización en la construcción es mediante el uso de transportadores de concreto, Telebelt. Esta maquinaria es la mejor solución para grandes obras de construcción donde se requiere de un gran volumen de concreto a un alcance elevado tales como presas, cimientos y zapatas, puentes, techos inclinados, etc. La banda telescópica reduce los problemas con los obstáculos para la colocación del concreto y ahorra tiempo y trabajo.



Figura 29 Telebelt en la construcción de una presa (Putzmeister, 2017)

Trabajadores con múltiples habilidades

Cuando se cuenta con trabajadores con múltiples habilidades en el lugar de la construcción, se puede lograr que un solo trabajador haga varios procesos aumentando la productividad, disminuyendo el número de trabajadores necesarios para la producción, al mismo tiempo que va obteniendo conocimientos para participar en diversas operaciones durante el flujo de la construcción.

Un ejemplo muy claro es cuando un oficial de albañilería, además de su trabajo para levantar muros, puede hacer trabajos de pintura, carpintería (incluidos los trabajos de cimbrado), plomería, etc.

Estar capacitando de manera constante a los trabajadores para que sus habilidades sean cada día mejores es una de las mejores prácticas que se plantean en la metodología *Lean*, ya que esto nos ayuda a que los trabajadores estén contentos por lo que se les enseña y el patrón conserva a sus trabajadores durante todo el proceso de obra.

Celdas de manufactura

Una de las aplicaciones más comunes de las celdas de manufactura en la construcción es el habilitado de acero para refuerzo ya sea para zapatas, columnas, pilotaje, etc. Esto se puede lograr creando un flujo continuo del proceso para su construcción, en el caso de una pila, desde hacer el habilitado de las varillas (cortes y dobleces), hasta la unión de los refuerzos longitudinales y transversales se logra creando grupos de trabajo donde no se pueda seguir al siguiente paso hasta que el proceso anterior esté terminado y en cada zona se encuentren realizando un trabajo en específico (doblar varillar, colocar hacer transversal, unir acero, por ejemplo).

SMED

En Estados Unidos, el 40% de los puentes fueron construidos hace más de 40 años (Transportation, 2010), diseñados para una vida útil de 50 años. Debido al aumento de los volúmenes de tráfico en las carreteras y al envejecimiento de puentes en este país, existe una creciente necesidad de reparar los puentes más importantes en el sistema carretero de una manera acelerada para limitar los impactos de movilidad y seguridad. Debido a esto, la ABC (*Accelerated Bridge Construction* - Construcción de Puentes Acelerada) se encuentra en crecimiento en ese país.

Esta técnica implica el uso de varios métodos durante la planeación del proyecto, diseño, contratación y construcción para reducir significativamente el tiempo de construcción o del reemplazamiento de un puente, en comparación con los métodos tradicionales. Con esta técnica, un puente puede ser removido y reemplazado en cuestión de noches o varios días en lugar de meses o incluso años. Alguno de los métodos principales utilizados para llevar a cabo esta técnica, es el uso de componentes prefabricados que se construyen fuera del sitio y que se pueden llevar al lugar de instalación por medio de un Transportador Modular Autopropulsado.



Figura 30 Uso de transportador modular para instalación de puentes
(Transportation, 2010)

Algunas de las ventajas de utilizar esta metodología son: mayor seguridad, aumento de productividad y calidad, reducción en tiempo de impacto en el tráfico (las interrupciones son mínimas y las zonas de trabajo a largo plazo son eliminadas), menor impacto al medio ambiente.

La aplicación de esta técnica, es un ejemplo de cómo las preparaciones rápidas también pueden ser llevadas a cabo en la construcción, si bien, no son llevadas en tiempos menores a los 10 minutos, el tiempo es mucho menor que como sería con la aplicación de técnicas comunes. Cabe mencionar que hay un gran campo de acción en la construcción ya que este ejemplo es claro para la construcción de puentes y hay muchas áreas más donde se puede llevar la buena implementación de esta técnica.

Toyota Home

Toyota Group no sólo se dedica a la fabricación de autos. Entre varias otras divisiones cuenta con la división *Toyota Home*, la cual se dedica al diseño y fabricación de casas.

Lo interesante se encuentra en la *fabricación* porqué tal cual, las casas se fabrican dentro de una planta, pero ¿cómo es posible fabricar una casa? Toyota se encargó

de hacer esto posible. Su concepto consiste en crear casas modulares (que en realidad ya existían desde antes que ellos empezaran a fabricar), y una vez los módulos están listos para instalarse, se llevan al lugar donde se hará el montaje final. Es como jugar tetris o lego a una escala mucho mayor.

El proceso para la fabricación de casas es muy sencillo. Visitas las casas muestra, una vez que tienes un concepto sobre lo que estás buscando, te harán llegar una liga para que puedas hacer un pre diseño de la *casa de tus sueños*, como ellos la nombran, en esta liga se podrá hacer un diseño previo y decidir de cuántos pisos será la casa, cuántos cuartos, baños, cuánta área se dedicaran a estos espacios, etc. Una vez se envíe la petición, en un lapso no mayor a 2 semanas llegarán los planos, se ajustarán los últimos detalles y una vez se cuente con el modelo deseado, se mandará la petición a la fábrica, donde se levantará la orden para iniciar con la fabricación de la casa.

Estructura, pisos, muebles, puertas, ventanas, instalaciones eléctricas, sanitarias, etc. serán instaladas desde la fábrica en cada módulo y serán empaquetados para ser trasladados al lugar del montaje. Todo aquello que no puede ser montado en el módulo desde fábrica (tubería, conexiones, etc.), se dejará alistado en cada módulo para ser instalado en el sitio de una manera rápida, es decir, ya lleva sus accesorios con la preparación externa necesaria para su instalación.



Figura 31 Módulos listos para ser transportados al lugar de montaje (Jun, 2016)



Figura 32 Montaje de módulos (Jun, 2016)

Es importante mencionar que más del 85% de avance de construcción de estas casas se realiza en la planta, y sólo el 15% restante se hace *in situ*, lo que hace que el montaje de la casa se haga en un tiempo no mayor a un día.



Figura 33 Casa modular de *Toyota Home* (Home, 2016)

La calidad de estas casas es muy alta, se hacen constantemente pruebas contra sismos, (Japón es una zona muy sísmica) donde se realizan simulaciones de temblores con magnitud 8 en escala Richter, que se considera como un temblor de gran magnitud y se demuestra que las casas sufren pocos o nulos daños.

La planeación y el diseño son elementos muy importantes para la fabricación de estas casas. Sin una buena planeación sería imposible construir una casa con altos estándares de calidad en un día.

Poka Yoke

Diversas investigaciones nos muestran que el costo *no deseado* de correcciones en edificios es de aproximadamente un 4 ó 5% del valor total de la construcción. Muchas cosas pueden ir mal en el complejo entorno del lugar de trabajo de una construcción. Todos los días, hay posibilidades de cometer errores que den lugar a productos defectuosos y a la insatisfacción de los usuarios o incluso un accidente que podría poner en peligro la salud y seguridad de los trabajadores. En la industria de la construcción, debido a la complejidad del trabajo y la variabilidad de los elementos y el medio ambiente, tenemos la tendencia a aceptar los errores como algo natural. Estos defectos pueden ser detectados sólo en la inspección final o, peor aún, por los usuarios finales.

En ocasiones, el problema es un mal diseño de procesos. Muchos investigadores han concluido que los diseñadores tienen el papel más importante en la eliminación de defectos. Información inadecuada, falta de conciencia, suposiciones erróneas, también se identifican como factores que contribuyen a defectos en la etapa de diseño.

Un dispositivo a prueba de error, ya sea como control visual o *poka yoke*, debe ser pequeño, de bajo costo, simple y estar integrado directamente en las diversas etapas de la línea de construcción. La importancia es encontrar defectos y problemas en el proceso del trabajo actual y encontrar maneras para prevenir que el problema vuelva a ocurrir. Un buen dispositivo a prueba de error es uno que no requiere atención por parte del trabajador. Por ejemplo, uno de los errores más comunes, sucede en las

operaciones del refuerzo, dónde la entrega de las varillas con dobleces y tamaños específicos suelen ser incorrectos. Para evitar este tipo de errores, uno de los métodos de control visual, muy sencillo, es colorear el extremo de las varillas por paquete, para evitar usos indebidos.

Para lograr llevar a cabo el concepto de *poka yoke* en un sitio de construcción, las zonas que son propensas a errores deben de ser identificados. Los errores pueden ser problemas de calidad, retrasos en la entrega del producto, cuestiones de seguridad, etc. Una vez localizadas estas áreas, el encargado de cada área podría poner su atención en investigar y resolver el problema, e implementar el dispositivo a prueba de error para evitar la recurrencia de problemas en el futuro.

Eventos *Kaizen*

Aplicar eventos *kaizen* en la construcción es muy sencillo. Saber identificar los problemas sin tener el pensamiento de que es algo natural y que ocurre en todas las obras es lo más complicado. Una vez se detecta el error, el equipo multidisciplinario se pondrá a trabajar para encontrar la solución a este problema que nos está ocasionando pérdidas en dinero y tiempo. Esta reunión no tardará más de 5 días, en ocasiones se llegará a una conclusión en un solo día. Un evento *kaizen* además de ayudarnos a solucionar el problema nos ayuda a crear *hansei*, autor reflexionar para que no vuelva a pasar. Entender qué fue lo que se hizo mal (o bien) y hacer un registro para posteriormente hacérselo saber a todo el personal para que se encuentren en sintonía y se genere el conocimiento a nivel global en la organización.

4.3 Validación de objetivos

4.3.1 Objetivos particulares

- **A través de un análisis de funciones de todas y cada una de las herramientas *Lean*, identificar qué función o funciones desempeñan.**

Con la ayuda de la metodología de *Value Engineering®* se ha desarrollado una lista aleatoria de las funciones que desempeñan las herramientas *lean*. Además, se realizó un diagrama FAST para determinar de una forma ordenada y clara

cómo se relacionan entre sí. También con ayuda del análisis FODA se observa cuáles son los puntos de oportunidad para el desarrollo de las herramientas *lean*.

- **Una vez tengamos las funciones de las herramientas, proponer un mapa sistémico que nos ayude a entender cómo funcionan las herramientas cuando interactúan entre sí, es decir, cuando trabajan como un sistema logrando cumplir con su objetivo principal.**

Se propuso un mapa sistémico para la aplicación de la metodología. Se observa como las herramientas trabajan entre sí, cumpliendo con las funciones que desempeñan y logrando el objetivo general de *lean*. Además se presentan algunos ejemplos del uso de las herramientas en la construcción cumpliendo con los fundamentos de la metodología.

- **Desarrollar una comparación entre 3 autores y sus opiniones de la metodología *Lean*, identificar cuáles son sus semejanzas y diferencias y qué aportaciones pueden realizar al trabajo de los otros autores complementando los principios de la metodología para lograr la mejora en cada proyecto.**

La comparación entre los 3 autores se realizó mediante una tabla que muestra qué opina cada uno de ellos respecto a los principios de la metodología. Se cumple con el objetivo de buscar nuevos puntos de oportunidad y de identificar hacia donde se han desarrollado las técnicas y herramientas para su aplicación en la construcción, sin embargo, se observa que se han dejado de lado algunas herramientas que podrían apoyar para una mejora de procesos en la construcción.

- **Desarrollar un análisis FODA para detectar y analizar características internas y externas de la situación actual de la aplicación de la metodología *Lean* en la construcción.**

El análisis FODA ha sido realizado. Se han propuesto qué puntos se pueden presentar para mejorar y atacar las debilidades que se presentan. Las mejoras van desde la estructura empresarial, hasta la mejora de procesos. Uno de los puntos más importantes es el ayudar a generar conocimiento de la metodología al personal que trabaja en la empresa.

4.3.2 Objetivo general

- **Se pretende realizar una investigación profunda de las herramientas y principios de la metodología *Lean* para así, ampliar los conocimientos de sus funciones y posibles aplicaciones en la industria de la construcción.**

Se realizó en el capítulo 2 la investigación de las herramientas *Lean* que se utilizan en la industria de la manufactura, cuáles son sus objetivos y cómo funcionan. Es conocido que la aplicación de las herramientas se puede llevar a cabo en cualquier tipo de proyecto, sin embargo, es necesario conocerlas de una manera más profunda para ampliar nuestros conocimientos sobre éstas y encontrar su aplicación en la industria de la construcción.

Una vez realizada la investigación, se llevó a cabo, con ayuda de expertos, el análisis de funciones, obteniendo cuáles son las funciones que desempeñan estas herramientas para posteriormente realizar el diagrama FAST para obtener de una manera ordenada cuál es su participación (con respecto a su funcionalidad) en la construcción y proponer un mapa sistémico para su implementación, logrando satisfacer la función de orden superior de la metodología.

Con estas herramientas aplicadas durante el desarrollo de este trabajo se han validado los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

Capítulo 5 Conclusiones

5.1 Introducción

En este capítulo se desarrollan las conclusiones, qué fue lo que se obtuvo después de la investigación y de su análisis. También se hará la verificación de la hipótesis propuesta ¿Se cumplió? Y finalmente se propondrán temas para futuras líneas de investigación que por limitaciones no se pudieron desarrollar.

5.2 Conclusiones

La aplicación y conocimiento de la metodología *Lean* en las empresas constructoras mexicanas ha ido aumentando debido a que cada vez es mayor la inquietud por encontrar mejores maneras de optimizar el sistema constructivo tradicional. También la fuerte competencia que existe hoy en día en el mercado ha generado que la búsqueda del cómo renovar los procesos para optimizar los resultados de los proyectos vaya en aumento. Esto implica a la vez, una constante búsqueda de nuevos métodos para optimizar el proceso de su aplicación en su adaptación donde de manera natural, las herramientas son aplicadas en procesos de manufactura y no en la construcción. Aún hay bastante camino que recorrer para lograr que la aplicación de la filosofía en la industria sea más natural.

La aplicación de la metodología provocaría varios cambios en la empresa para su mejora, pero principalmente, un cambio en la mentalidad de todos los involucrados en los proyectos en todos los niveles jerárquicos de la organización. Se lograría aplicar el concepto de la mejora continua día a día y detectar de una manera más fluida cuáles actividades agregan valor, cuáles no y buscar la forma de disminuir éstas para que los procesos se vuelvan más “limpios” de desperdicios.

A través de la aplicación de eventos para la mejora de procesos en la empresa, se puede lograr saber cuáles son los problemas a los que nos tenemos que enfrentar en la obra (o desde etapas anteriores a la ejecución de obra, diseño), y así descubrir en qué se puede mejorar con la ayuda de la aplicación de las metodologías.

Retomando la hipótesis planteada al inicio del trabajo y el motivo de la investigación, **“Generar un modelo para la aplicación de las herramientas y principios de Lean Production para ser aplicadas en la construcción”**, se concluye que esta es **AFIRMATIVA** ya que se realizó con ayuda del análisis de funciones, diagrama FAST, comparación entre los autores y análisis FODA el modelo para la aplicación de las herramientas, quedando pendiente la investigación para su aplicación en proyectos pilotos.

Concluyo que el uso de una herramienta *Lean* no nos convierte en una empresa esbelta si no tenemos una amplia visión de la enfermedad que padece el proyecto y de los beneficios que obtenemos cuando se planea una correcta ejecución de la metodología, donde las herramientas interactúan y crean un sistema de flujo de trabajo. En ocasiones queremos ajustar a cierta área de trabajo o proceso una herramienta y no es posible, ya que es la herramienta la que se adapta a cierto proceso. Falta crear más conciencia sobre la aplicación de la metodología en la industria, en qué se diferencia de otras metodologías y cómo ejecutar de manera eficaz en la construcción. Este conocimiento tiene que ser enseñado a todo el personal que de alguna forma se involucra en el proyecto, ya que se ha demostrado que la mayoría de los encargados (gerentes, planeadores, supervisores) manejan un buen conocimiento de la metodología, pero si no se difunde, llegará un punto en el que los trabajadores desconozcan que están haciendo y sólo se enfoquen en su trabajo y no en el proceso completo de construcción (Principio 8), evitando así que el compromiso y la productividad aumenten.

5.3 Futuras líneas de investigación

Para concluir esta tesis se recomiendan los siguientes temas para futuras líneas de investigación:

- Desarrollar y documentar en proyectos piloto la implementación y ajustes de las características y beneficios obtenidos una vez aplicadas las herramientas de *Lean Construction*® propuestas, dando un punto de acción al poder complementar cada una de éstas en los procesos constructivos.

- Validar en la industria de la construcción el modelo propuesto, donde la aplicación de las herramientas den como resultado el aumento de la utilidad de la constructora y el aumento del valor del producto final hacia el cliente, donde tanto el cliente como el constructor se verán beneficiados.

Bibliografía

- Ahuja, H. N. (1994). *Project Management: Techniques in Planning and Controlling Construction Projects*. Alberta: John Wiley & Sons.
- Ballard, G. (1994). Implementing Lean Construction: Reducing Inflow Variation. *Congreso LCI*.
- Ballard, G. (1994). *Lean Construction*. Retrieved from The Last Planner: www.leanconstruction.org
- Bogus, S., & Songer, A. (2000). *Design-Led Lean*. Reino Unido: International Group for Lean Construction.
- CÍVITA. (2016). *Beneficios y requisitos de la certificación LEED*. Retrieved from <https://goo.gl/yhOjYt>
- Company, T. M. (2016). *Toyota Global*. Retrieved from Just in Time - Philosophy of complete elimination of waste: <https://goo.gl/s4gV1J>
- Corporation, T. M. (2016). *Toyota Global*. Retrieved from Jidoka — Manufacturing high-quality products: <https://goo.gl/yFaW5O>
- Council, U. G. (2016). *LEED*. Retrieved from <http://goo.gl/u98gKQ>
- Dell'Isola, A. (1994). *Value engineering in the construction industry*. R.S. Means Co.
- Enterprise, L. C. (2012). *Last Planner*. Retrieved from <http://goo.gl/gv2Dth>
- Forbes, L., & Ahmed, S. (2011). *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. Florida: CRC Press.
- Galvis Panqueva, A. H. (2004). *Fundamentos de Tecnología Educativa*. Costa Rica: WorldCat.
- Home, T. (2016). *How our clients live*. Retrieved from Toyota Company: <http://goo.gl/blHegw>
- Howell, G. (2005). A guide to the Last Planner for Construction. Lean Construction Institute.
- Howell, G. L. (2002). *A Guide for New Users of the Last Planner™ System*. Minnesota: Lean Project Consulting, Inc.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen : un enfoque de sentido común para una estrategia de mejora continua*. New York: McGraw-Hill.
- Institute, L. E. (2016). *Lean Principles*. Retrieved from <http://goo.gl/LuluhH>
- Institute, P. M. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide*. Pensilvania: Global Standard.

- Institute, P. M. (2016). *¿Qué es PMI?* Retrieved from <https://goo.gl/bQjsL5>
- Javadi, B. (2013). *An integrated approach for the cell formation and layout design in cellular manufacturing systems*. Tehran: International Journal Of Production Research.
- Jun, R. &. (2016, Enero 8). *日本の家作り Japan builds house in 1 day*. Retrieved from Youtube.com: <https://goo.gl/ehkaxB>
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. California: CIFE.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw - Hill.
- Liker, J. K. (2006). *The Toyota Way Fieldbook*. New York: McGraw - Hill.
- Luna Villarreal, K., & González Tamez , C. A. (2007). *Implementación de Sistemas de Calidad en la Industria de la Construcción*. Barcelona: Arquitectura, Ciudad y Entorno.
- Masini, J. (2015a). *Lean Manufacturing*. Guadalajara, Jalisco, México: Creación de Riqueza.
- Masini, J. (2015b). *PDCA. Lean Manufacturing*. Jalisco, México: Creación de Riqueza.
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production Systema: An Integrated Approach to Just in Time*. Florida: CRC Press.
- P.N., M. (2009). *Operations management and productividy techniques*. New Dheli: PHI Learning.
- Pasqualini, F., & Zawislak, P. A. (2005). *Value Stream Mapping in Construction: A Case Study in a Brazilian Construction Company*. Sydney: International Group for Lean Construction.
- Putzmeister. (2017). *Putzmeister*. Retrieved from <http://www.putzmeister.co.uk/enu/telebelt.htm>
- Reyes, M. B. (2006). *Curso de Seis Sigma*. México: Universidad Iberoamericana.
- Rodríguez Fernández, A., Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Obras Públicas*, 1-9.
- Ruiz, I. (2015). *PDCA en el tiempo. Hoshin Kanri*. Jalisco, México: Creación de Riqueza.

- Sadri, R., & Taheri, P. (2011). *Improving Productivity through Mistake-proofing of Construction Process*. Singapore: International Conference on Intelligent Building and Management.
- Shingo, S. (1986). *Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system*. Productivity Press: Portland.
- Shingo, S. (2012). *A revolution in manufacturing: The SMED System*. Portland: CRC Press.
- Shook, J. (1999). *Learning to See*. Massachusetts: Lean Enterprise Institute.
- Tejankar, A. (2016). *The Use of Automation in Construction Industry*. Nagpur.
- Tommelein, I. (2008). *Mistake-Proofing Design and Construction Systems Improves Quality of Capital Projects*. Orinda: Tradeline.
- Transportation, U. D. (2010). States across the country implement accelerated bridge construction. *Mobility and Safety*, 1-2.

Anexo 1

Glosario de términos

5's: Práctica de calidad ideada en Japón referida al “Mantenimiento Integral” de la empresa, no sólo de maquinaria, equipo e infraestructura sino del mantenimiento del entorno de trabajo por parte de todos.

Accelerated Bridge Construction: Construcción de puentes que utiliza métodos innovadores de manera segura y rentable para reducir el tiempo de construcción en el sitio. Puede ser utilizada para construcción de nuevos puentes, reemplazo o rehabilitación de puentes existentes.

Acción Correctiva: Actividades intencionales que realinean el desempeño del trabajo del proyecto con el plan para la dirección del proyecto.

Acción Preventiva: Actividades intencionales que aseguran que el desempeño futuro del trabajo del proyecto esté alineado con el plan para la dirección del proyecto.

Acciones de preparación: Son todas aquellas actividades que se realizan al efectuar los cambios necesarios para que una determinada estación de trabajo pueda pasar de producir un determinado tipo de pieza a producir otro. Se dividen en dos: Internas y Externas.

Actividades de Conversión: Aquellas actividades que agregan valor y por las cuales el cliente está dispuesto a pagar.

Actividades de Flujo: Aquellas actividades que no agregan valor y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar.

AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Fallos. Conjunto de directrices, método y forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un sistema para priorizarlos, para poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta y documentar los hallazgos del análisis.

Andón: Tablero indicador que muestra cuando un trabajador ha parado la línea de producción.

BIM: *Building Information Modeling*. Es un proceso inteligente basado en un modelo 3D que integra arquitectura, ingeniería y construcción con la visión y herramientas para planificar, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructura de manera más eficiente.

Celdas de Manufactura: Una forma de distribuir las celdas de trabajo en el que se generan unidades de trabajo más pequeñas con todas las máquinas y equipo necesario para complementar una familia de componentes.

Checklist: Herramienta de ayuda en el trabajo diseñada para reducir los errores provocados por los potenciales límites de la memoria y la atención en el ser humano.

Ciclo de la Mejora Continua: Estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos: Planear, Hacer, Verificar, Actuar.

Desperdicio / Exceso: Cualquier otra cosa agregada a la cantidad mínima de equipo, materiales, partes, espacio y esfuerzo de los trabajadores, además de los que son absolutamente esenciales para agregar valor al producto. Se dividen en 7: Sobreproducción, esperas, transporte, proceso, inventarios, movimientos innecesarios y defectos.

Evento Kaizen: Actividades donde un equipo de trabajo multidisciplinario (diferentes especialidades, diferentes niveles jerárquicos, diversas actitudes, creativos, objetivos, etc.) se organiza dentro de la empresa para llevar a cabo tareas específicas, aplicando las herramientas necesarias, para resolver problemas de calidad, costo, seguridad, productividad, etc. de manera enfocada en un tiempo determinado, tratando de reducir las mudas o desperdicios al máximo.

Función: Trabajo específico que un objeto debe realizar.

Hansei: Se refiere a la autorreflexión, tanto de situaciones de éxito como en fracasos con el fin de localizar áreas de oportunidad a futuro, esto es una filosofía, el alma del *Kaizen*. Auto Reflexión.

Heijunka: Nivelado de la producción tanto por volumen, como por mezcla de productos.

ITE: Inventario de Trabajo Ejecutable. Tareas ejecutables listas para ser llevadas a cabo.

Jidhoka: También conocido como *autonomation with a human mind*, refiere al agregar juicio humano a la maquinaria automatizada. Es un control automático de defectos.

Just in Time: Se traduce en fabricar sólo los artículos necesarios, en la cantidad necesaria, en el momento necesario.

Kaizen: Cambiar para la mejora. Mejora continua.

Kanban: Sistema de información que controla de modo armónico las cantidades producidas en cada proceso y el flujo, tanto de materiales como de los artículos necesarios en las cantidades necesarias, en el momento necesario, en cada proceso de la compañía y también de las compañías proveedoras de materiales.

Kanban de producción: Tarjeta que especifica tanto el tipo como la cantidad de productos que un proceso debe producir.

Kanban de retirada: Tarjeta que especifica tanto el tipo como la cantidad de productos que un proceso subsecuente deberá retirar de algún proceso precedente.

Last Planner®: Sistema de planeación y control de la producción. Su principal objetivo es aumentar la fiabilidad de los flujos de producción y reducir la variabilidad.

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design. Sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos (*US Green Building Council*) compuesto de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en todo tipo de edificios, que reconoce la construcción de espacios responsables con el medio ambiente, y cuyo diseño permite el uso eficiente de los recursos naturales.

Luz de Aviso: Lámparas para controlar los estados de la línea y el piso de producción.

Muestreo del Trabajo: Técnica de observación del trabajo que consiste en efectuar, durante un cierto periodo, un gran número de capturas instantáneas y aleatorias de

un grupo de máquinas, procesos o trabajadores que nos ayuda a identificar cuáles actividades agregan valor y cuáles no.

Poka Yoke: Sistema para la prevención de errores. “A prueba de errores”. Detectar fallas antes de que sucedan.

Porcentaje de Asignaciones Completadas: Número de actividades planificadas que se completaron, dividido por el número total de las actividades previstas y expresado como un porcentaje.

Project Management: Metodología para la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para realizar las actividades de un proyecto y cumplir con los requisitos de éste.

Shojinka: Alterar el número de trabajadores cuando la demanda de producción ha cambiado.

Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

SMED: *Single-Minute Exchange of Dies.* Evento de mejora que se realiza con un equipo multidisciplinario de personas para reducir notablemente los tiempos de cambio de producto con el fin de producir mayor variedad de productos en el menor tiempo y con menos recursos.

Supermercado: Inventario controlado de piezas que serán utilizadas en la producción en procesos siguientes.

Takt Time: Se refiere al lapso en el cual una unidad deberá de ser producida.

Tiempo de Ciclo: Se refiere al lapso de tiempo más corto para realizar un ciclo de la operación bajo condiciones normales.

Toyota Home: División de *Toyota Group* la cual se dedica al diseño y fabricación de casas.

Trabajo Estándar: Es un método para producir eficazmente, sin desperdicios, el cual fue obtenido tomando en consideración el movimiento de las personas (no máquinas). Éste es necesario para generar mejoras en una operación repetitiva.

Valor Agregado: Incremento del valor de un bien como consecuencia de un proceso productivo o de distribución.

Value Engineering®: Metodología que a través de un proceso organizado ofrece grandes beneficios en la mejora de calidad y de valor de un proyecto, producto o proceso.

VSM: *Value Stream Map.* Mapa donde se muestra el flujo de información y de los materiales necesarios para producir las salidas.

Variación: Desviación, cambio o divergencia cuantificable con respecto a la línea base o valor esperado. Condición real que es diferente a la condición esperada.

Anexo 2

Lista Aleatoria de Funciones

Herramienta	Función	
	Verbo	Sustantivo
Lean Construction®	Reducir	Costo
	Aumentar	Utilidad
	Reducir	Desperdicio
	Aumentar	Valor
Last Planner®	Estabilizar	Flujo
	Aumentar	Fiabilidad
	Mejorar	Desempeño
	Reducir	Ocio
	Reducir	Esperas
	Reducir	Sobreprocesamiento
Kaizen	Identificar	Causas
Eventos de Mejora	Genera	Conocimiento
	Reducir	Desviación
Just In Time	Limitar	Sobreproducción
	Reducir	Traslados
	Reducir	Esperas
	Reducir	Sobreprocesamiento
Kanban	Limitar	Sobreproducción
	Limitar	Flujo

	Despliega	Información
	Transmite	Información
	Absorbe	Variación
Heijunka	Define	Throughput
	Estabiliza	Throughput
	Equilibrar	Carga de Trabajo
	Define	Secuencia
SMED	Reduce	NVAA
	Convertir	Trabajo
	Aislar	Trabajo
Poka Yoke	Reducir	Defectos
	Limitar	Flujo
	Reducir	Desviación
Sistema Pull	Transmitir	Información
	Limitar	Flujo
	Contener	Partes
	Limitar	Sobreproducción
	Definir	Ritmo
	Detectar	Demanda
	Traducir	Demanda
5's	Reducir	Movimientos
	Exponer	Desperdicio
	Reducir	Defectos
	Transmitir	Información

Muestreo del Trabajo	Identificar	Desperdicio
	Exponer	Desviación
AMEF	Identifica	Riesgos
	Reduce	Defectos
	Incrementa	Fiabilidad
Hansei	Genera	Conocimiento
	Expone	Desperdicios
Ingeniería de Valor	Aumentar	Valor
	Reduce	Recursos
	Identifica	Función
	Modifica	Diseño
LEED	Limita	Impacto ambiental
	Incrementar	Eficiencia
	Genera	Reconocimiento
Project Management	Crea	Flujo
	Define	Carga
	Define	Duración
	Monitorear	Desviación
	Definir	Egresos
BIM	Transmite	Información
	Generar	Experimentos
	Almacenar	Información
	Relacionar	Información
	Monitorear	Desviación

	Visualizar	Costos
	Desplegar	Información
Jidhoka	Reducir	Defectos
	Detectar	Defectos
	Limitar	Flujo
Shojinka	Equilibrar	Carga de Trabajo
Trabajo Estándar	Reducir	Desperdicio
	Define	Secuencia
	Incrementa	Eficiencia
	Define	Inventario
	Reduce	Variación
Luces de Aviso y Andón	Genera	Señal
	Desplegar	Estado
Checklist	Desplegar	Información
	Garantizar	Condiciones
Trabajadores multi habilidades	Limitar	Plantilla
	Genera	Flexibilidad
	Garantizar	Condiciones
Celdas de Manufactura	Reduce	Tiempo de Respuesta
	Reduce	Traslados
	Garantizar	Condiciones
	Genera	Flexibilidad
	Limita	Trabajo en Proceso