

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

INVENTARIO DE HERRAMIENTAS DEL SISTEMA DE ENTREGA DE PROYECTOS LEAN (LPDS)

Tesis para optar el Título de **Ingeniera Civil**, que presenta el bachiller:

Inés Rosa Castillo Maguiña

ASESOR: Ing. Pablo Orihuela

Lima, Abril del 2014

RESUMEN

Esta tesis nace de la necesidad que existe de una mejor comprensión y conocimiento de las herramientas desarrolladas en el Sistema de Entrega de Proyectos Lean como parte de la metodología de la Construcción Lean. Se pretende realizar un inventario de las herramientas en mención, las cuales han sido recopiladas de los diferentes papers publicados en las conferencias del Grupo Internacional de la Construcción Lean y en el Instituto de la Construcción Lean.

El término Lean Construction se establece al principio de los años 90, sin embargo en nuestro país ha tomado mayor fuerza en los últimos años gracias a un grupo de empresas que buscan el desarrollo de esta filosofía.

Para el desarrollo adecuado de la filosofía Lean Construction es necesario entender sus principios, conceptos, objetivos y funciones. Además, seguir la metodología impartida y, el desarrollo correcto de los proyectos en las fases propuestos por el Sistema de Entrega de Proyectos Lean.

En nuestro País, cuando se habla de Lean Construction se le relaciona mucho con el Sistema Last Planner, el cual es un sistema básico del control de producción y tal vez el más importante de la filosofía, pero no el único. Es importante conocer las demás herramientas que nos ofrece el Lean Construction, cada una de estas herramientas están propuestas para cada una de las fases de los proyectos de construcción; el entendimiento y aplicación de estas herramientas son esenciales para alcanzar las metas establecidas dentro de la nueva filosofía.

El desarrollo de la tesis pretende proporcionar un marco de referencia sobre el sistema de Construcción Lean y sus herramientas, para aclarar cada una de éstas se ha desarrollado un ejemplo como ilustración de la aplicación de las herramientas propuestas.

INDICE

RESUMEN

CAPÍTULO 1

LEAN CONSTRUCTION

1. Teorías de producción	02
1.1 Teorías de Producción	02
1.2 ¿Qué tipo de producción es la construcción?	04
2. Lean Manufacturing	05
3. Construcción Lean	06
4. Lean Project Delivery System	10
5. El concepto de Valor	11
6. El concepto de Pérdidas	14
7. BIM	16

CAPÍTULO 2

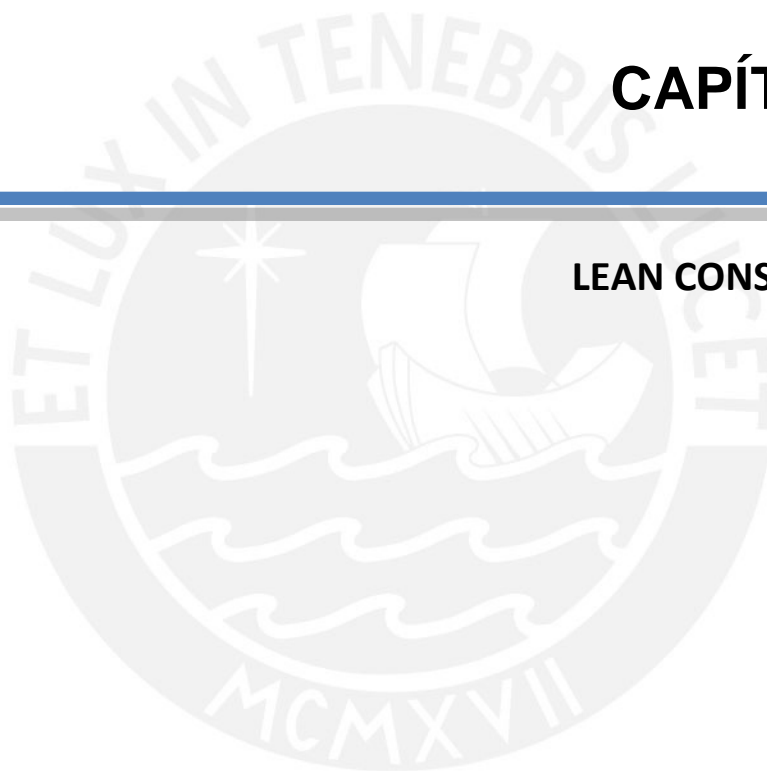
FASES, MÓDULOS Y HERRAMIENTAS EN LA CONSTRUCCIÓN LEAN

1. Definición del proyecto	
1.1 Descripción de la fase	20
1.2 Descripción de los módulos	21
1.3 Herramientas	23
2. Diseño Lean	
2.1 Descripción de la fase	34
2.2 Descripción de los módulos	36
2.3 Herramientas	36
3. Abastecimiento Lean	
3.1 Descripción de la fase	49
3.2 Descripción de los módulos	51
3.3 Herramientas	51

4. Ejecución Lean	
4.1 Descripción de la fase	65
4.2 Descripción de los módulos	66
4.3 Herramientas	67
5. Uso	
5.1 Descripción de la fase	84
5.2 Descripción de los módulos	85
5.3 Herramientas	85
6. Control de producción	
6.1 Descripción de la fase	93
6.2 Sistema del Último Planificador	93
6.3 Componentes	95
7. Trabajo estructurado	
7.1 Descripción de la fase	108
7.2 Herramientas	109
CAPÍTULO 3	
Conclusiones y Recomendaciones	114
BIBLIOGRAFIA	

CAPÍTULO 1

LEAN CONSTRUCTION



1. TEORÍAS DE PRODUCCIÓN¹:

Una teoría proporciona una predicción del comportamiento futuro. Sobre la base de una teoría, se pueden fundamentar las herramientas de análisis, diseño y control. Una teoría, cuando es compartida, proporciona un lenguaje común o un marco a través del cual se facilita la cooperación de las personas en las empresas (por ej. Un proyecto).

Una teoría puede ser vista como un marco de conocimiento: permite a los principiantes hacer las cosas como lo harían los expertos. Por lo tanto, es un instrumento de aprendizaje.

La característica principal de una teoría de producción es que debe ser preceptiva: es decir debe mostrar como las acciones contribuyen en los objetivos establecidos para la producción. En el nivel más general, existen tres posibles acciones:

- Diseño del sistema de producción
- Control del sistema de producción
- Mejora del sistema de producción

La producción tiene tres tipos de metas:

- Producir el producto (Meta principal)
- Minimizar el desperdicio (Meta interna)
- Maximizar el valor del producto para satisfacer las necesidades del cliente (Meta externa)

1.1 Teorías de Producción:

Producción como transformación (Task Management)

La producción como transformación fue propuesta por un grupo de de investigadores dirigidos por Wortmann (1992). En esta teoría, la producción es vista como una transformación de entradas en salidas. La transformación total se consigue descomponiendo el todo en partes y realizando la transformación de todas las partes. Se define la tarea que debe ser hecha, y cómo hacerla eficientemente.

Meta: producir el producto.

¹ Koskela, Howell, Ballard, Tommelein, 2002

Producción como flujo (Flow Management)

La producción como flujo, es descrita por primera vez en términos científicos por Gilbreth y Gilbreth (1922). La teoría considera cuatro etapas en el proceso de producción: procesamiento, inspección, espera y movimiento, en donde solo el procesamiento representa transformación, el resto representa pérdidas, de esta manera se enfocará en hacer el procesamiento más eficiente y reducir las actividades que generan pérdidas.

Meta: Minimizar el desperdicio.

Generación de valor (Value Management)

La generación de valor fue iniciada por SheWhart (1931). La teoría busca maximizar el valor desde el punto de vista del cliente final.

Meta: Maximizar el valor.

	TRANSFORMACIÓN	FLUJO	VALOR
Concepto de Producción	Como una transformación de entradas y salidas	Transformación, Movimiento, Inspección y Espera	Creación de valor para el cliente a través del cumplimiento de sus requisitos
Principio Fundamental	Hace la producción eficiente	Eliminación de las pérdidas (actividades que no agregan valor)	Eliminación del valor perdido
Prácticas y Métodos	Descomposición del trabajo en tareas, Tabla de Responsabilidades	Flujo continuo, Control de Producción "Pull", Mejora continua	Métodos para capturar los requisitos, Despliegue de la función de calidad
Contribución Práctica	Esforzarnos en lo que tiene que hacerse	Ocuparnos de que lo innecesario se haga tan poco como sea posible	Todas las necesidades del cliente son atendidas de la mejor manera posible
Nombre sugerido para la aplicación práctica de lo visto	Producción como transformación	Producción como flujo	Generación de Valor

Las TFV Teorías de la producción²

Cada una de las teorías presentadas forman parte de la filosofía Lean concibiendo los procesos como una transformación de entradas y salidas, como un flujo de información y recursos; y como la generación de valor para los clientes.

² Koskela, 2000

1.2 ¿Qué tipo de producción es la construcción?

Los sistemas de producción pueden ser clasificados de acuerdo a diversos factores. Una clasificación tradicional y encontrada con frecuencia en la literatura fue propuesta con Hayes y Wheelwright, conocida como la Matriz de Producto-Proceso o Matriz Volumen-Variedad.³

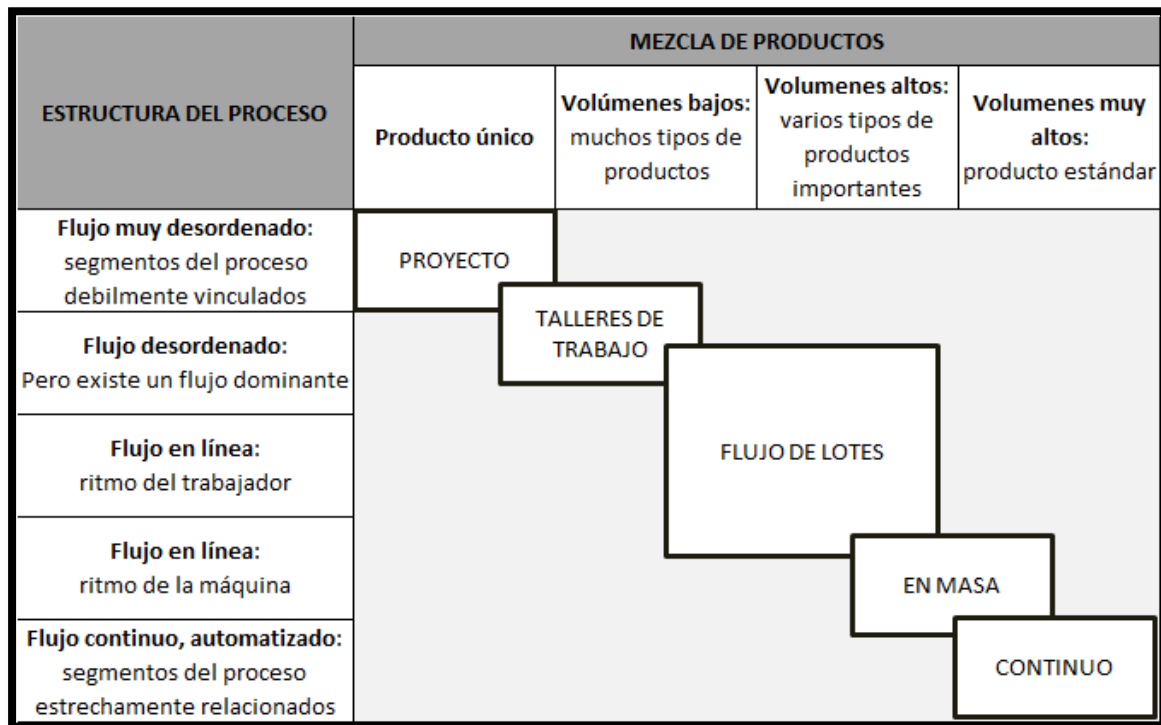


Imagen 1. Matriz de Producto-Proceso (Basado en Schmenner, 1993)

Dentro de esta clasificación, la construcción se define como un tipo de PROYECTO, y se caracteriza por tener un flujo muy desordenado y por ser productos únicos.

Según Slack et al. (1997), existen características peculiares que permiten distinguir un sistema de producción por Proyecto de otros tipos de sistemas de producción:

- a. Objetivo: Un resultado final y generalmente definido en términos de plazo, costo y calidad.
- b. Complejidad: Numerosas tareas son necesarias para la conclusión del proyecto, cuya coordinación puede ser compleja.
- c. Singularidad: Un proyecto suele ser único, aun cuando se repite, será diferente en relación a los recursos empleados y el medio ambiente en el que opera.

³ Fábio Kellermann Schramm, 2009

- d. Incertidumbre: Un proyecto es planificado antes de ser ejecutado, implicando riesgo.
- e. Temporal: Los proyectos tienen un inicio y un fin, se caracterizan por una concentración temporal de los recursos que al final del proyecto deben ser trasladados.

2. LEAN MANUFACTURING:

Lean Manufacturing, o Manufactura Lean (Producción Lean) es una filosofía que tiene sus orígenes en la empresa Toyota y la industria de automóviles. Se le conoce también como el Sistema de Producción de Toyota (TPS), esta nueva filosofía ve la producción como transformación, como flujo y como un proceso que agrega valor al cliente.

Los principios de la producción lean fueron desarrollados por el Ingeniero Taiichi Ohno, que trabajaba en Toyota. Su filosofía consistía en la eliminación de pérdidas y capacitación de los trabajadores, reducción de inventario y mejora de la productividad. En lugar de mantener los recursos con anticipación para la producción futura, como en el sistema de producción de Henry Ford, el equipo de Toyota construyó alianzas con los proveedores. Ohno quería diseñar automóviles a pedido del cliente; comenzando con esfuerzos para reducir el tiempo de configuración de la máquina y mejora en la gestión de calidad, además desarrolló una serie de objetivos para el diseño del sistema de producción: producir un automóvil de acuerdo a los requerimientos del cliente, entregar al instante, y no mantener inventarios⁴.

El sistema de manufactura lean se basa en 14 principios⁵:

1. Basar tus decisiones de gestión en sistemas de largo plazo, incluso a costa de objetivos financieros de corto plazo.
2. Crear un flujo de procesos continuos, de esta manera saldrán a relucir los problemas.
3. Usar el sistema de “jalar” para evitar la sobre producción.
4. Nivelar la carga de trabajo.
5. Implantar una cultura de “parar” la producción para solucionar los problemas, para obtener la calidad deseada la primera vez.
6. Las tareas estandarizadas son la base para la mejora continua.
7. Usar controles visuales para que los problemas no sean ocultados.

⁴ Gregory A. Howell 1999

⁵ Liker 2004

8. Usar tecnología fiable, que este probada y se sirve para el proceso y las personas.
9. Desarrollar líderes que entiendan verdaderamente el trabajo, vivan la filosofía, y se la enseñen a los demás.
10. Desarrollar personas excepcionales y equipos que sigan la filosofía de la empresa.
11. Respetar a sus socios y proveedores, desafíelos y ayúdelos a mejorar.
12. Ir y ver para entender verdaderamente la situación.
13. Tomar decisiones por consenso, considerando todas las opciones e implementa las decisiones rápidamente.
14. Convertirse en una organización de aprendizaje, haciendo reflexiones y a través de la mejora continua.

3. CONSTRUCCIÓN LEAN:

Lean Construction o Construcción Lean nace a comienzos de los años 90 a través del Ingeniero Finlandés Lauri Koskela, quien aplicó el modelo de la producción lean a la industria de la construcción en su tesis de doctorado “Application of the New Production Philosophy to Construction”. Esta nueva filosofía surge como respuesta ante las deficiencias que se tiene en la industria de la construcción: productividad, seguridad, calidad y medio ambiente.

Koskela define la Construcción Lean como: “Una forma de diseñar el sistema de producción para minimizar las pérdidas de materiales, tiempo, y esfuerzo para generar la máxima cantidad posible de valor”.

En la Industria de la Construcción se han rechazado varias ideas provenientes de la industria Manufacturera porque se cree que la construcción es diferente, los fabricantes hacen partes que van dentro de los proyectos, pero el diseño y construcción de proyectos únicos y complejos en un entorno incierto bajo la presión del tiempo es fundamentalmente diferente a hacer latas⁶.

Lo mencionado previamente tiene cierta lógica, no se busca implementar la producción lean tal como es concebida, se busca “adaptar” sus fundamentos a la construcción lean. Conseguir que el flujo de trabajo sea fiable y predecible en un lugar de construcción

⁶ Gregory A. Howell 1999

requiere la alineación impecable de cada suministro de tal manera que se maximice el valor y se reduzcan las pérdidas.

Si una técnica o herramienta proveniente de la manufactura lean cumple con los principios de la construcción lean, se puede considerar como parte del conjunto de herramientas disponibles para usarlas.

La construcción Lean inicia con un cambio en la forma de pensar de las personas. Generalmente en la construcción lo que se hace es tratar de mejorar los procesos individualmente pero se ignora que cada actividad se relaciona por flujos de materiales, mano de obra e información y que éstos esconden desperdicios que afectarán el desempeño del proyecto⁷.

Koskela menciona que la información y los flujos de materiales así como el flujo de trabajo tanto en el diseño como en la construcción deben ser medidos en función de sus desperdicios y del valor que agreguen.

Los objetivos de la construcción Lean son los siguientes (Howell, 1999):

- Diseñar en conjunto el producto y el proceso.
- Controlar la producción desde el diseño hasta su entrega.
- Reducir las actividades que no agreguen valor al producto.
- Reducir la variabilidad del proyecto.
- Maximizar el valor del proyecto atendiendo los requerimientos del cliente.

Los principios de la Construcción Lean son⁸:

- 1. Reducir la variabilidad:** Este es un principio fundamental que ha sido derivada a través de dos ramas, ingeniería industrial e ingeniería de calidad. En la teoría estadística de la calidad (Shewhart 1931), el objetivo es reducir la variabilidad de las características importantes del producto. En la teoría de “colas” basada en la comprensión de la producción (Hopp y Spearman, 1996), el objetivo es reducir la variabilidad temporal de los flujos de producción. Estos dos tipos de variabilidad interactúan de manera compleja.
- 2. Reducir los ciclos de tiempo:** Debido que la variabilidad expande los tiempos de ciclo, este principio puede ser utilizado como un conductor a la reducción de la

⁷ Karem Ulloa, 2009

⁸ Koskela et al, 2009

variabilidad. Sin embargo, la reducción de los tiempos de ciclo también tiene un valor intrínseco. Debido a la conexión conceptual entre el tiempo de trabajo en curso y el ciclo (expresado en la ley de Little), este principio es más o menos equivalente a la reducción de inventario. En la construcción, la reducción de los tiempos de ciclo se debe centrar en varios niveles de análisis: la duración total de la construcción, etapa en la que se encuentra la construcción, el flujo de materiales (de la fábrica hacia la instalación), y de la tarea (Koskela 2000).

3. **Reducción de tamaño de los lotes:** es una técnica efectiva para la reducción de la expansión de los tiempos de ciclo debido al procesamiento por lotes. En la construcción, se necesitan conceptualizaciones abstractas de "productos" que se pueden contar en un lote. Estos están predefinidos comúnmente como conjuntos empaquetados de las tareas realizadas en distintos espacios, tales como apartamentos (Sacks y Goldin 2007).
4. **Incrementar la flexibilidad:** Aquí flexibilidad puede estar asociada con la capacidad y competencia de la estación de trabajo, rutas, etc. Flexibilidad reduce los tiempos de ciclo y por otro lado, simplifica el sistema de producción. Reducción de los tiempos de preparación o de cambio aumenta la flexibilidad con tiempos de ciclo cortos.
5. **Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado:** En un sistema de "jalar" (pull), una actividad productiva es provocada por la demanda de un puesto de trabajo corriente abajo (o cliente), mientras que en un sistema de empuje, un plan de actividades empuja hacia la realización. El sistema de "jalar" ha llegado a estar estrechamente asociado al Lean. Sin embargo, en realidad la mayoría de los sistemas de control de producción son sistemas empujar-jalar mixtos, y la tarea es seleccionar el mejor método para cada etapa de la producción (Huang y Kusiak 1998). Nivelar la producción facilita las operaciones de un sistema de "jalar". En la construcción, el sistema de "empuje" se realiza a través de planes y programas. El Lookahead en el sistema Last Planner de control de la producción es un ejemplo de "jalar".
6. **Estandarizar:** La estandarización del trabajo sirve para varios objetivos. La variabilidad temporal por las características del producto se puede reducir, y permite la mejora continua. Los empleados también tienen el poder de mejorar su trabajo.
7. **Instituir la mejora continua:** A través de la mejora continua, se puede reducir la variabilidad, además la tecnología mejora. El método de la experimentación científica para la mejora fue sugerido por Shewhart (1931) que ahora se conoce como el ciclo de Deming.

8. **Utilizar Gestión Visual:** La Gestión visual está relacionada con la estandarización, la visualización de los métodos de producción permite fácil acceso a las normas y permite su cumplimiento. También está estrechamente conectada con la mejora continua, en la que la visualización de los procesos de producción permite la percepción de los trabajadores de los procesos y medidas de mejora.
9. **Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor:** Este principio pone énfasis en la importancia del diseño de los sistemas de producción (esta frase tiene la intención de cubrir también el desarrollo de los productos y la etapa de diseño). Es importante que el diseño del sistema de producción soporte el control de la producción y la mejora continua. Desde el punto de vista del valor, es importante garantizar la capacidad del sistema de producción.
10. **Asegurar la comprensión de los requisitos:** Este es el primer principio que aborda únicamente el concepto de generación de valor. Por razones obvias, la generación de valor requiere la comprensión integral de los requisitos. En la práctica, esta es una etapa notoriamente problemática.
11. **Centrarse en la selección de los conceptos:** Diseñar se divide en conceptos de diseño y detalles de diseño. El desarrollo de ambos conceptos y su evaluación debe ser enfatizado, ya que hay una tendencia a apresurarse con los detalles del diseño.
12. **Asegurar los requisitos de flujo descendente:** El siguiente reto desde el punto de vista de la generación de valor es asegurar que todos los requisitos de flujo, hasta las partes más pequeñas del producto, sean diseñadas y producidas.
13. **Verificar y Validar:** Además en el campo de la generación de valor, este principio recuerda que la intención no es suficiente, si no que todos los diseños y productos debe ser verificados de acuerdo a las especificaciones y validado con los requisitos del cliente.
14. **Ir y mirar por uno mismo:** Este principio enfatiza la importancia de la observación en persona, en vez de reportes o rumores (Liker 2003). Además, la tendencia tradicional en la construcción ha sido resolver los problemas in situ, este principio pretende enfatizar la importancia de las visitas de sitio para aquellas que usualmente no lo practican, como por ejemplo: gerentes, inversionistas, etc.
15. **Decidir por consenso, considerar todas las alternativas:** Este principio se deriva de la práctica de Toyota (Liker 2003). Al ampliar el círculo de quienes toman las decisiones, se puede garantizar una base de conocimientos más amplia para la toma de decisiones. Al ampliar el número de alternativas consideradas, se incrementa la probabilidad de encontrar la mejor solución posible.

16. Cultivar una extensa red de contactos: Este principio implica que se debe construir una amplia red de contactos. En la construcción, esto puede suceder en los proyectos (alianzas).

4. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS):

Lean Project Delivery System o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, es un marco conceptual desarrollado por Ballard (2000) que pretende trasladar los principios del sistema de producción de Toyota a la producción en la construcción.

Consiste en una serie de conceptos para la toma de decisiones, procedimientos para la ejecución de funciones, técnicas y métodos. Tiene por objetivo orientar a la ejecución de proyectos de construcción sin pérdidas.

El LPDS se representa mediante un modelo que contiene fases y módulos. Cinco fases son interdependientes por lo que comparten un módulo: la definición del proyecto, diseño lean, abastecimiento lean, ejecución lean y uso. El control de la producción y la estructuración del trabajo se extienden a lo largo de las cinco fases. La evaluación post-ocupación interconecta el fin de un proyecto con el inicio del siguiente.

El LPDS (Imagen 2) presenta un proyecto en fases y recomienda lo que se debe realizar en cada una de estas, este sistema fue creado para se cumplan con los objetivos principales del lean: producir el producto, mantener el flujo eficiente y generar valor al cliente.

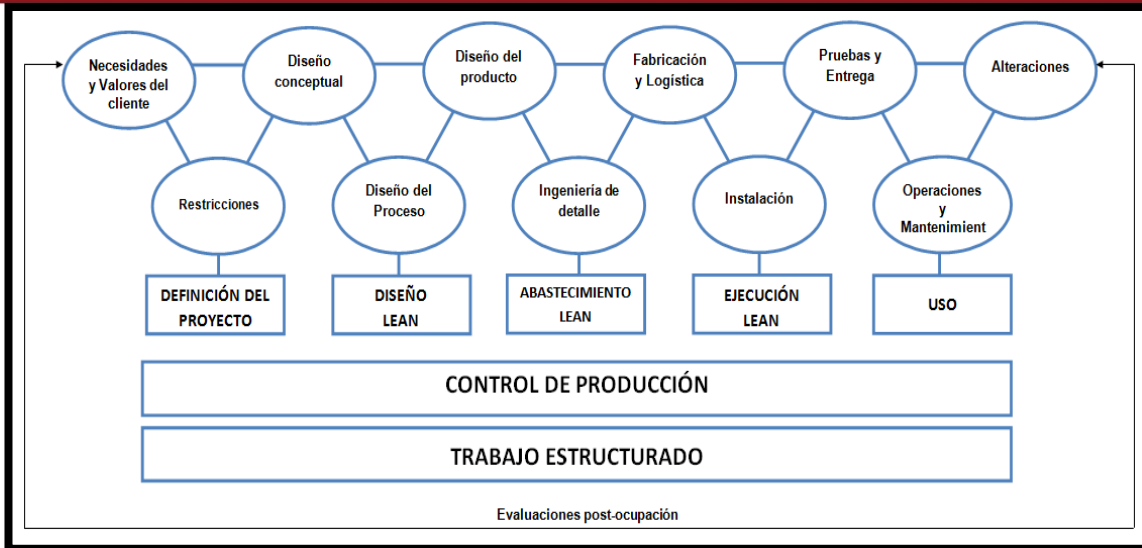


Imagen 2. Lean Project Delivery System (Ballard et al., 2000)

Cada una de las fases será desarrollada en el Capítulo 2.

5. EL CONCEPTO DE VALOR

Una de las principales metas y características de la filosofía Lean es la generación de valor al cliente, en la bibliografía de la filosofía se menciona casi siempre la palabra “valor”, diferentes autores mencionan que los proyectos deben generar la máxima cantidad de valor a los clientes, se establecen teorías donde se incluye este concepto, sin embargo habría que preguntarse ¿cuál es el concepto de valor? o ¿qué entendemos como valor? Si bien este concepto es usado por muchos autores, su definición no ha sido totalmente clara en los diferentes artículos propuestos por el Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC).

Es importante entender la diferencia entre el concepto de valor y valores: “Uno no es el plural del otro. Los valores son subjetivos porque son el marco de los juicios realizados por los individuos u organizaciones. Valor, por otro lado, se refiere a las evaluaciones acerca de los productos y pueden ser subjetivas si permanecen interiorizadas dentro de un individuo u organización, o de objetivo si se expresan. En este último caso, la evaluación y medida del valor puede informar de las acciones de gestión...Nuestros valores son los principios por los que vivimos. Son las creencias, la moral y los ideales de las personas y se reflejan en sus actividades y comportamientos en la sociedad” (Thomson et al. 2003).

Diferentes autores han dado opiniones importantes sobre el concepto de valor⁹:

- En la industria manufacturera, el valor es atribuido a los materiales, parte de los productos, y se define como la capacidad de proveer al cliente en el momento adecuado y a un precio apropiado el producto, tal como se definió en cada caso por el cliente. (Womack y Jones 1996).
- Desafortunadamente, el uso frecuente de “valor” entre los principios, también oculta el hecho que se diga muy poco sobre la forma de maximizar el valor. Simplemente, los autores utilizan términos imprecisos y poco sistemáticos, debido a la falta de conceptualización explícita (Koskela 2004).
- La gestión del valor en la producción lean intenta maximizar el valor y reducir las pérdidas (Bae y Kim 2007).
- Un producto con un estupendo valor puede ser producido en un proceso con muchas pérdidas. Contrariamente, un producto con una clara deficiencia de valor puede ser producido en un proceso libre de pérdidas. Desafortunadamente, no existe una directa conexión entre el valor y las pérdidas (Koskela 2004).
- La calidad es entregada considerando la percepción de valor del cliente y los involucrados del proyecto, y la reducción de defectos (Owen et al. 2006).

A pesar de varias definiciones y puntos de vista relacionados con el concepto de valor, en la actualidad no es posible llegar a un entendimiento general, que puede ser aplicado a un proyecto destinado a la entrega de valor a la sociedad como un todo¹⁰.

Debido que el concepto de valor pareciera no estar definido claramente entre los autores del IGLC, y entendiendo que el concepto de valor tiene una clara importancia para entender a nuestros clientes, se ha decidido tomar como referencia el concepto de valor desde el punto de vista del Marketing Estratégico, esta decisión se basa en que el marketing es la disciplina que analiza la gestión comercial de las empresas con el objetivos de captar y fidelizar a los clientes a través de la satisfacción de sus necesidades.

Philip Kotler (2008) en su libro “Dirección de Mercadotecnia” señala lo siguiente: “El valor supone la estimación por parte del consumidor de la capacidad de los productos para satisfacer sus necesidades”.

⁹ Jose Salvatierra-Garrido et al. 2009

¹⁰ Jose Salvatierra-Garrido et al. 2009

La definición del valor para el usuario conlleva¹¹:

- El valor es la estimación que hacen los clientes para medir la capacidad de un producto para satisfacer sus necesidades.
- Los clientes poseen un conjunto de necesidades.
- Cada producto del mercado posee una capacidad para satisfacer esas necesidades.
- El valor de cada producto dependerá de cuanto se acerque a la idea que tiene el cliente en su mente.
- El cliente decidirá en base a varios elementos o factores.
- El cliente hará una evaluación del precio a pagar y del beneficio a obtener.
- Finalmente el cliente escogerá aquello que le dé más por menos dinero.

El profesor Mohanbir Sawhney¹² en su artículo “Fundamentals of Value” señala lo siguiente: “Valor es la utilidad percibida del conjunto de beneficios que recibe un cliente a cambio del costo total de una oferta, teniendo en consideración otras ofertas y precios competitivos”. Además, menciona que existen siete aspectos fundamentales sobre el valor:

1. El valor es definido por los clientes.
2. El valor es “opaco”, al ser los clientes quienes definen el valor es muy difícil cuantificarlo. La mejor aproximación es por el entendimiento de todos los factores tomados en cuenta por los clientes, tratando de pensar de la misma forma que ellos lo harían. Si no logramos entenderlos, nos encontraremos en la oscuridad.
3. El valor presenta un carácter multidimensional, la elección de los clientes está basada tanto en beneficios emocionales como económicos.
4. Es un Trade-off entre costo y beneficio, el valor es el beneficio de algo en relación al costo total pagado por ello.
5. El valor posee un carácter según un contexto, el mismo producto puede ser valorado de distintas maneras por diferentes clientes.
6. El valor es relativo, los clientes evaluarán los productos en relación a lo comparado con los productos de la competencia.
7. El valor conlleva actitud, el valor lleva a la definición de la Gestión Basada en el Valor, corresponde a un enfoque integral para administrar un negocio y maximizar su beneficio económico.

¹¹ Cristian Ormazábal A.

¹² Sawhney, 2003

Finalmente, el valor es la utilidad que percibirá el cliente final acerca de un determinado producto, la medida del valor de un producto estará en relación al grado de satisfacción que el cliente encuentre en el producto. Para entender el valor percibido por el cliente, es necesario conocer a nuestro cliente, tratar de pensar como ellos y hacer un análisis de los beneficios que pueda ofrecer nuestro producto al cliente; como último hacer una evaluación post ocupación.

6. EL CONCEPTO DE PÉRDIDAS

Las pérdidas es uno de los conceptos claves en la Filosofía de Producción Lean. La reducción o eliminación de las pérdidas en los proyectos de construcción es uno de los objetivos principales de la filosofía Lean, Koskela define la Construcción Lean como: “Una forma de diseñar el sistema de producción para minimizar **las pérdidas** de materiales, tiempo, y esfuerzo para generar la máxima cantidad posible de valor”. Es decir, para poder aplicar y entender adecuadamente la filosofía también debemos entender el concepto de pérdidas, sin embargo en la literatura de Lean existe poco o nada sobre este concepto, diferentes autores han dado sus opiniones sobre el concepto de pérdidas¹³:

- Específicamente cualquier actividad humana que absorba recursos pero que no crea valor (Womack and Jones 2003).
- Cualquier cosa que agrega costo pero no valor (Drew et al. 2004).
- Los materiales generados y retirados de la construcción, renovación y demolición de los proyectos de construcción (Al-Hajj y Hamani, 2011).
- Actividades que toman tiempo, recursos o espacio pero no agregan valor desde la perspectiva the cliente final (Koskela, 1992).
- Las pérdidas directas son definidas como las pérdidas de los materiales que se encuentran dañados o que no pueden ser reparados para usarlos posteriormente, o que se pierden durante el proceso constructivo. Las pérdidas indirectas son distintas a las pérdidas directas porque normalmente representa pérdidas monetarias porque los materiales no se pierden físicamente (Skoyles, 1976).
- Cualquier pérdida producida por actividades que generen costos directos o indirectos pero no agreguen valor al producto desde el punto de vista del cliente (Formoso et al, 1999).
- Retrabajos debido a la falta de conformidad de los requerimientos (Hwang et al 2009).

¹³ Formoso Et Al, 2012

Como se ha podido comprobar líneas arriba, cada autor tiene su propia definición del concepto de pérdidas, muchas de las cuales no guardan concordancia una de la otra.

Para entender el concepto de pérdidas, se ha decidido tomar como referencia lo establecido por el Ingeniero Taiichi Ohno, quien desarrolló siete tipos de pérdidas como el núcleo del Sistema de Producción Toyota, conocido también como Lean Manufacturing.

Los Siete tipos de Pérdidas¹⁴:

1. **Sobreproducción:** Producir artículos para los cuales no existe demanda, o simplemente fabricar una cantidad superior a la demanda es un desperdicio muy común. La idea de producir grandes lotes para minimizar los costes de producción y almacenarlos en stock hasta que el mercado los demande, es un claro desperdicio, ya que utilizamos recursos de mano de obra, materias primas y financieros, que deberían haberse dedicado a otras cosas más necesarias.
2. **Sobre proceso:** Hacer un trabajo extra sobre un producto, el cual aportará unas cualidades por las que el cliente no está dispuesto a pagar o simplemente no le interesan, es un desperdicio que debemos eliminar, y que es uno de los más difíciles de detectar, ya que muchas veces el responsable del sobre proceso no sabe que lo está haciendo. Por ejemplo: limpiar dos veces, o simplemente, hacer un informe que nadie va a consultar.
3. **Defectos:** Todo el mundo entiende que los defectos de producción y los errores de servicio no aportan valor y producen un desperdicio muy grande, ya que consumimos materiales, mano de obra para reprocesar y/o atender las quejas, y sobre todo pueden provocar insatisfacción en el cliente.
4. **Transporte:** Cualquier movimiento innecesario de productos y materias primas ha de ser minimizado, ya que no aporta nada a la cadena de valor. El transporte cuesta dinero, equipos, combustible y mano de obra, y también aumenta los plazos de entrega. Cada vez que se mueve un material hay un riesgo de daños, y para evitarlo aseguramos el producto para el transporte, lo cual también requiere mano de obra y materiales.
5. **Inventario:** Es exceso de materia prima, trabajo en curso o producto terminado no agrega ningún valor al cliente, pero muchas empresas utilizan el inventario para minimizar el impacto de las ineficiencias en sus procesos. El inventario que sobrepase

¹⁴ Miquel Sanz, Javier Badia. Blog Actua3

lo necesario para cubrir las necesidades del cliente tiene un impacto negativo en la economía de la empresa y emplea espacio valioso. A menudo un stock es una fuente de pérdidas por productos que se convierten en obsoletos, posibilidades de sufrir daños, tiempo invertido en recuento y control y errores en la calidad escondidos durante más tiempo.

6. **Movimiento:** Todo movimiento innecesario de personas o equipamiento que no añada valor al producto es un despilfarro. Este despilfarro se puede confundir con el transporte, pero en este caso nos referimos a los movimientos dentro de un proceso, mientras que en el despilfarro de transporte nos referimos al movimiento entre procesos. La muda por movimiento está causada por un flujo de trabajo poco eficiente, un layout (distribución en planta) incorrecto y unos métodos de trabajo inconsistentes o mal documentados. Estos hacen que el operario se desplace más de lo que debería, que tenga que mover las materias primas de un lado para otro, etc., aumentando su cansancio y disminuyendo el tiempo dedicado a realizar lo que realmente aporta valor.
7. **Esperas:** Es el tiempo, durante la realización del proceso productivo, en el que no se añade valor. Esto incluye esperas de material, información, máquinas, herramientas, retrasos en el proceso de lote, averías, cuellos de botella. La causa más básica de tiempo de espera es un proceso desequilibrado, es decir, cuando una parte de un proceso corre más rápido que un paso anterior. Otra causa común de espera es cuando los materiales no están disponibles, ya sea debido a que los procesos de manipulación de materiales no funcionan eficazmente, o bien debido al agotamiento de las existencias por mala gestión de las compras y/o la poca sincronía con los proveedores.

7. Modelado de la Información de Construcción (BIM):

El Modelado de Información de la Edificación (BIM por sus siglas en inglés) es el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida utilizando un software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y tiempo real, para disminuir las pérdidas de tiempo y recursos en el diseño, construcción y operación.

La aplicación de Lean Construction y BIM no dependen una de la otra y pueden desarrollarse por separado. Sin embargo, hipotéticamente se puede alcanzar el completo

potencial para la mejora de los proyectos de construcción solo si se aplican integradamente¹⁵.

BIM incluye geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, y las cantidades y las propiedades del elemento constructivo¹⁶. BIM puede ser utilizado para ilustrar el proceso completo de edificación, de mantenimiento e incluso de demolición. Cantidades de materiales y propiedades compartidas pueden ser extraídas fácilmente. Además, ámbitos laborales, detalles de componentes y secuencias de actividades de construcción pueden ser aislados y definidos.

BIM utiliza un verdadero modelador de construcción paramétrico. Un modelo de construcción paramétrico combina un modelo de diseño (geometría y datos) con un modelo de comportamiento (gestión de cambios). Todo el modelo de edificio y el juego completo de documentos de diseño se encuentran en una base de datos integrada, donde todo es paramétrico y todo está interconectado. Para describir el modelado de construcción paramétrico se suele utilizar la analogía con una hoja de cálculo. Se espera que un cambio efectuado en cualquier lugar de la hoja de cálculo se actualice automáticamente en todos los demás. Lo mismo ocurre con el modelador de construcción paramétrico: auto coordinación de la información en tiempo real en cada una de las vistas del modelo. Nadie espera tener que actualizar manualmente una hoja de cálculo. De forma similar, nadie debe revisar manualmente un documento ni tabla de planificación de un modelador de construcción paramétrico¹⁷. Es decir, en el diseño de una pared, por ejemplo, puede especificar no sólo sus parámetros geométricos tales como el grosor, la longitud y la altura, sino también los detalles de los materiales que lo componen, las propiedades térmicas y acústicas, costos de materiales y costos de construcción, entre otros.

Componentes de BIM¹⁸:

- Building (Construcción): Formas, Funcionalidad, Espacios, Estructuras y Construcción.
- Information (Información): Conjunto de datos, Ingreso de Información, extracción de información, materiales y especificaciones.
- Modeling (Modelado): Representación, Modelamiento, Virtualidad y Pre-Construcción.

¹⁵ Koskela, 2010

¹⁶ Glosario Instituto de Lean Construcción

¹⁷ Julio Obando, 2011.

¹⁸ Julio Obando, 2011.

El uso de BIM es transversal debido a que puede ser usado en todas las etapas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean, desde la concepción del proyecto hasta su uso, tal y como lo ilustra la siguiente imagen:

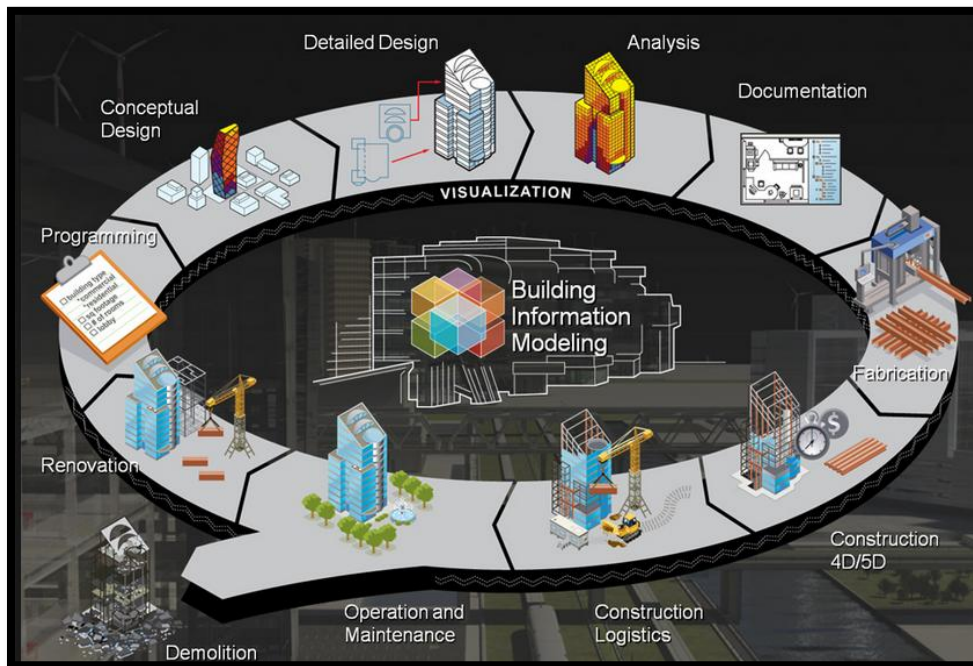


Imagen 3. BIM se presenta en todas las etapas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (Bexel Consulting, 2013)

En la Definición del proyecto permite evaluar con mayor eficiencia los diferentes partidos arquitectónicos; en el Diseño nos facilita el trabajo multidisciplinario, evita las iteraciones negativas y los reprocesos; en el Abastecimiento nos ayuda con los metrados y presupuestos, en la Ejecución y Control nos ayuda con la visualización de los procesos y la mejora de comunicación con los last-planners; y en la ocupación nos puede facilitar la capacitación de los usuarios en el mantenimiento. Es por eso que existe una estrecha relación entre LEAN y BIM¹⁹.

El uso de BIM dentro del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS) ayuda a alcanzar los principios de la construcción Lean. Para la presente tesis no se ha considerado el uso de BIM dentro del inventario de las herramientas ya que no es correcto categorizar al BIM como una herramienta, el BIM se encuentra en la misma línea o nivel que Lean, como una filosofía y con herramientas para su aplicación.

¹⁹ Diego Fuentes, 2013

CAPÍTULO 2

FASES, MÓDULOS Y HERRAMIENTAS EN LA CONSTRUCCIÓN LEAN

1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO:

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



La definición del proyecto es la primera fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- Determinación de las necesidades y valores del cliente.
- Análisis de las restricciones para definir el proyecto, llamada también criterios de diseño.
- Selecciona la menor alternativa de diseño conceptual, el cual debe encontrarse de acuerdo a las restricciones, necesidades y valores del cliente.

Esta etapa se realiza involucrando a todas las partes interesadas, como por ejemplo, los inversionistas, promotores, quienes hacen posible la realización y financiamiento del proyecto. El usuario final, quien será el que hará uso del producto. Además se tienen a las entidades gubernamentales, que dictan los reglamentos y normas, y por último se encuentra el equipo de diseño.

La fase de definición del proyecto se encuentra a cargo del propietario y el gerente del proyecto, el cual deberá consultar al equipo de diseño y tomar las decisiones juntas con los demás involucrados en el proyecto.

El equipo de diseño debe ser multidisciplinario, en otras palabras debe estar conformado por los diversos especialistas necesarios en el proyecto, por ejemplo, el Ingeniero estructural, Arquitecto, Constructor, Ingeniero eléctrico, entre otros.

Finalmente, el equipo de diseño será el encargado de capturar las necesidades y valores del cliente, establecer las restricciones del proyecto y proponer los diseños conceptuales. El mejor diseño conceptual servirá de base para el desarrollo del diseño lean.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS:

1. Necesidades y Valores del cliente:

Necesidades y Deseos:

Es un componente básico de todo ser humano, y reflejan el estado de privación del cliente, pueden ser físicas, sociales o de autorrealización. Los deseos, son la forma que adoptan las necesidades moldeadas por la cultura y personalidad del cliente²⁰. Por ejemplo, las personas que se hospedan en un hotel necesitan una habitación para dormir, una puede desear que tenga televisión con cable, internet; por otro lado otra desea una habitación con una cama y baño limpio, ambas necesitan lo mismo, pero sus deseos son diferentes, No es posible influir sobre las necesidades ya que son propias de la naturaleza humana, sin embargo es posible influir en los deseos.

Valor:

Es la utilidad que percibirá el cliente acerca de un determinado producto, la medida del valor de un producto estará en relación al grado de satisfacción que el cliente encuentre en el producto. Para entender el valor percibido por el cliente, es necesario conocer a nuestro cliente, tratar de pensar como ellos y hacer un análisis de los beneficios que pueda ofrecer nuestro producto al cliente.

Como se observa ambos términos están relacionados, dado los deseos y recursos del cliente, demandará un producto que le produzca el mayor valor posible.

²⁰ Kotler, 2008

Tipos de cliente en el proyecto:

Cliente interno: Persona que pertenece al proyecto, de las cuales se tienen:

- Inversionista: Persona o empresa, que realiza una inversión monetaria al proyecto.
- Projectistas: Personas encargadas de realizar el proyecto, teniendo en cuenta las diversas especialidades (estructuras, arquitectura, instalaciones).
- Constructor: Persona encargada de producir el producto.
- Proveedores: Personas o empresa encargadas de abastecer lo requerido en el proyecto.

Cliente externo: Es la persona que recibe el producto final, se tiene:

- Usuario Final: El individuo involucrado en el proyecto que recibirá los resultados finales del producto requerido u ofrecido.

2. Restricciones del Diseño:

En esta fase se delimitan todas las restricciones que podría presentarse en el producto, las cuales se podrían dividir en dos grupos:

- Normas: Reglas o normas que cada país posee para el diseño de una construcción, el equipo del diseño del proyecto debe tenerlas como conocimiento.
- Condiciones de sitio: El diseño debe condicionarse a los parámetros del lugar en el que se ubicará el proyecto.

3. Conceptos de Diseño:

Fase última de la definición del proyecto, en donde se han fijado previamente los objetivos del diseño y alineado las restricciones con los requerimientos del cliente.

Son aquellos conceptos que deben tenerse como información para el diseño del proyecto, para ello es necesario conocer las necesidades del cliente.

1.3 HERRAMIENTAS:

H-1. Matriz de selección del Equipo de Diseño:

Descripción:

El equipo de diseño es parte fundamental para la fase de definición del proyecto, Orihuela et al 2011 presenta una matriz para la selección de los profesionales que conformarán el equipo de diseño del proyecto, en esta matriz no solamente se tiene en cuenta la tarifa profesional, si no también algunos criterios cualitativos.

En la matriz se coloca la especialidad del profesional en búsqueda, luego su nombre y tarifa profesional. En el área de ponderación, se colocan aquellos criterios importantes a considerar sobre el trabajo o desempeño de la persona, estos criterios podrían variar dependiendo de los especialistas, o dependiendo del tipo de proyecto. Finalmente se tiene un puntaje total, el cual será calculado mediante la multiplicación del puntaje obtenido en cada columna de los criterios por la ponderación considerada por la empresa (fila sobre Desempeño). La selección del especialista será basada entre el puntaje total y la tasa de costo profesional.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo para la selección del Ingeniero Estructural del proyecto:

En el ejemplo (Imagen 4) se puede observar que los criterios más importantes para la empresa es el grado de experiencia del profesional y tiempo de entrega del trabajo. El puntaje total se ha determinado mediante una simple multiplicación:

$$\text{Puntaje total} = 4 \times 5 + 4 \times 5 + 2 \times 3 + 1 \times 3 + 2 \times 2 + 5 \times 3 = 68$$

La matriz muestra que se debe elegir al Ingeniero Paul Solano por obtener el mayor puntaje entre los tres y además su tarifa profesional no posee mucha variación entre las otras dos alternativas.

Especialidad	Nombre	Tasa de costo profesional (\$/m2)	Ponderación de criterios cualitativos (1 a 5)							Selección
			Conocimiento	Experiencia	Disponibilidad	Imagen	Flexibilidad	Tiempo de entrega	Puntaje total	
			4	5	3	1	2	5		
			Desempeño							
Ingeniero Estructural	Jhon Stevens	\$1.6	2	2	3	1	2	4	54	
	Paul Solano	\$1.6	5	4	2	3	2	3	68	Ok
	Kenji Tanaka	\$1.4	3	2	1	4	2	2	43	

Imagen 4. Matriz de selección del equipo de diseño (Orihuela et al., 1993)

H-2. Cuaderno de diseño:

Descripción:

La comunicación del equipo multidisciplinario es importante para la fase de definición del proyecto, pues es necesario que todos los involucrados aporten sus opiniones, conozcan sobre todos los cambios que se realicen, aporten información que agreguen valor al proyecto, entre otros.

Por lo general, los profesionales involucrados en el equipo de diseño no pertenecen a una misma empresa, cada persona maneja una agenda distinta. Para mantener informados a todos los involucrados se presenta el cuaderno de diseño en línea, esta herramienta permite mantener una comunicación detallada entre los involucrados. Orihuela et al. 2011 proponen un cuaderno de diseño en línea se especifica la persona que sube un archivo o realice una consulta, además de la persona o personas a las que se les dirige el mensaje. Luego se coloca el asunto del mensaje y lo más importante la descripción del mensaje donde se redacta el tema que se debe tratar por ejemplo el envío de planos modificados, reuniones con el cliente, información requerida, entre otros. Por último, se tiene la posibilidad de adjuntar un archivo.

Ejemplo de aplicación:

La Imagen 5 muestra un ejemplo del cuaderno de diseño en línea, en donde podemos observar que el Arquitecto Salas le envió una modificación del diseño al Ingeniero Gómez, la modificación consiste en un cambio de diseño de la escalera; así se mantiene una comunicación entre los especialistas y evita pérdida de información entre los mismos.

Item	De	Para	Fecha	Asunto	Descripción	Archivo	Respuesta
4	Arq. Ramirez	Ing. Lazo	04/04/2010	Proyecto arquitectónico	Adjunto el proyecto de arquitectura, por favor revisar las secciones		<input type="checkbox"/>
3	Arq. Salas	Ing. Gómez	15/02/2010	Rediseño	Adjunto un nuevo diseño de escalera al estructural por favor recalcular		<input type="checkbox"/>
2	Ing. Gómez	Todos	25/01/2010	Reunión del grupo de arquitectura	Se requiere definición del tipo de ladrillos y de losas de techo, adjunto información.		
1	Arq. Ramirez	Todos	12/01/2010	Reunión con el propietario	Habrà una reunión con el propietario para definir los acabados.		

Imagen 5. Cuaderno de diseño (Orihuela et al., 2011)

H-3. Matriz de necesidades y valores del inversionista:

Descripción:

Como se ha mencionado anteriormente, es importante para la definición del proyecto conocer las necesidades del cliente, en este caso se presenta una matriz en donde se formalizan las necesidades del inversionista.

Es lógico pensar que el inversionista buscará rentabilidad en el proyecto en el que se involucra, además la imagen que podría proyectar por su inversión; es por ello que en la matriz propuesta por Orihuela et al. 2011, sugieren considerar como sus necesidades la rentabilidad e imagen. Una vez establecidas sus necesidades se procede a establecer los indicadores para estas, como la cantidad que desearía invertir o la rentabilidad mínima que desea obtener del proyecto y la métrica (medida) de cada indicador. Además es necesario darle una ponderación a las necesidades para priorizar las necesidades con mayor puntaje.

Ejemplo de aplicación:

En el ejemplo mostrado para un inversionista se podrían extraer algunos datos importantes como la cantidad máxima a invertir (2 000 000 dólares), el deseo de un 18% de tasa rentabilidad mínima. En otro lado este inversionista desea una reputación favorable y posee una conciencia social. La ponderación nos muestra que la rentabilidad es el punto más importante para el inversionista.

Basándose en los datos de rentabilidad de la matriz, el equipo de diseño podría introducirlos durante la realización del flujo de caja del proyecto.

	Necesidades y Valores	Indicador	Métrica	Ponderación (1 a 5)
INVERSIONISTA	Rentabilidad	Fondos	\$ 2 000 000	5
		Plazo de inversión	18 meses	
		Tasa de Rentabilidad mínima	18%	
		Utilidad mínima	\$ 15 000 000	
		Nivel de riesgo	Tolerable	
		Margen mínimo	15%	
	Imagen	Posicionamiento	No	3
		Responsabilidad social	Si	
		Reputación	Si	

Imagen 6. Matriz de necesidades y valores del inversionista (Orihuela et al., 2011)

H-4. Matriz de necesidades y valores del usuario final:

Descripción:

Esta matriz propuesta por Orihuela et al. 2011, es similar a la mostrada anteriormente (H-3), con la diferencia que muestra las necesidades del usuario final. En esta matriz se divide las necesidades del usuario en cinco: precio, confort, estética, seguridad y garantía. Para cada una de estas cinco necesidades es importante establecer los indicadores y la métrica para conocer mejor al cliente. Además de la ponderación que permite conocer las necesidades más importantes para el cliente.

Ejemplo de aplicación:

En el ejemplo se muestra la matriz para un usuario final de un departamento de vivienda en donde se puede extraer datos como que el cliente se encontraría dispuesto a pagar hasta 90 000 dólares, desearía adquirir un departamento de tres dormitorios con un área entre 65 a 80 m². Según la ponderación, el cliente le da mayor importancia al confort, el precio a pagar y seguridad de la vivienda.

Los datos de la matriz permiten al equipo de diseño conocer a su cliente, y aplicarlos en el proyecto. El arquitecto usaría los datos de áreas, acabados, número de dormitorios al bosquejar los departamentos, el precio de compra es un factor importante para establecer el sector en el cual se está trabajando, si se podría aplicar a un crédito Mi Vivienda, entre otras cosas.

	Necesidades y Valores	Indicador	Métrica	Ponderación (1 a 5)
USUARIO FINAL	Precio	Precio de compra	\$ 90 000	4
		Financiamiento	40-60%	
	Confort	Zona	Tranquila	5
		Vista	Hacia el exterior	
		Iluminación	Buena	
		Ventilación	Buena	
		Aislamiento acústico	Mediano	
		Baños/cocinas acabados	Mediano	
		Área	65 a 80 m2	
	Estética	N° de dormitorios	3	3
		Estética exterior	Exterior de ladrillo	
		Estética interior	Enchapado/empapelado	
		Baños/cocinas acabados	Estándar	
	Seguridad	Diseño estructural	Verificable	4
		Material	Marcas de garantía	
		Proceso constructivo	Controles de garantía	
	Garantía	Soporte	Todo el tiempo	3
Servicio post-venta		Rápido		

Imagen 7. Matriz de necesidades y valores del inversionista (Orihuela et al., 2011)

H-5. Base de datos y repositorios:

Descripción:

Para agilizar la Definición del Proyecto se debe proponer como parte del inventario de herramientas tener una base de datos de los recursos del mercado, es decir un catálogo de materiales, proveedores, fichas técnicas, etc., que ayuden a tener alternativas de recursos para los miembros del equipo de diseño.

Además, es necesario conocer la información de los requerimientos del proyecto (restricciones), por lo que en la base de datos se pueden encontrar documentos como:

- Reglamento nacional de edificaciones
- Norma de concreto armado
- Requerimientos de las municipalidades.
- Ratios de construcción.
- La base de datos debe ser actualizada constantemente para evitar futuros retrabajos.

Ejemplo de aplicación:

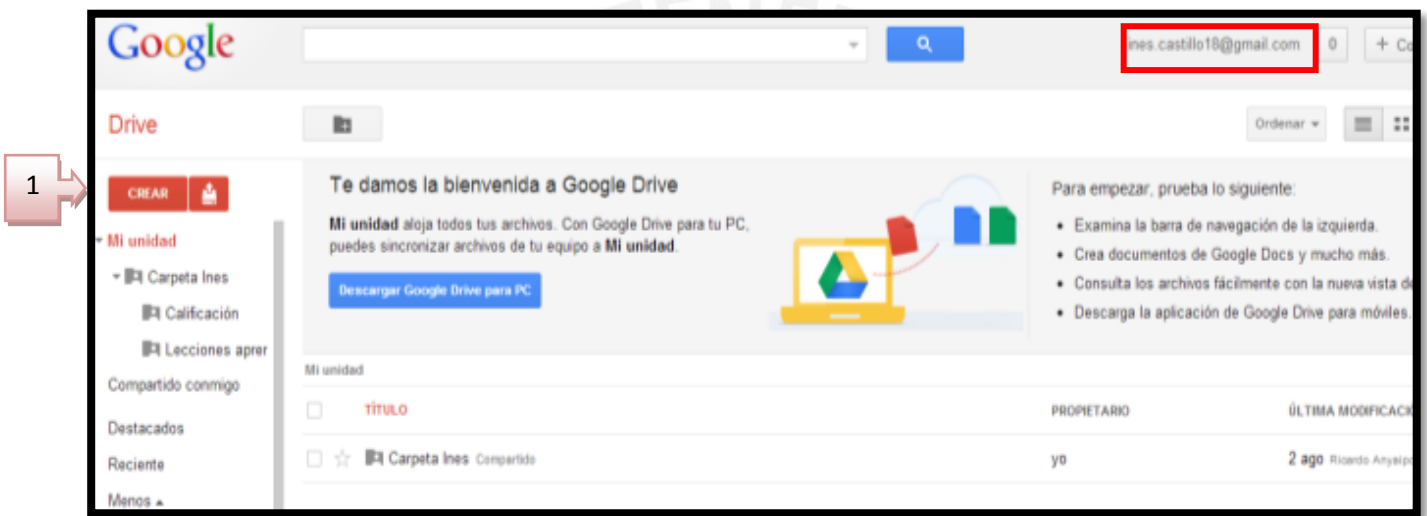
Cada empresa podría diseñar su propia base de datos, con las características que crea conveniente. Se muestra un ejemplo de base de datos sencillo, para el cual solo es necesario que los involucrados posean un correo Gmail.

Google drive es un servicio gratuito que permite almacenar los archivos en un solo lugar y poder acceder a ellos desde cualquier computadora con internet (para ello se necesita la cuenta Gmail). Además, si alguien realiza un cambio (por ejemplo: ratios de construcción) será visto en tiempo real por todos los involucrados ya que permite compartir las carpetas con las personas que se requieran. Si no se desea que los archivos puedan ser alterados, permite restringir el archivo y solo compartirlo para ser visto.

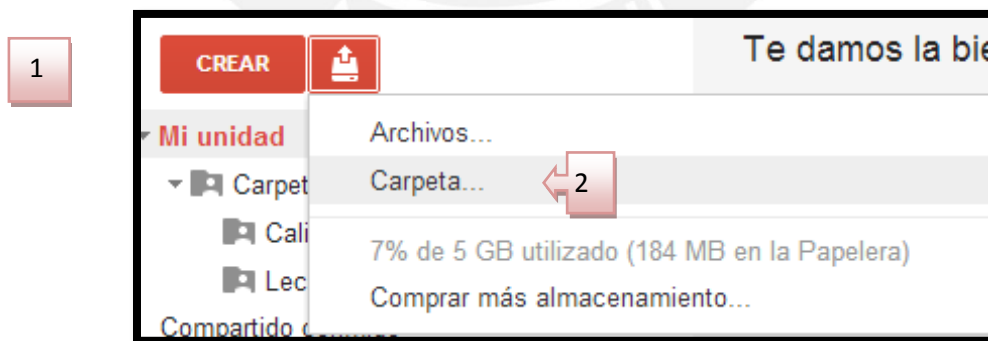
Se muestra el uso de esta herramienta:

Interfaz de bienvenida a Google drive:

Correo Gmail

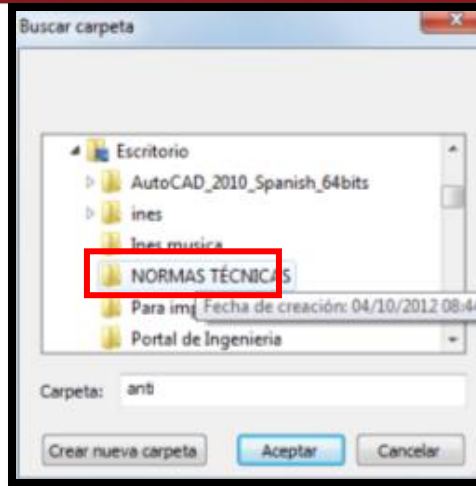


Se añade la carpeta con los archivos que se desea compartir:



Se elije la carpeta, para el presente ejemplo se tenía una carpeta con las normas técnicas peruanas:

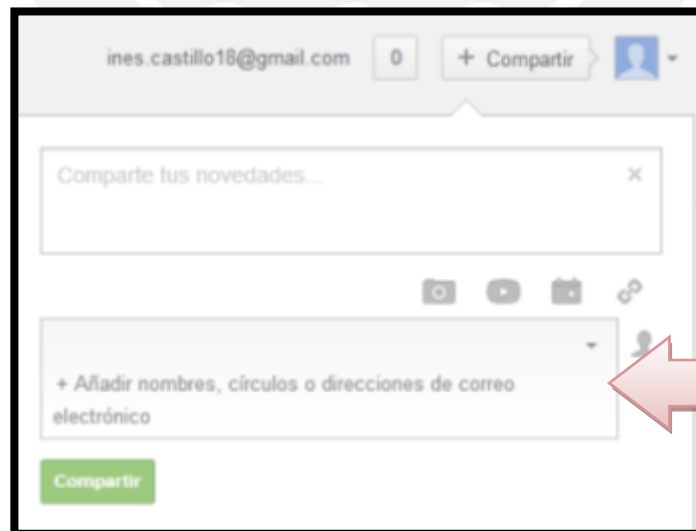
2



Los archivos se encuentran en la red:



Posibilidad de compartir los archivos con las personas que se deseen:



Colocar correo electrónico de las personas involucradas

Imagen 8. Base de datos en Google Chrome (Propia)

Como se mencionó anteriormente, cada empresa podrá tener su propio diseño de una base de datos, en este ejemplo se ha tratado de mostrar una base de datos sencilla y fácil de usar.

H-6. Matriz de Alineación de Propósitos:

Descripción:

El diseño conceptual será realizado alineando las necesidades del cliente con las restricciones del proyecto.

Para establecer la relación entre las necesidades del cliente y las alternativas de diseño del proyecto que se proponen, Orihuela et al. 2011, proponen una matriz de alineación de propósitos. En la matriz se coloca en una columna izquierda lateral las necesidades del cliente (inversionista y usuario final) y su ponderación, además se colocan las alternativas de diseño en una fila superior. Luego se realizará una ponderación de cada alternativa ante la necesidad del cliente (1-5). El resultado final se halla mediante la multiplicación de la ponderación que el cliente da a sus necesidades y la ponderación que el cliente da a cada alternativa de diseño.

La matriz de alineación de propósitos permite mediante el valor del resultado final determinar que alternativa de diseño conceptual se adecua de mejor manera a las necesidades de ambos clientes (inversionista y usuario final). Considerar las demandas del cliente en el diseño del proyecto genera valor para los clientes.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de la matriz en mención en donde las necesidades se han determinado mediante las matrices del inversionista y usuario final (H-3 y H-4).

El equipo de diseño ha sugerido tres alternativas para el diseño del proyecto. El cliente luego de analizar cada alternativa, dará una ponderación de 1 al 5 para cada recuadro que relacione su necesidad entre la alternativa propuesta.

Para el grado de alineamiento se realiza la siguiente operación:

$$\text{Puntaje total} = 5 \times 2 + 5 \times 3 = 25$$

Cuando se finaliza de completar la matriz y el cálculo de los puntajes finales. La decisión final debe estar basada en el grado de alineamiento del dueño y usuario final. Para el ejemplo, se elegiría la alternativa 3, si bien la alternativa 1 es muy conveniente para el usuario, el dueño no sale beneficiado con respecto a su rentabilidad, del otro lado la alternativa 2 sería la más conveniente para el dueño pero con el usuario pasa lo contrario. Sin embargo la alternativa 3 parece encontrar un equilibrio entre las necesidades del cliente y el usuario.

	Necesidad y valores	Valor de ponderación (1 al 5)	Desempeño de los conceptos de diseño (1 a 5)		
			Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
DUEÑO	Rentabilidad	5	2	5	3
	Imagen	3	5	3	4
	GRADO DE ALINEAMIENTO		25	34	27
USUARIO	Precio	4	5	2	3
	Confort	5	5	2	4
	Estética	3	4	5	3
	Seguridad	4	5	5	5
	Garantía	3	4	4	4
	GRADO DE ALINEAMIENTO		89	65	73

Imagen 9. Matriz de alineación de los propósitos (Orihuela et al., 2011)

H-7. Despliegue de la función de calidad (QFD):

Descripción:

Herramienta propuesta por el Dr. Yoji Akao 1978, la cual permite traducir la voz del cliente en parámetros de diseño para que estos puedan desplegarse durante el desarrollo del proyecto. Esta herramienta busca involucrar al cliente durante el desarrollo del producto lo antes posible, desarrollando los procesos en respuesta a las necesidades del cliente. En resumen, traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización debe producir.

La metodología de QFD es la siguiente:

- Realizar un listado con las necesidades del cliente, estas pueden ser extraídas a través de una matriz de necesidades del cliente (H-3, H-4), un cuestionario, evaluaciones post-ocupación, etc.

- Jerarquizar su importancia usando una escala del 1 al 5. En donde los puntajes mayores representan las necesidades del cliente más importantes.
- El equipo de diseño establece los parámetros de diseño (requisitos técnicos) que lograrían satisfacer las demandas del cliente.
- Establecer una correlación de dependencia entre los requisitos técnicos. Esta correlación puede ser de dos tipos (1) de naturaleza complementaria (+) y (2) de naturaleza contraria (-)
- Se genera la matriz de relaciones entre las necesidades del cliente y los parámetros de diseño, utilizando una escala de Saaty 9-3-1, en donde el 9 indica una relación entre el parámetro de diseño y la necesidad del cliente. El 3 indica una relación menos fuerte y el 1 para una relación débil.
- El resultado final se haya mediante la multiplicación de los valores que el cliente otorga a sus necesidades (1-5) por el valor de relación entre el parámetro de diseño y la necesidad (1,3 o 9).
- Realizar las conclusiones necesarias.

El QFD permite comparar nuestro producto terminado con el de la competencia; para lo cual, se coloca un gráfico al lado derecho de la matriz con la calificación que el cliente da a nuestro producto y al de la competencia, la calificación se da en una escala del 1 al 5.

Además, al final de la matriz se le podría agregar una fila de objetivos a los que se desea llegar por cada parámetro de diseño, los cuales deben estar en las unidades correctas y deben apuntar a valores específicos que satisfagan o superen las expectativas de los clientes.

Ejemplo de aplicación:


Se planea construir una casa de 3 pisos para lo cual el cliente ha solicitado lo siguiente (necesidades):

- Buena iluminación
- Buena ventilación
- Aislamiento Acústico
- Sin fisuras
- Buenos acabados

Se determinaron los parámetros de diseño:

- Grandes Vanos

- Sistema de concreto armado
- Ambientes amplios
- Enchape de porcelanato



		Importancia	PARÁMETROS DE DISEÑO			
			Grandes vanos	Concreto Armado	Ambientes Amplios	Enchape porcelanato
NECESIDADES DEL CLIENTE	Buena iluminación	5	9			
	Buena ventilación	4			9	
	Aislamiento Acústico	3		3		
	Sin Fisuras	3		6		
	Buenos acabados	5				9
			45	27	36	45

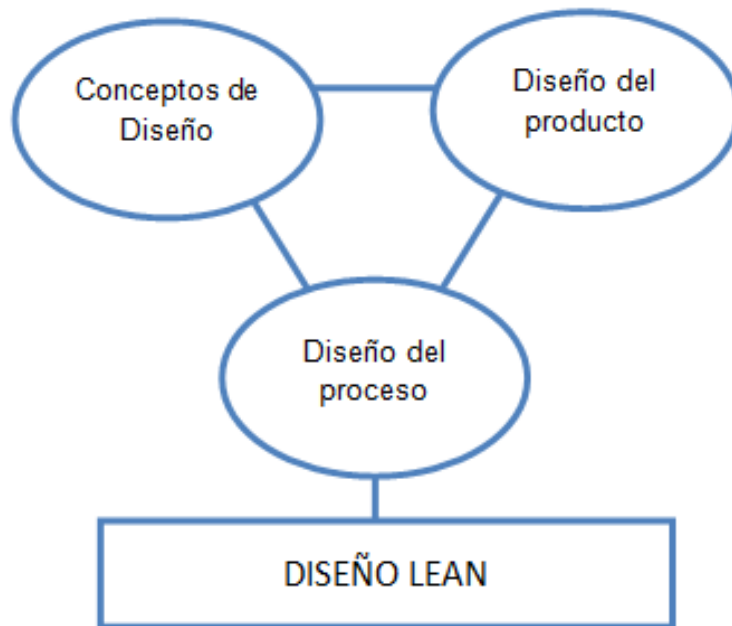
Imagen 10. Despliegue de la función de calidad (Propia)

Al realizar la evaluación final se logra concluir lo siguiente:

- Es importante que en el diseño se considere vanos altos para las ventanas puesto que esto logrará satisfacer las necesidades de buena iluminación y ventilación de la vivienda.
- Además se debe considerar enchapar los pisos y paredes en los ambientes que sea necesario para darle un buen acabado a la vivienda, también podría considerarse un enchape de mayor calidad si el cliente acepta el costo extra por los materiales.

2. DISEÑO LEAN:

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



El diseño lean es la segunda fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- Diseño conceptual.
- Diseño del proceso.
- Diseño del producto.

La fase de Diseño Lean se encuentra a cargo del equipo de diseño, los cuales son responsables no solo del diseño del producto si no también del diseño del proceso. El diseño del producto y proceso son realizados para lograr alcanzar las metas TFV.

El equipo de diseño tendrá como base el diseño conceptual realizado en la fase previa (definición del proyecto), el cuál será modificado de acuerdo a los criterios del equipo, obteniendo un diseño final del proyecto. Los objetivos del Diseño Lean²¹:

- Controlar los objetivos de tiempo y costo del proyecto, y la meta de reducir las pérdidas sin disminuir el valor.
- Diseño final del proyecto.
- Capturar y hacer accesible el diseño de las instalaciones.
- Minimizar la pérdida de valor mediante el transcurso de las fases del proyecto.

²¹ Ballard y Zabelle, 2000

El LCI propone los siguientes procesos para el diseño Lean:



Imagen 11. Procesos del Diseño Lean (Ballard et al.,2000)

1. Organizarse en equipos multidisciplinarios: Al igual que en la fase de definición del proyecto es necesario las reuniones y las opiniones de todos los involucrados del proyecto. El equipo multidisciplinario será el encargado de diseñar el proceso y el producto.
2. Seguir una estrategia basada en múltiples alternativas: Antes de tomar la decisión debemos analizar y estudiar diferentes opciones hasta escoger el más adecuado.
3. Estructurar el trabajo de diseño para acercarse al ideal "lean": Diseño del proyecto buscando asegurar las metas de las tres teorías de producción que involucra la filosofía lean (transformación, flujo y valor).
4. Minimizar las iteraciones negativas: Los re-trabajos son llamados en "lean" iteraciones, existen iteraciones negativas y positivas. Las positivas se refieren a aquellas que agregan valor al producto, y las negativas generan pérdidas, por lo que se busca minimizarlas o eliminarlas.
5. Usar el sistema del último planificador para el control de producción: Este sistema consiste en que una persona realice un trabajo como último nivel de planificación, por lo que sus instrucciones van dirigidas a los responsables directos de la tarea. En la fase de diseño, el rol del último planificador se encontrará a cargo del coordinador del proyecto o jefe del equipo, puesto que será esta persona el encargado de asignar las actividades a los responsables.
6. Usar tecnologías que faciliten el diseño "lean": Uso de BIM e intranets.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS:

3. **Conceptos de diseño:** Este módulo fue explicado en la fase de definición del proyecto.
4. **Diseño del producto:** Consiste en el diseño del producto, es decir en todos los componentes que le darán valor al cliente. Para un proyecto de edificación significa el diseño de los planos estructurales, arquitectónicos, instalaciones, etc. Los cuales se deben encontrar debidamente compatibilizados.
5. **Diseño del proceso:** Consiste en estructurar la organización del proyecto, definir los pasos y medios para realizar las diferentes actividades del proyecto. El diseño del proceso involucra pensar en todas las operaciones que se realizarán durante la construcción y definir como se realizará cada una de éstas.

2.3 HERRAMIENTAS:

H-8. Cuaderno de diseño:

El cuaderno de diseño es igual al presentado en la fase de definición del proyecto. Herramienta H-3.

H-9. Reportes A3:

Descripción²²:

Los reportes A3 son documentos creados por la empresa Toyota y su nombre de A3 se debe al tamaño del papel (28x43 cm). En la empresa Toyota, los reportes A3 registran el proceso Plan-Do-Check-Act (PDCA) o Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), sirven como herramienta de gestión del conocimiento en todos los niveles de la empresa. PHVA es una metodología de mejora continua.

La etapa de Plan establece los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los resultados esperados. La etapa de Hacer contempla la ejecución del nuevo proceso. Los cambios de la aplicación del nuevo proceso se miden en la etapa de Verificar, además de la comparación de los resultados del nuevo proceso contra los resultados esperados y así determinar las diferencias. Finalmente, las diferencias se analizan en la etapa de Actuar para determinar su causa y si los resultados se desvían de

²² Tommelein et al. 2009

las expectativas, el alcance al que se aplica PHVA se refina hasta que la mejora se realiza.

En los proyectos de construcción, existe información constantemente que va cambiando cíclicamente por parte de todas las especialidades, equipos, jerarquías y de ida y vuelta todo el tiempo. El equipo que esté estudiando un determinado problema, necesita comunicarse con los equipos afectados por su estudio, e incorporar su información y dudas en la solución. Los reportes A3 permiten una comunicación extensiva realizada rápidamente y efectivamente, y crea transparencia en el proceso de decisión. Los reportes A3 son breves. Están diseñados para presentar un resumen del aprendizaje adquirido en el proceso de investigación del problema, junto con las recomendaciones respectivas. Las representaciones gráficas del problema pueden eliminar miles de palabras y el tiempo asociado de la explicación.

Pasos del proceso de reportes A3		
Pasos	Definición	Etapas
0	Identificar el problema	PLAN
1	Realizar investigaciones para entender la situación actual para lo cual se puede observar los procesos de trabajo, realizar diagramas para entender el trabajo realizado, cuantificar el problema y si es posible representar los datos gráficamente.	
2	Analizar la raíz del problema, para lograrlo se podría hacer una lista de los motivos (¿Por qué?) del problema.	
3	Hallar las acciones que ayuden a solucionar el problema.	
4	Las acciones darán lugar a nuevas formas de realizar el trabajo, llamado como condición de destino. En el informe A3, la condición de destino debe ser un diagrama que ilustre cómo funciona el nuevo proceso.	
5	Realizar un plan de implementar el nuevo proceso, lo cual debe incluir una lista de las acciones que se deben seguir para realizar el proceso, así como los responsables de cada	

	tarea, fecha límites y costos.	
6	Hacer un plan de seguimiento que permita asegurar que el plan de implementación se ejecute y logre los resultados esperados.	
7	Comunicar a todas las partes afectadas por la implementación del nuevo proceso y discutir las soluciones hasta que todos se encuentren de acuerdo.	
8	Obtener la aprobación del jefe del proyecto para llevar a cabo el plan propuesto, el cual debe verificar que el problema ha sido suficientemente estudiado y que todas las partes afectadas se encuentran de acuerdo con la propuesta.	
9	Ejecutar el plan de implementación.	HACER
10	Es importante comparar los resultados obtenidos con los esperados.	VERIFICAR
11	Si existen muchas diferencias en la comparación, se debe hallar la raíz del problema y repetir el plan de implementación hasta que la meta ha sido conseguida.	ACT

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un esquema de un reporte A3, el cual varía dependiendo de la empresa o equipo del proyecto.

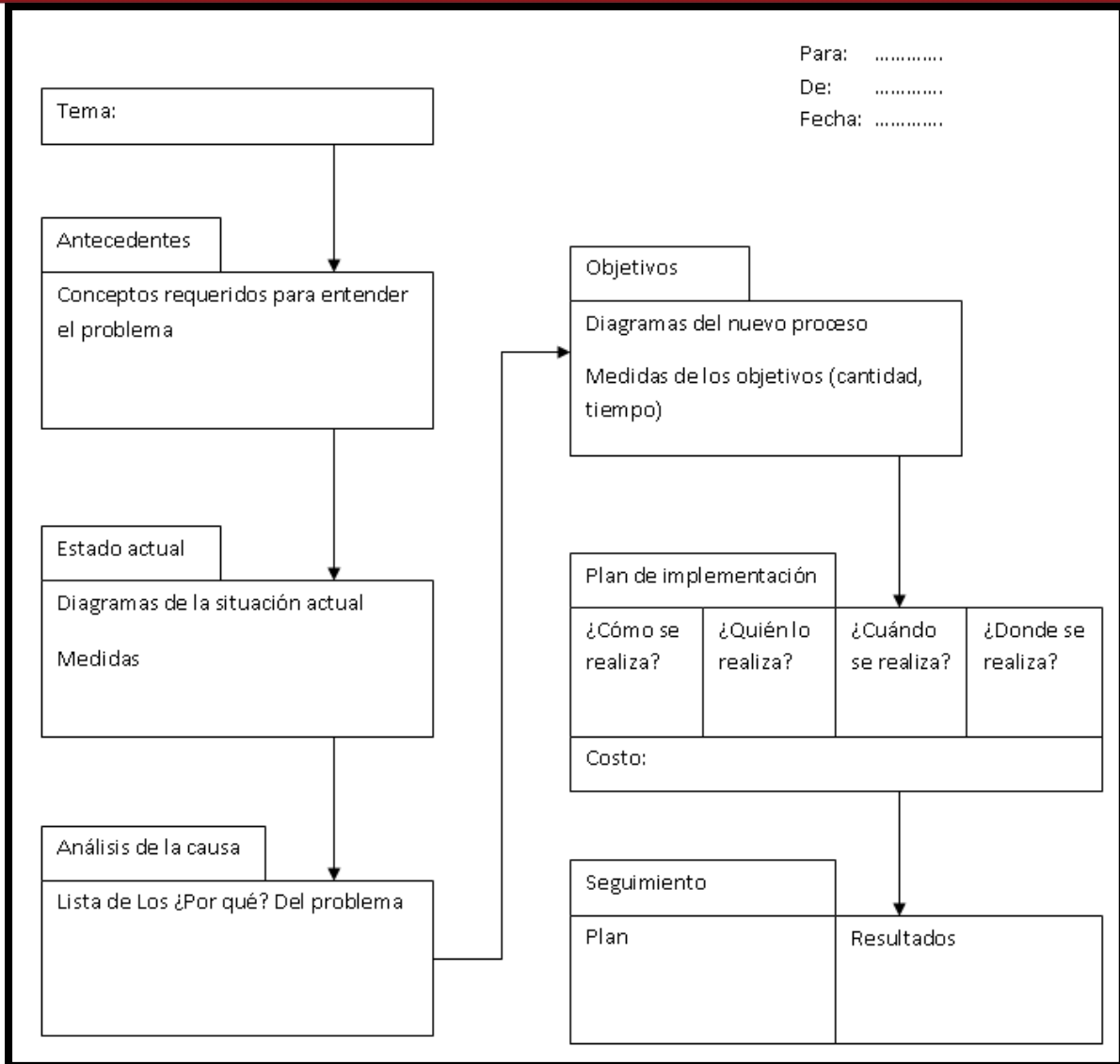


Imagen 12. Reporte A3 (Universidad Estatal de Montana, 2013)

H-10. Estacionamiento:

Descripción:

Durante las reuniones del proyecto, es usual que ocurra que los debates se desvíen del tema principal a tratar, se hablen de ideas o información que no son esenciales para las decisiones de los temas iniciales o se entre en demasiado detalle en las decisiones actuales.

La técnica del Estacionamiento propuesta por Cynthia Tsao et al, 2012 ayuda a capturar las ideas importantes pero que no son relevantes para el tema que se discute actualmente, cuando una discusión, que no pertenece al tema, dura más de dos minutos (Tsao et al, 2012) el líder del grupo “Estaciona la idea”, es decir el líder del grupo advierte al grupo que la discusión no va acorde con el tema inicial pero el toma nota de la idea en una pizarra en el salón de reuniones (a la vista de todos los involucrados) haciendo que la reunión se mantenga en la idea principal pero no pierda información que podría servir en otra oportunidad.

H-11. Diagrama de flujo - Matriz de responsabilidades:

Descripción:

Un diagrama de flujo es la representación gráfica de un proceso, permite observar cómo se desempeña el proceso para producir el resultado.

La herramienta presentada por Carlos Formoso et al 1999, representa gráficamente el proceso de diseño, incluyendo la división del proceso en sub-procesos. Consiste en un diagrama de flujo general de las siete etapas de diseño (creación y factibilidad, diseño del bosquejo preliminar, esquema de diseño, requisitos legales del diseño, detalle del diseño, supervisión de la producción, y la retroalimentación y operación), para cada etapa hay un diagrama de flujo de actividades y, para actividades complejas, un diagrama de flujo de las operaciones.

Además en el diagrama de flujo se asigna el grado de responsabilidad de los involucrados en el proyecto, los grados se dividen en tres: responsable, ejecutor y cooperador. El diagrama representa una amplia vista del proceso de diseño.

Ejemplo de aplicación:

Se presenta un diagrama de flujo para la etapa del diseño de bosquejo preliminar, junto con el grado de responsabilidad de cada participante:

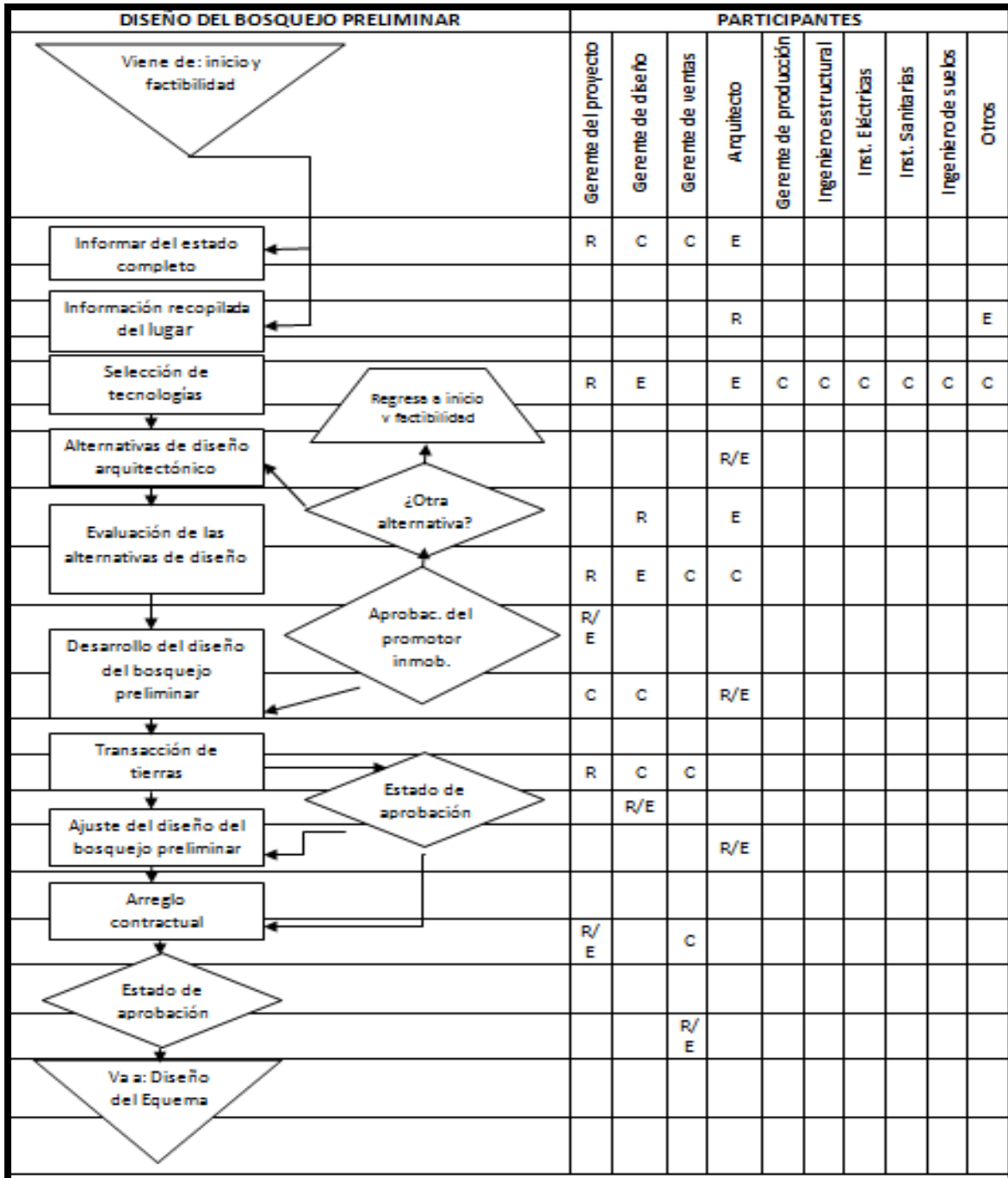


Imagen 13. Diagrama de flujo (Formoso et al., 1999)

H-12. Tabla de entradas y salidas:

Descripción:

Herramienta presentada por Carlos Formoso et al 1999, consiste en una tabla donde se describe las actividades presentadas en el diagrama de flujo.

En la entrada se describe los requerimientos que necesita la actividad para ser realizada.

En la salida se describe el resultado final de la actividad realizada.

Ejemplo de aplicación:

Se tiene el proceso de la selección de alternativas del diseño arquitectónico, en la tabla se colocan todos los datos necesarios para el diseño arquitectónico (entradas) y se describe el resultado final (salidas) del proceso será obtener bosquejos de las alternativas de diseño.

ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS
Informar Recopilar información del lugar Retro alimentación (del edificio entregado previamente y de la Definición del equipo de diseño. Selección estratégica de las Comunicado inicial de los Información reguladora y legal.	ALTERNATIVAS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO	Bosquejo de las alternativas de diseño

Imagen 14. Tabla de entradas y salidas (Formoso et al., 1999)

H-13. Lista de tareas:

Descripción:

Luis Alarcón et al 1998 proponen el uso las listas de tareas, usadas por los diseñadores para tener toda la información relacionada a otras especialidades antes de comenzar su trabajo. De esta manera no será necesario realizar suposiciones innecesarias o habrá pérdidas de información inicial del proyecto.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de una lista de tareas

LISTA DE TAREAS

"Nombre del proyecto"

Nombre:

Cargo:

Fecha:

Ítem	Tarea	Descripción	Fecha
1	Tarea A <ul style="list-style-type: none"> • División 1 • División 2 	Descripción breve de lo que se quiere realizar.	Fecha posible de realizar la tarea
2			
3			
4			
5			
6			
7			

*La división de la tarea sólo se realiza si fuese necesario.

Imagen 15. Lista de Tareas (Propia)

H-14. Lista de chequeo:Descripción:

Luis Alarcón et al 1998 proponen el uso de listas de chequeo para asegurar el cumplimiento de las tareas asignadas o que los especialistas cumplan con las especificaciones de trabajo, y para controlar los parámetros definidos.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de una lista de chequeo.

LISTA DE CHEQUEO

"Nombre del proyecto"

Nombre:
Cargo:
Fecha:

Ítem	Tarea	Fecha	¿Se realizó?	Observaciones
1	Tarea A	Fecha posible de realizar la tarea	Si/No	Resultado final / motivo de no realización
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Imagen 16. Lista de chequeo (Propia)

H-15. Solicitud de Información (RFI):

Descripción:

Solicitud de Información o RFI por sus siglas en inglés (Request for Information) es un mecanismo de información formal usado por diferentes autores dentro del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC) que se utiliza para solicitar información técnica del proyecto al cliente o proyectista.

Por lo general, un RFI es usado en casos donde es necesario confirmar la interpretación de un detalle, especificación técnica, pedir información no especificada en el proyecto, entre otros.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de una solicitud de información:

SOLICITUD DE INFORMACIÓN (RFI)	
Nombre del Proyecto:	Nº Correlativo:
Ubicación:	Fecha:
FECHA: _____ SOLICITANTE: _____ PARA: _____ DOCUMENTOS REF. _____	
DESCRIPCIÓN DE LA CONSULTA:	
SOLUCIONES RECOMENDADAS:	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Área del solicitante, se describe la consulta. Junto con el RFI se puede adjuntar un plan o esquema de la</p> </div>
ADJUNTOS:	
Genera impacto en <input type="checkbox"/> Plazo <input type="checkbox"/> Costo	
Marcar UNO <input type="checkbox"/> Critico <input type="checkbox"/> Importante <input type="checkbox"/> Rutina	
FECHA REQUERIDA DE RESPUESTA: _____	FIRMA DEL SOLICITANTE: _____
RESPUESTA DEL CLIENTE / SUPERVISOR: <input type="checkbox"/> Procede <input type="checkbox"/> Rechazado	
RESPONDIDA POR: _____	FECHA: _____
OBSERVACIONES:	

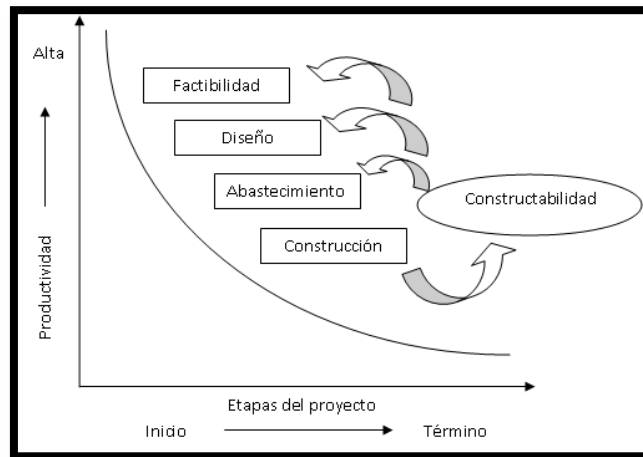
Imagen 17. Solicitud de Información (Propia)

H-16. Constructabilidad en el diseño:

Descripción:

En 1986 el Instituto de la Industria de la Construcción (CII por sus siglas en inglés) define Constructabilidad como “El uso óptimo del conocimiento y experiencia de construcción en la planificación, en el diseño, en las adquisiciones y en el manejo de las operaciones de construcción” (Ver Esquema)

Las más grandes oportunidades de mejorar la productividad de una obra, no se dan durante la etapa de construcción, es un primer paradigma que hay que romper; estas oportunidades se dan mucho antes, en la etapa de diseño, en la etapa de planificación y más importante aún en las etapas de anteproyecto y factibilidad²³.



(Adaptado de A. Serpell, 1993)

El concepto de Constructabilidad permite realizar un óptimo diseño simultáneo del proceso y del producto.

Ejemplo de aplicación²⁴:

El ejemplo se trata de un proyecto para MIVIVIENDA, el edificio a construirse era de 5 pisos y contempla una planta típica de 4 departamentos por piso. El arquitecto al diseñar estos departamentos pensó en la modulación, tal como lo planteaba era perfecta para aplicar una programación rítmica, sin embargo el ingeniero estructural inicialmente no conocía de esta inquietud, quizás porque se pensó que al tener la arquitectura definida no era necesaria ninguna coordinación adicional; si bien el diseño arquitectónico era totalmente modular en áreas y en distribución, el diseño estructural impedía que la construcción se lleve a cabo con las ventajas de esta modulación.

Al analizar la Constructabilidad del edificio se pudo observar que para programar la obra con 4 frentes iguales se hubiera requerido que la caja de escalera sea independiente. El

²³ Orihuela et al, 2003

²⁴ Orihuela et al, 2003

cálculo estructural no lo había contemplado así, la estructura de la caja era monolítica con los departamentos.

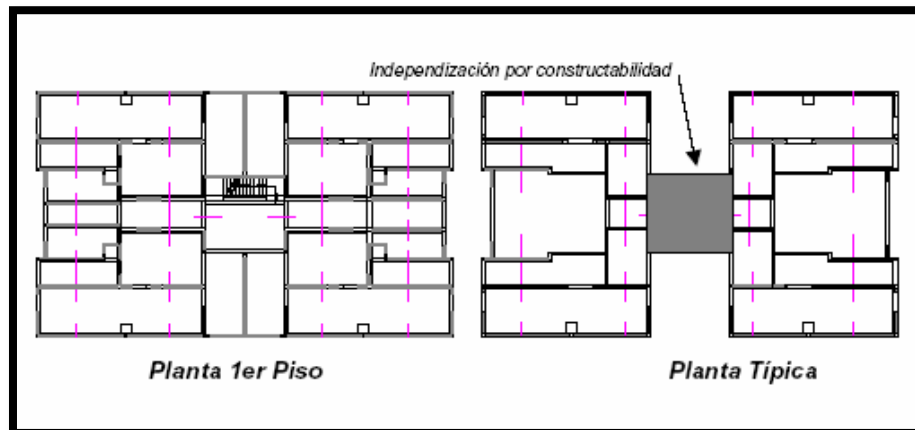


Imagen 18. Plano de planta del edificio (Orihuela et al., 2003)

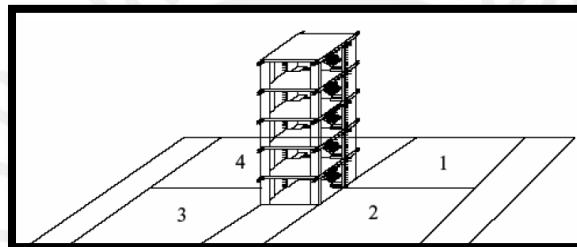


Imagen 19. Caja de escalera (Orihuela et al., 2003)

El conocimiento y el convencimiento de las ventajas de la Constructabilidad hizo que se coordinara con el ingeniero estructural para que rediseñara la estructura de tal forma de poder construir primero la caja de escaleras y luego efectuar la construcción de los departamentos en 4 frentes idénticos de trabajo. Esto implicó reforzar dicha caja de escaleras con unas pequeñas placas que trabajarían temporalmente mientras ésta se encuentre aislada del resto de la estructura, de esta forma la torre de escaleras nos serviría para mejorar tremendamente los flujos de abastecimiento en los trabajos de los pisos superiores.

Asimismo el diseño estructural contemplaba un aligerado con viguetas prefabricadas que cubrían las dos salas de los dos departamentos contiguos, por lo cual era imposible cortar el aligerado para programar rítmicamente la obra en 4 frentes por planta, esto también implicó el rediseño de una losa maciza en el pasadizo del primer piso, para convertir a portante el muro central que separa las dos salas y poder así cortar el aligerado para formar los frentes de trabajo planificados.

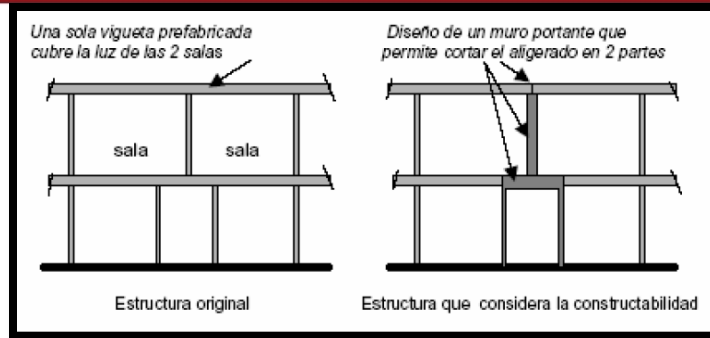
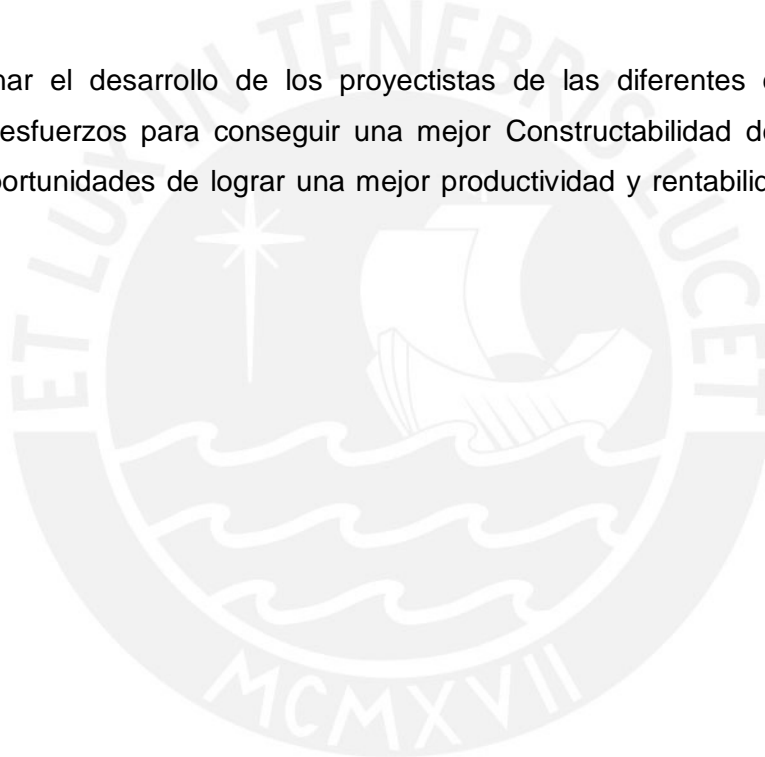


Imagen 20. Cambio de estructura por Constructabilidad (Orihuela et al., 2003)

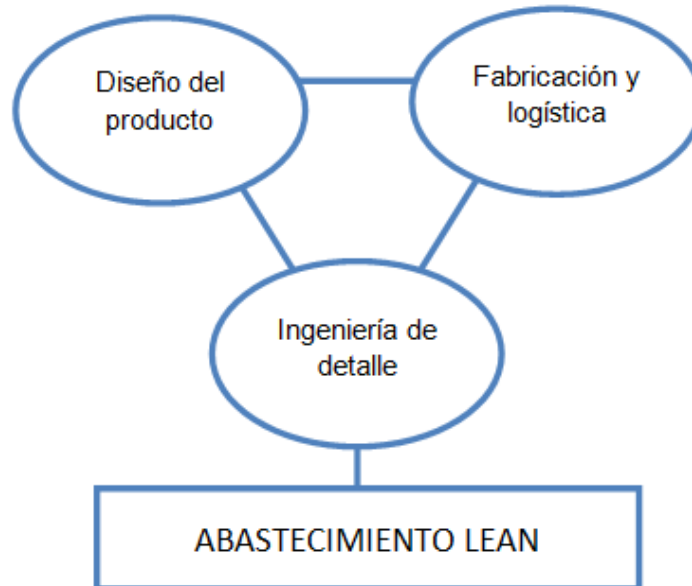
Este ejemplo pretende ilustrar como en este caso, las directivas de las necesidades constructivas nos cambian el diseño estructural.

Dirigir y coordinar el desarrollo de los proyectistas de las diferentes especialidades focalizando los esfuerzos para conseguir una mejor Constructabilidad de la obra, nos dará muchas oportunidades de lograr una mejor productividad y rentabilidad en nuestra gestión.



3. ABASTECIMIENTO LEAN:

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



El abastecimiento lean es la tercera fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- Diseño del producto
- Ingeniería de detalle
- Fabricación y logística

Abastecimiento requiere de la coordinación entre los proveedores, proyectistas y constructores. Esta referido a los procesos que involucran la entrega de bienes y servicios de los componentes en la fase de construcción lean. Tiene por objetivo asegurar la entrega de información y materiales en el proyecto en el tiempo establecido, al menor costo y máximo valor para el cliente final. La falta de materiales en la obra es una de las causas más frecuentes de retrasos²⁵.

Hellingsworth, Best y Valence, en su libro Design and Construction señalan que el abastecimiento lean busca oportunidades para un ensamblaje temprano, modularización y el uso de materiales estandarizados para evitar el problema de concordancia. Este problema ocurre cuando varios elementos se necesitan al mismo tiempo para el ensamblaje sin embargo uno o varios faltan, lo cual retrasa el trabajo.

²⁵ Stukhart y Bell, 1985

En la fase de Abastecimiento Lean se propone eliminar los desperdicios en la adquisición, distribución, almacenamiento, movimiento e inspección de los bienes, servicios e información. El concepto del “Costo Total” señala que el costo de un producto no sólo es igual al precio de venta sino que se deben considerar otros costos indirectos como transporte, mantenimiento, almacenamiento, etc.²⁶

La gestión de la cadena de abastecimiento involucra un trabajo colaborativo entre los miembros del proyecto en el manejo de información y flujo de dinero para alcanzar las metas deseadas como: reducción del Costo Total, reducción de plazos de entrega, mejorar los beneficios totales, etc. Cumpliendo con generarle valor al cliente.

La logística como parte del abastecimiento, es un proceso multidisciplinario aplicado a una determinada obra para garantizar el suministro, almacenamiento y distribución de los recursos en los frentes de trabajo; así mismo se encarga de la estimación de las cantidades de los recursos a usar y de la gestión de los flujos físicos de producción²⁷.

La logística genera valor dentro de la cadena de abastecimiento a través de la gestión de servicio al cliente, inventario, transporte, almacenamiento, manipulación, ensamblaje, información, previsión, planificación de la producción, compras, re empaque, pre ensamblaje, ubicación de las instalaciones y distribución (Bowersox et al. 2007 , Gourdin 2006, y Simchi Levi-et al. 2003).

En la literatura de Lean Construction se mencionan tres tipos de materiales, sus diferencias se basan en el grado que el cliente puede intervenir en las características del producto:

- Made-to-stock: Son productos básicos que no requieren que el cliente defina sus características para que puedan ser utilizados en el proyecto. Estos materiales serán encontrados siempre en stock. Por ejemplo: ladrillos, clavos, etc.
- Made-to-order: Al igual que el anterior, también son productos básicos con la diferencia que necesitan una orden del cliente con las características del producto para poder fabricarse. Por ejemplo: concreto premezclado, viguetas prefabricadas, etc.
- Engineered-to-order: Son los productos que para poder ser fabricados se requiere de un diseño previo. Por ejemplo: las barandas de escalera, la carpintería de aluminio en ventanas y mamparas, el sistema contra incendios, etc.

²⁶ Orihuela et al. 2011

²⁷ Orihuela et al. 2011

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS:

5. **Diseño del producto**: Este módulo fue explicado en la fase de diseño lean.
6. **Ingeniería de detalle**: Este módulo consiste en el conjunto de planos de las diferentes especialidades involucradas en la obra como: estructuras, arquitecturas, instalaciones, entre otros. Además de las especificaciones técnicas, metrados, presupuestos.
7. **Fabricación y logística**: Este módulo consiste en los productos y servicios que serán entregados si es que existiese una demanda.

3.3 HERRAMIENTAS:

H-17. Centros logísticos:

Descripción:

Iris Tommelein et al 2007 proponen el uso de centros logísticos como parte de la cadena de abastecimiento en los proyectos. Son centros que realizan una amplia gama de funciones logísticas y procesos de negocio. El término combina la "logística", que se refiere a todas las operaciones necesarias para la entrega de productos o servicios a excepción de la producción de los bienes o la realización de los servicios, y el "centro", que significa "un lugar donde se concentra una actividad particular"²⁸.

Un centro logístico es un lugar céntrico, por lo general fuera del proyecto, para el flujo de materiales en la cadena de abastecimiento. Facilita el acceso a los diferentes modos de envío, realiza amplias funciones logísticas, sirve a una amplia gama de usuarios (varios proyectos) y presenta soluciones de tecnología de información. Los encargados de los centros logísticos deben trabajar en conjunto con los usuarios, constructores, diseñadores y proveedores que abastecen de material y equipos a tiempo²⁹.

Funciones dentro de los centros logísticos:

- Almacenamiento: Lugar donde se guardan los materiales, reduciendo los costos de inventario.
- Transporte: Los costos del transporte de materiales podrían aumentar o disminuir dependiendo de la distancia entre un centro logístico y el proyecto.

²⁸ Baudin 2004, American Heritage Dictionary 1992

²⁹ Walsh et al. 2004

- Distribución: Distribución del material.
- Ensamblaje o empaquetamiento: Capacidad de ensamblaje para el abastecimiento de productos made-to-order en un plazo corto de entrega. Los productos made-to-stock pueden ser colocados en paquetes.
- Consolidación, clasificación y separación de la carga: Por lo general, cuando se realizan pedidos al por mayor se tiene un precio de descuento, por lo que en los centros logísticos los volúmenes de material pueden ser separados, ordenados y luego enviados a un proyecto específico.
- Seguimiento de paquetes: Realizar el seguimiento de los productos ordenados para que lleguen en el tiempo establecido.
- Servicio electrónico: Reducir el papeleo físico y que el proyecto realice los pedidos electrónicamente.

La siguiente imagen es la representación de un centro logístico; se observa que los proveedores abastecen de productos al centro logístico, el cual se encarga del flujo de material para distribuir los productos requeridos al almacén de cada proyecto.

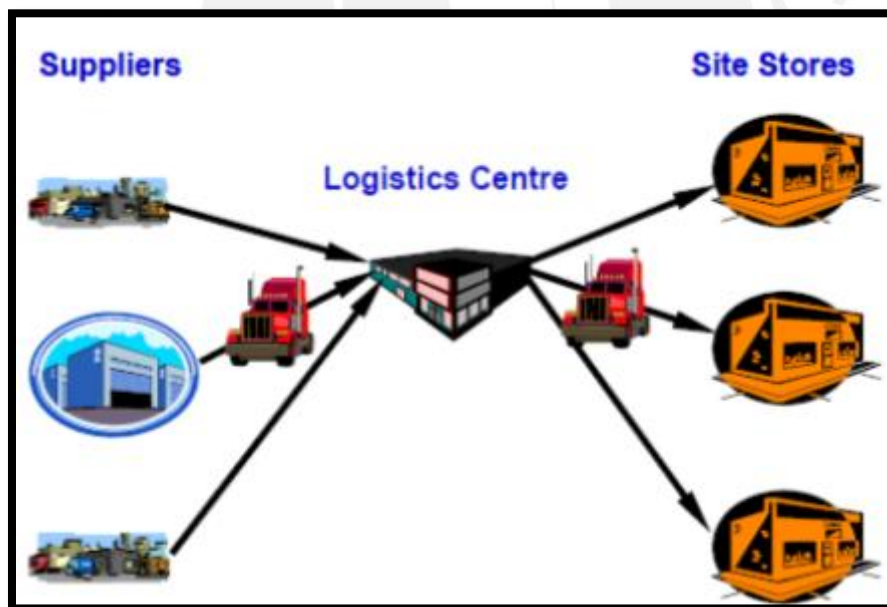


Imagen 21. Esquema de un centro logístico (Tommelein et al., 2007)

Simulación de un centro logístico:

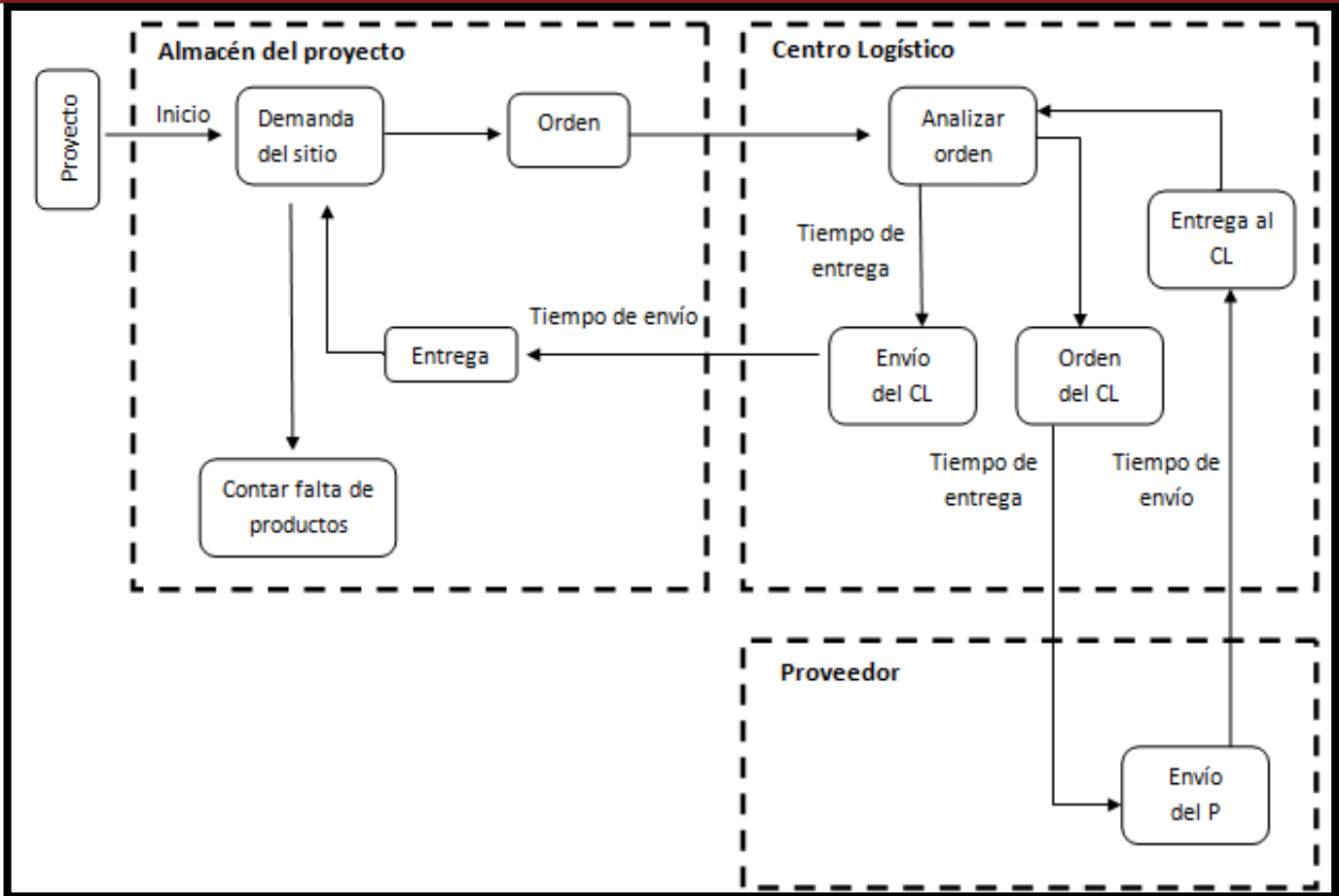


Imagen 22. Simulación de un centro logístico (Tommelein et al., 2007)

Actividades:

Inicio: El proyecto define las características de su requerimiento.

Demanda: El almacén compara la demanda del requerimiento con su inventario.

Orden: El almacén realiza una orden de lo requerido por el proyecto al centro logístico, con las especificaciones y tiempo de entrega.

Analizar orden: El centro logístico verifica si tiene disponible la cantidad de material pedido.

Envío CL: El centro logístico envía lo requerido al almacén.

Entrega: El material es entregado al almacén en el tiempo establecido. Se evalúan los costos de envío.

Orden CL: El centro logístico envía una orden al proveedor.

Envío P: El proveedor envía la orden pedida en el tiempo establecido. Se evalúan los costos de envío.

Entrega CL: Los materiales son entregados al Centro Logístico.

Ejemplo de Aplicación:

Como una estrategia de costos, una empresa decide comprar acero en cantidad aprovechando una baja de precios en el mercado, se colocó el acero en un terreno de la constructora que no estaba siendo usado, este terreno sería usado como un centro logístico del acero, de forma que se tomaron las siguientes decisiones:

- Contratar personal para realizar la habilitación de acero
- Contratar personal que se encargue de los pedidos de acero de las diferentes obras de la empresa constructora.
- Contratar personal para la distribución del acero dimensionado a las diferentes obras.
- Alquiler de un camión para la distribución del acero.

Las actividades realizadas fueron las siguientes:

1. El almacén de la obra manda la orden de compra para el acero habilitado en el centro logístico.
2. El centro logístico recibe la orden de compra
3. El proyecto mandaba los planos de detalle al centro logístico y solicitaba las piezas requeridas en un determinado tiempo.
4. El personal habilitaba el acero de acuerdo a los detalles entregados.
5. El centro logístico envía el acero habilitado requerido en el tiempo establecido.

H-18. Las 5 “S”

Descripción:

Es una metodología japonesa usada en la empresa Toyota que consiste en operaciones que buscan incrementar la organización, orden, limpieza y estandarización en las áreas administrativas y productivas.

El nombre 5s proviene de cinco palabras japonesas: SEIRI, SEITON, SEISO, SEIKETSU y SHITSUKE. (Clasificar, Organizar, Limpiar, Estandarizar y convertir esta secuencia en Hábito)

El programa de las 5s involucra a todo el personal de la organización. Mejorar y mantener las condiciones de organización, orden y limpieza en el lugar de trabajo no es solo una cuestión de estética, se trata de mejorar las condiciones de trabajo, de seguridad, el clima laboral, la motivación del personal y la eficiencia y, en consecuencia, la calidad, la productividad y la competitividad de la organización.

La metodología 5S tiene como metas: eliminar los materiales y útiles innecesarios, que todo se encuentre ordenado e identificado y eliminar las fuentes de suciedad.

Etapas de la metodología:

Etapa previa a las 5s: Es necesario buscar la participación de todos los involucrados, realizar una inspección de la situación actual y realizar una limpieza general al lugar.

SEIRI - CLASIFICAR: Clasificar es reparar e identificar las cosas por clases, tipos, tamaños, categorías o frecuencia de uso.

- Identificar las herramientas, materiales, suministros necesarios e innecesarios.
- Eliminar todo lo identificado como innecesario.
- No debe existir exceso de materiales, equipos o herramientas en el lugar de trabajo. El exceso hace que se requiera mayor tiempo y energía en hallar lo que se necesite.
- Las piezas necesarias se derivan a la etapa de Seiton.

SEITON - ORGANIZAR: Organizar es ordenar los objetos dentro de un lugar de acuerdo a una norma o método adecuado. Darle a cada cosa una ubicación propia, teniendo en cuenta la frecuencia de su uso.

- Dar nombre a todas las cosas.
- Hacer etiquetas estandarizadas que ayuden a identificar las cosas.
- Guardar las cosas de acuerdo a su función.
- Teniendo todo ordenado, se pasa a la etapa de Seiso.

SEISO - LIMPIEZA: Limpiar es quitar lo sucio de algo.

- El local de trabajo debe ser dividido y asignar un responsable de limpieza de cada área.
- La limpieza es una forma de inspección, permite identificar defectos, piezas rotas, etc.

- Es recomendable tener un manual de limpieza si existiese equipos que requieran un cuidado especial.

SEIKETSU – ESTANDARIZAR: Estandarizar es crear condiciones para mantener el ambiente de trabajo organizado, ordenado y limpio. Consiste en una administración visual del entorno, diferenciando de manera rápida una situación irregular o fuera de lo común mediante normas, de esta forma se mantienen las primeras 3 S's.

- Se deben definir los puntos a ser administrados.
- Establecer lo que es una anomalía.
- Elaborar un apoyo visual como etiquetas, manuales, carteles, etc.
- Es necesario definir qué hacer cuando se presente una anomalía.

Seiketsu permite observar si alguna etapa previa no se ha realizado correctamente, la imagen siguiente muestra un ejemplo de etiquetas que se podrían colocar a la anomalía encontrada:

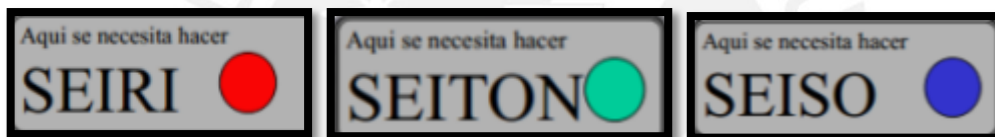


Imagen 23. Etiquetas para volver a etapas previas (COMPITE, 2011)

SHITSUKE – DISCIPLINA: Disciplina es seguir las reglas de la empresa. Hacer algo de forma natural, hacerlo un hábito.

- Se debe asegurar la comunicación de la metodología a los involucrados.
- Cuando las actividades sean realizadas correctamente, es recomendable dar un reforzamiento positivo.
- Cuando se cometan errores, deben ser señalados y corregidos.

Ejemplo de aplicación:

Durante la fase de abastecimiento, se tiene una gran cantidad de materiales, equipos, herramientas, papeles, facturas, entre otras cosas. La metodología 5S podría ser implementada en un centro logístico, en un almacén de obra. También, en muchas empresas el control logístico se encuentra dentro de las oficinas principales de la empresa, esta metodología podría ser aplicada al lugar de trabajo del personal logístico de la empresa. Se muestran algunas imágenes para ilustrar lo mencionado:



Imagen 24. Etiquetas para cada tipo de material (Paritarios, 2012)



Imagen 25. Implementación de 5s en oficina de la empresa (Vargas, 2012)

H-19. Matriz Multicriterio:

Descripción:

La Matriz Multicriterio propuesta por Pablo Orihuela et al, 2008, permite determinar de manera óptima cual es la mejor decisión para la elección de los recursos e insumos, basado en la comparación de alternativas que son evaluadas cualitativa y cuantitativa. La matriz se constituye de de tres partes:

1. La evaluación cuantitativa, comparación de costos y rendimientos.
2. La evaluación cualitativa, comparación basada en criterios de acuerdo a la alternativa a evaluar, a los cuales se les asigna una ponderación, además se establece el nivel de desempeño de cada alternativa evaluada respecto a los criterios.

- La evaluación final, basada en la evaluación cuantitativa y cualitativa; para la evaluación cuantitativa se usa la normalización inversa de costos y para la cualitativa la normalización directa. De la suma de ambas normalizaciones se determina la alternativa más adecuada para el proyecto.

Ejemplo de aplicación³⁰:

Durante la fase de diseño de un proyecto de viviendas multifamiliares, se decidió usar encofrado modulado para los muros de los departamentos. La empresa UNISPAN, proveedor de encofrados, ofreció dos tipos de productos: Encofrado a Dos Caras ALLSTEEL y un nuevo producto denominado ALUFORM.

Evaluación cuantitativa:

Para la evaluación, se ha toma como referencia el costo por m2 ejecutado en obra.

		ALTERNATIVAS	
		ALUFORM	ALLSTEEL
		Und.	Costo de compra
Costo Total	S/		187.12
Nº usos máximo	uso		1000.00
Área	m2		164.00
Costo por uso	S/ x m2 x uso		1.14
		Und.	Costo de compra
		S/	139.82
		uso	800.00
		m2	164.00
		S/ x m2 x uso	1.07

Imagen 26. Evaluación cuantitativa (Ulloa, 2009)

Evaluación cualitativa:

		ALTERNATIVAS	
		ALUFORM	ALL STEEL
		Und.	Costo de compra
Costo Total	S/		139.82
Nº usos máximo	uso		800.00
Área	m2		164.00
Costo por uso	S/ x m2 x uso		1.07
		Und.	Costo de compra
		S/	139.82
		uso	800.00
		m2	164.00
		S/ x m2 x uso	1.07

ESCALA DE IMPORTANCIA		ESCALA DE DESEMPEÑO		
1	2	3	4	5
Menor		Mayor		
		1	2	3
		Mal	Regular	Bueno

CRITERIOS	Imp.	Peso	Desempeño	Desempeño
Facilidad de manipulación	2	0.13	3	2
Acabado de superficie	3	0.2	2	2
Facilidad de ensamblaje	3	0.2	3	2
Experiencia del personal	4	0.27	1	2
Tiempo de entrega	3	0.2	1	2
	7.15	7.100	1.87	2

Imagen 27. Evaluación cualitativa (Ulloa, 2009)

³⁰ Ulloa, 2009.

Evaluación final:

	ALTERNATIVAS	
	ALUFORM	ALL STEEL
		
Eval. Cuantitativa	S/ 1.34 m ² uso	S/ 1.07 m ² uso
Puntaje Normalizado	0.48	0.52
Eval. Cualitativa	1.5	2.83
Puntaje Normalizado	0.45	0.52
Evaluación Final	0.96	1.04

Imagen 28. Evaluación Final (Ulloa, 2009)

El sistema permite determinar que la mejor opción para encofrado modulado es ALL STEEL.

H-20. Mapeo de la cadena de valor:

Descripción:

Value Stream Mapping (VSM) o Mapeo de la Cadena de Valor (MCV) es una herramienta creada por la empresa automotriz Toyota, esta herramienta permite identificar todas las actividades en la planificación y fabricación de un producto, permitiendo encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan impacto sobre toda la cadena de abastecimiento.

El mapeo de la cadena muestra gráficamente mediante iconos y símbolos dos tipos de flujos:

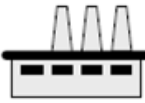






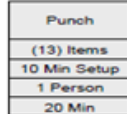




- Flujo de información: comprende todas las actividades realizadas desde que se realiza una orden de un producto hasta que la orden es generada.
- Flujo de materiales: comprende todos los procesos realizados para obtener un producto, hasta que se entrega al cliente.

Esta herramienta consiste en graficar dos mapas de la cadena de valor, el primero referido al presente, en donde se documentar el estado actual y real del proceso que se desee, el segundo es referido al futuro, el cual es el etapa ideal que se quiere lograr luego de realizar las actividades de mejoramiento.

Para realizar un mapeo de la cadena de valor se sugiere seguir los siguientes pasos:

1. Definir el producto a analizar.
2. Definir el alcance del mapeo de la cadena de valor, será necesario establecer los símbolos e iconos a usar dentro del gráfico. Determinar la información necesaria para comprender el producto, será necesario que cada proceso dentro del gráfico se le asignen medidas de desempeño que permitan conocer y visualizar el estado actual del proceso, estas medidas pueden ser: tiempo de ciclo, tiempo de alistamiento y cambio de referencia, número de operador por equipo, porcentaje de rechazos, disponibilidad del equipo, tiempo de paradas, eficiencias, etc. Finalmente, graficar el estado actual del Mapeo de la Cadena de Valor.

Se muestra algunos iconos típicos en un gráfico:

		
Proveedor	Transporte	Oportunidad mejora
		
Personas operando	Info. Electrónica	Inventario
		
Impulsar producción	Cuadro de datos	Ir a ver
		
Perdida de inventario	Flujo de información	Línea de Tiempo

1. Hacer una lista de las mejoras que se podrían realizar.
2. Realizar el gráfico del estado futuro que se desee con las mejoras realizadas.
3. Comparar los dos gráficos y enseñar lo aprendido a todos los involucrados en el proyecto.

Ejemplo de aplicación:

La amplitud del gráfico dependerá del proceso que se elija, como ejemplo de aplicación se muestra el pedido de material de acero dimensionado.

El mapeo de la cadena de valor consiste en observar el proceso desde el requerimiento del acero dimensionado hasta colocar el acero en la zona donde se requerirá usar la cual podría ser un sector de la obra o un paquete para un determinado elemento estructural (placa, viga, etc). Durante el proceso de mapeo se observa las siguientes mejoras:

- Conteo de paquetes de acero: El tiempo de conteo se podría reducir si el personal encargado tiene por adelantado el esquema de los paquetes que llegarán a obra, y las cantidades exactas. Puesto que para este caso, el personal realizaba el conteo de acuerdo a la guía que le entregaba el personal de la empresa encargada de brindar el acero.
- Colocación de acero donde se necesite: Coordinar con el equipo de producción para conocer el lugar final donde se debe ubicar cada producto, de esta manera el acero será colocado en el lugar final donde se necesite.

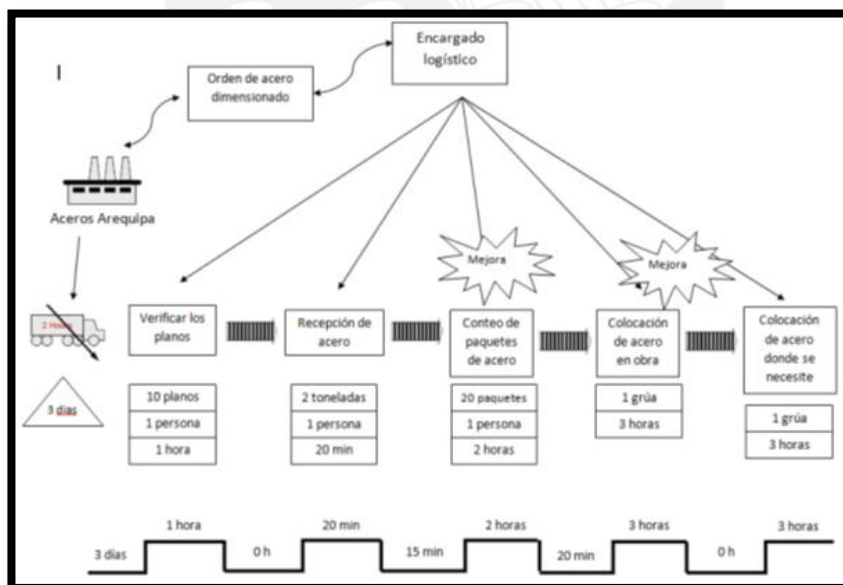


Imagen 29. Estado actual, Mapeo de la cadena de valor (Propia)

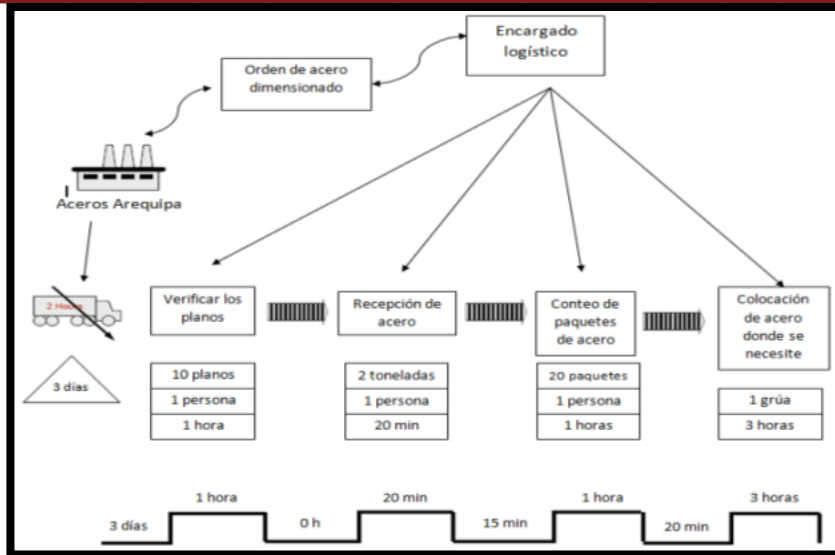


Imagen 30. Estado futuro, Mapeo de la cadena de valor (Propia)

H-21. Kanban:

Descripción:

La palabra Kanban es un término japonés que significa “tarjeta” o “señal” y es el nombre dado al control de inventario usando tarjetas en un sistema de jalar (The Productivity Press Development Team, 2002). El propósito de un sistema de “jalar” es producir solo lo que se necesite, cuando se necesite y en las cantidades adecuadas³¹.

Kanban es un método usado en el sistema de Producción de Toyota. La idea surge como un papel dividido en tres categorías: (1) información y colecta, (2) transferencia de información, y (3) información del producto (Ohno, 1988).

Según Ohno (1988), la idea surgió a mediados de los años 50’s de los supermercados Americanos, donde los productos comprados en cajas eran trasladados usando una tarjeta que contenía información sobre la cantidad y tipo de productos comprados. Cuando el departamento de compras recibía estas tarjetas, podían colocar rápidamente los productos adquiridos en los estantes

El objetivo de usar una tarjeta Kanban con información es no permitir que existan dudas sobre las cantidades, tiempo, lugar de distribución, proporcionando la información necesaria acerca del producto, consecuentemente evitando la sobre producción³².

³¹ Perroni de Burgos et al. 2011

³² Monden, 1984

Información necesaria en una tarjeta Kanban:

- Nombre / No del producto: Será necesario especificar el nombre del producto o número del producto. Permitiendo que se identifique con facilidad el producto.
- Descripción del producto: Realizar una breve descripción del producto.
- Cantidad del producto: Es importante colocar la cantidad que se tiene del producto.
- Responsable: Especificar a la persona responsable del producto, la persona que hará uso de él.
- Lugar: Indicar el lugar donde debe enviarse el material.

Uso de las tarjetas Kanban:

1. Se recibe el producto y se le coloca una tarjeta Kanban individual o grupal.
2. De acuerdo a la actividad a realizar, se hace la solicitud del producto incluyendo una lista del nombre del producto y sus especificaciones.
3. Se trasladan los productos.
4. La siguiente actividad realiza el pedido de productos basándose en la información de la actividad previa, de esta forma se evita una sobre producción.
5. Reposicionar el material extraído.

En la construcción se pueden usar dos tipos de Kanban: Kanbans de producción y de transporte. El primero se refiere a la producción y transporte de materiales en el sitio; y el segundo se refiere al transporte de materiales que no son producidos en el sitio³³.

Los principales beneficios de la utilización de kanban en la construcción de edificios son: la reducción de residuos, mano de obra, una mayor autonomía de trabajo con respecto a la distribución de materiales, reducciones en el flujo operacional y mejoras en el control de inventario de materiales de acuerdo a la demanda³⁴.

Ejemplo de aplicación³⁵:

Se muestra el uso del Sistema Kanban en tres diferentes proyectos:

³³ André Perroni de Burgos et al., 2011

³⁴ Heineck, 2009

³⁵ André Perroni de Burgos et al., 2011

- Proyecto A: Construcción vertical, edificio de 16 pisos. Se usó Kanban de transporte para la actividad de instalación de cerámica.
- Proyecto B: Construcción vertical, dos edificios de 15 pisos. Se usó Kanban de producción y transporte para el suministro del pegamento.
- Proyecto C: Construcción vertical, dos edificios de 15 pisos. Se usó Kanban de transporte para la actividad de instalación de cerámica.

Descripción del Sistema Kanban usado en los diferentes proyectos:




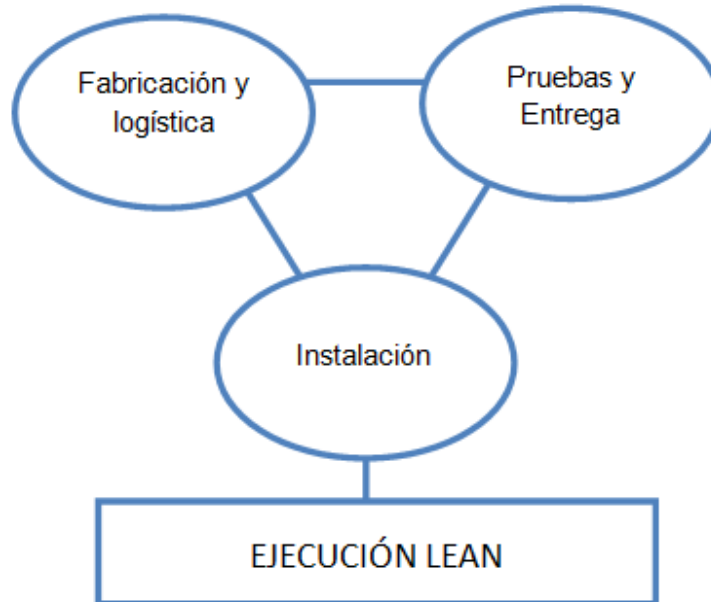
PROYECTO	SISTEMA KANBAN	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA KANBAN
A		<p>En el proyecto A, el Kanban de transporte fue usado para la actividad de instalación de cerámica. Kanban trabaja de la siguiente manera: las tarjetas fueron hechas para representar el kit de materiales necesarios para ejecutar la actividad en cada ambiente, como se muestra en la figura.</p>
		<p>En la tarjeta se especificaba: la cantidad de cada material, la especificación, el lugar de aplicación y el peso total del kit.</p>
B		<p>En el proyecto B, se usó el sistema Kanban solo para el suministro del pegamento, mientras que la cerámica para la pared de ladrillos era distribuida sin control alguno</p>
		<p>Para el pegamento, los albañiles recibían pequeñas tarjetas identificando el pegamento, las cuales contenían el lugar donde el pegamento debía ser descargado, la hora en la que debía ser transportada al lugar de trabajo.</p>
C		<p>En el proyecto C, se usó el sistema Kanban para el transporte de la actividad de instalación de cerámica. La idea se produjo debido al alto número de departamento personalizados.</p>
		<p>Cada color tenía un significado. La tarjeta crema es para el enchape de piso, la tarjeta roja era para el enchape de pared, y la azul para el pegamento. Las tarjetas tenían información como: la cantidad de material, el departamento al que pertenecía, ambientes y especificaciones del material.</p>

Imagen 31. Sistema Kanban en tres diferentes proyectos (Perroni de Burgos, et al., 2011)

4. EJECUCIÓN LEAN:

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



La ejecución Lean es la cuarta fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- Fabricación y logística
- Instalación
- Pruebas y Entrega

La fase de Ensamblaje o Ejecución Lean inicia con el abastecimiento de las primeras herramientas, materiales, mano de obra, componentes de obra y finaliza cuando las llaves son entregadas al cliente³⁶.

Esta fase está referida a la construcción del proyecto, en donde se ponen en práctica todos los lineamientos planteados en las fases previas.

En la industria manufacturera para obtener un producto, las piezas se van rotando a las diferentes estaciones de trabajo, en la construcción de un proyecto pasa lo contrario, el producto (ej. Un edificio de viviendas) no puede moverse y son las estaciones de trabajo

³⁶ Ballard, 2000

las que recorren el producto. En general, la construcción de un proyecto es más artesanal que la fabricación.

La construcción de un proyecto nunca será igual a otro proyecto, puesto que depende del lugar donde se construye, el tipo de suelo, condiciones sísmicas, entre otros.

Comúnmente, el equipo multidisciplinario dentro de una obra de construcción está conformado por Ingeniero Residente, Ingeniero de Campo, Ingeniero de Calidad, Jefe de Oficina Técnica, Administrador, Almacenero, Prevencionista de Riesgos y asistentes de las áreas. Además muchas empresas optan por subcontratar a una empresa supervisora para asegurar una mayor calidad en el producto final.

La ejecución se completa cuando es cliente tiene uso beneficioso de la instalación, que por lo general ocurre después de terminado el proyecto.

Las técnicas usadas dentro de la fase de Ensamblaje Lean buscan reducir las pérdidas durante la construcción del proyecto, mejorar la calidad del producto, mejorar la productividad de la mano de obra y agregar valor al cliente.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS:

7. **Fabricación y logística**: Este módulo fue explicado en la fase de diseño lean.
8. **Instalación**: Este módulo consiste en los procedimientos constructivos que se realizarán en la obra para poder obtener el producto final.
9. **Pruebas y Entrega**: Este módulo consiste en la entrega del producto al cliente, pero además diferentes procedimientos formales (pruebas) para asegurar que el producto final se ajuste a las necesidades del cliente. Por lo general, estas pruebas consisten en la conformidad entre el producto con el diseño, y preparación del cliente para el manejo de los diferentes sistemas del producto (instalaciones).

4.3 HERRAMIENTAS:

H-22. First Run Studies:

Descripción:

El Instituto de la Construcción Lean propone el uso de los First Run Studies o Análisis de Primera Ejecución, el cual es el análisis detallado de un proceso constructivo, llevando a cabo una práctica del proceso constructivo que se va a realizar, con el fin de entender claramente el proceso constructivo y determinar si es posible mejorarlo, obtener ratios reales que se van a obtener en el proyecto durante la ejecución del proceso, recursos (mano de obra, herramientas, equipos, etc.) necesarios, entre otros.

El objetivo principal es establecer la productividad meta e identificar todas las restricciones determinadas para dicha actividad.

Ejemplo de Aplicación:

En la obra Real 8 (Proyecto de oficinas de 16 pisos y 5 sótanos) de la empresa GyM, se decidió realizar un First Run Studies para el enchape de porcelanato en la batería de baños de un piso típico del proyecto, este estudio permitiría determinar los siguientes detalles:

- Modulación de enchape de piso de baños.
- Rendimiento de Materiales
- Rendimiento del Personal.



Imagen 32. Personal enchapando porcelanato en baños (Propia)

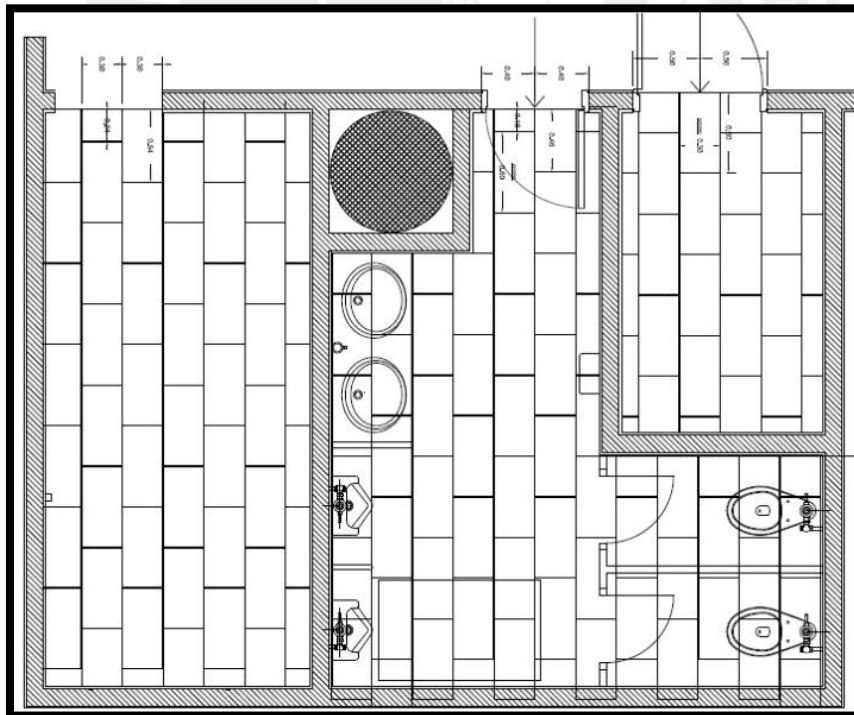
Rendimiento de Materiales:

ENCHAPE DE BAÑOS					
Área (m2)	Nº Piezas Porcelanato usadas	Metrado Piezas (m2)	%Desperdicio Porcelanato	Nº Bolsas Pegamento Usadas	Rendimiento pegamento (m2/bls)
18.12	104	18.72	1.74%	7	2.6

Rendimiento del Personal:

ENCHAPE DE BAÑOS				
Nº personas	HH trabajadas	HH total	Área (m2)	Ratio (HH/m2)
2	8	16	18.12	0.88

Modulación de Pisos en baños:



El estudio permitió establecer los ratios usados para la partida de enchape, determinar la cantidad de personal necesario para terminar el trabajo según el cronograma de la obra, por otro lado al haberse estudiado la actividad se pudieron establecer mejoras al proceso ya que se encontró que el rendimiento del pegamento se encontraba por debajo al presupuestado.

H-23. Nivel Actividad:

Descripción:

Nivel Actividad es una herramienta estadística propuesta por Alfredo Serpell 1990 utilizada para el estudio de tiempos y movimientos de la actividad en un sector, frente a todo el Proyecto. Esta herramienta muestra cómo se distribuye el tiempo durante una actividad, separando el trabajo en tres categorías:

- Trabajo Productivo: (TP): Es aquel trabajo que aporta de forma directa a la producción.
- Trabajo Contributorio (TC): Es aquel trabajo relacionado a las tareas necesarias para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Trabajo de apoyo, pero que no aporta valor.
- Trabajo No Contributorio (TNC): Es todo aquel trabajo que no genera valor, son actividades que no son necesarias y generan pérdidas.

Esta herramienta es útil para obtener información sobre la distribución de tiempo en una actividad, de acuerdo a la información obtenida se propondrán mejoras en las actividad buscando aumentar el Trabajo Productivo, disminuyendo el Trabajo Contributorio y eliminando el Trabajo No Contributorio. Debe tomarse en cuenta que las mediciones de esta herramienta son puntuales, los resultados muestran información de lo que sucede en el Proyecto en un momento particular del día, por eso es importante que se realice periódicamente las mediciones para tener comparativos de los trabajos.

Para realizar las mediciones de Nivel General de Actividad se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Definir actividades a medir, sectores a medir, objetivos de la medición y grado de detalle de la medición.
- Identificar los trabajos dentro de las actividades seleccionadas, dividiendo los trabajos en las diferentes categorías (TP, TC, TNC).
- Observar de forma aleatoria los trabajos que se realizan en el sector seleccionado, cada vez que se tope visualmente con un trabajador deberá registrar en un formato la cuadrilla a la que pertenece y si realiza trabajo Productivo, Contributorio o no Contributorio y dentro de estos, la clasificación del trabajo según lo establecido en el paso previo. De acuerdo a Serpell (1993) es

necesario que la muestra no tenga menos de 384 observaciones, para obtener una confiabilidad no menor a 95%.

- Se procesa la información, obteniendo los porcentajes de cada categoría de trabajo, la cual puede ser presentada gráficamente para un mejor entendimiento.

Sugerencias para realizar un Nivel de Actividad:

- Identificar los trabajadores que serán incluidos durante la medición.
- Usar el mismo criterio al observar a cada trabajador.
- El registro de lo observado debe ser de acuerdo a lo que se aprecie en forma instantánea.
- Ubicarse en un lugar donde no obstaculice los trabajos de la actividad observada.

Ejemplo de Aplicación:

El ejemplo mostrado para esta Herramienta, tiene por objetivo mostrar un formato para la medición del Nivel de Actividad. Se observa en el formato que se ha colocado cada medición en la categoría de trabajo correspondiente; además se ha contado la cantidad de trabajo productivo, Contributorio y no Contributorio en toda la muestra; y la cantidad de veces ocurridas para cada trabajo dentro de cada categoría (transporte, limpieza, etc). Finalmente, con los datos obtenidos (mínimo 384 mediciones), se presentan gráficos estadísticos que nos permitirá tener un muestreo de la utilización del tiempo en los trabajos realizados.

NIVEL DE ACTIVIDAD				
PROYECTO: NOMBRE DEL OBSERVADOR:			FECHA: HORA INICIO:	
N°	Cuadrilla	TP	TC	TNC
1	Fierrero	P		
2	Carpintero		T	
3	Concreto	P		
4	Albañiles		L	
5	Fierrero		L	
6	Concreto			V
7	Carpintero	P		
8	Concreto			E
9	Fierrero			E
10	Albañiles			R
11	Albañiles		M	
12	Concreto	P		
13	Carpintero			N
14	Concreto			E
15	Fierrero	P		
16	Fierrero	P		
17	Concreto		I	
18	Albañiles		L	
19	Albañiles		I	
20	Carpintero	P		
21	Carpintero			
22	Concreto		M	
23	Albañiles			R
24	Fierrero	P		
25	Concreto			E
TT		8	8	9

Clasificación del Trabajo		
Total	Trabajo Contributorio	
1	T	Transporte
3	L	Limpieza
2	I	Instrucciones
2	M	Mediciones
0	X	Otros TC

Total	Trabajo No Contributorio	
1	V	Viajes
1	N	Tiempo Ocioso
4	E	Espera
2	R	Trabajo rehecho
0	D	Descanso
0	B	Nec Fisiológicas
0	Y	Otros TNC

Imagen 33. Nivel General de Actividades (Propia)

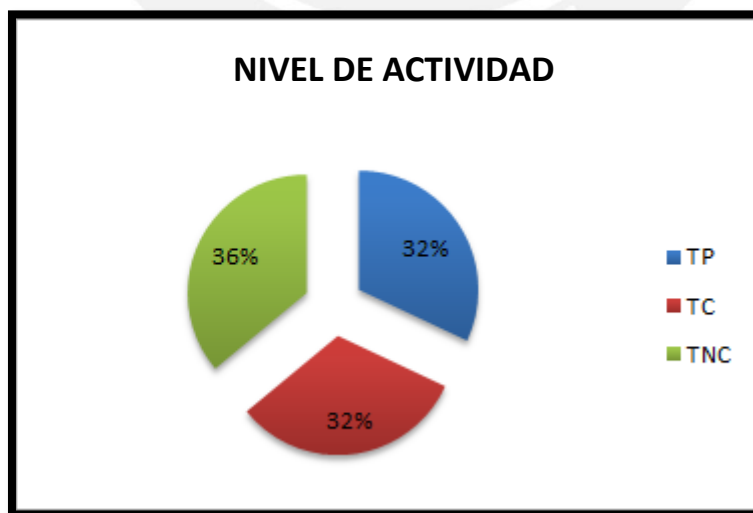


Imagen 34. Cuadro de Nivel General de Actividad (Propia)

H-24. Carta Balance

Descripción:

La Carta Balance es una herramienta propuesta por Alfredo Serpell 1990, la cual se centra en una actividad específica. Es una herramienta estadística que permite determinar cómo se divide el tiempo que se dedica a cada una de las tareas dentro de la actividad escogida, permite analizar el procedimiento constructivo usado y buscar su optimización, además de determinar la cantidad de obreros adecuada para la cuadrilla, estudiar la posibilidad de introducir un cambio tecnológico, entre otros. Esta herramienta permite determinar si la cuadrilla a analizar se encuentra correctamente balanceada.

El objetivo principal de esta herramienta es analizar la eficiencia del proceso constructivo usado en la actividad. Se debe buscar mejorar la eficiencia del grupo de trabajo con la reasignación de tareas entre sus miembros o modificación del tamaño de la cuadrilla.

Para realizar una Carta Balance se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Determinar la actividad que se va a muestrear y entender su proceso constructivo.
- Identificar a cada uno de los integrantes del equipo de trabajo, así como su categoría (Operario, oficial, ayudante, etc.).
- Identificar las tareas dentro de la actividad seleccionada, dividiendo los trabajos en las diferentes categorías (TP, TC, TNC).
- Registrar en un formato (ver ejemplo) cada un minuto lo que está haciendo cada obrero que compone la cuadrilla.
- De acuerdo a Serpell (1993) es necesario que la muestra no tenga menos de 384 observaciones, para obtener una confiabilidad no menor a 95%.
- Se procesa la información, obteniendo los porcentajes de cada categoría de trabajo para cada trabajador, esta información puede ser presentada gráficamente para un mejor entendimiento.

Sugerencias para realizar una Carta Balance:

- Representar las tareas dentro de la actividad por una letra, la cual será colocada en el formato de Carta Balance.
- La cuadrilla a observar debe tener un máximo de 8-10 integrantes.
- La medición debe realizarse en un espacio limitado, donde se pueda observar claramente a cada uno de los integrantes de la cuadrilla.

Ejemplo de Aplicación:

El ejemplo mostrado para la Herramienta 33, tiene por objetivo mostrar un formato para la medición de la Carta Balance. Se deben registrar la tarea que está realizando cada trabajador de la cuadrilla al tomar la medición. Con los datos registrados, podemos obtener información sobre la distribución del tiempo de la cuadrilla para realizar la actividad, la distribución de tiempo para el personal, entre otros.

CARTA BALANCE								
PROYECTO:					FECHA:			
NOMBRE DEL OBSERVADOR:					HORA INICIO:			
ACTIVIDAD OBSERVADA: Vaciado de Concreto de losa								
N°	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5	Trabajador 6	Trabajador 7	Trabajador 8
1	A	D	E	A	F	C	C	F
2	D	C	A	H	B	F	D	B
3	E	A	F	E	F	B	C	F
4	F	I	B	C	I	F	A	I
5	B	E	F	D	A	I	I	C
6	F	F	I	A	A	B	E	F
7	I	A	B	B	H	H	F	B
8	B	H	H	I	E	C	A	F
9	H	A	C	B	C	C	B	I
10	C	B	B	I	C	D	H	B
11	D	I	H	B	A	C	A	H
12	C	F	B	F	I	A	H	C
13	A	B	F	B	E	I	E	B
14	I	F	B	F	F	E	C	I
15	E	I	F	I	A	F	G	A
16	F	B	I	B	F	A	A	B
17	A	B	B	H	A	F	H	I
18	B	F	H	C	A	A	E	F
19	I	F	A	A	H	F	C	A
20	G	B	B	B	E	B	A	A
21	A	F	I	I	C	F	A	F
22	H	I	B	H	C	I	B	B
23	E	A	I	E	A	B	I	F
24	C	B	H	C	B	H	B	I
25	E	I	E	F	I	C	I	C

Trabajador	Nombre completo	Categoría
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

TIPO	Letras	Tarea
TP	A	Vaciado de concreto
	B	Vibrado
	C	Regleado
	D	Lampeado
TC	E	Transporte de concreto
	F	Mediciones
	G	Instrucciones
	H	Limpieza
TNC	I	Esperas
	J	Descanso

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	TI
4	3	3	2	4	3	1	2	3	0	25
4	6	1	1	1	6	0	4	5	0	25
2	1	1	0	3	4	0	2	3	0	25
1	0	1	0	2	4	0	2	3	0	25
4	6	0	2	3	6	0	2	3	0	25
1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	25
2	1	4	3	2	2	2	3	3	5	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
3	5	4	4	3	3	3	3	3	5	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
25	25	25	25	25	25	24	25	25	25	25

TOTAL	
32	TP
38	
23	
6	
16	TC
34	
2	
18	TNC
30	
0	
199	

Imagen 35. Carta Balance (Propia)

H-25. Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado

Descripción:

Standardized Work Combination Table o Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado propuesto por Nakagawa y Shimizu (2004) es una herramienta que determina el rango de trabajo y la secuencia de trabajo que cada miembro es responsable.

Esta tabla es una herramienta poderosa para comunicar el ritmo esperado a los trabajadores y para controlar la evolución de las tareas, proporcionando la exposición de problemas de corto plazo y su solución.

Uso del Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado:

- Como herramienta de entrenamiento, proporciona un estándar que puede ser fácilmente comunicado a los trabajadores durante el proceso de entrenamiento. Los trabajadores chequean su cuadro para verificar que están realizando el proceso correctamente.
- Como herramienta de calidad, si se encuentra un problema, el primer paso sería confirmar si el proceso ha sido seguido como lo indicado. El Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado hace que sea fácil auditar una operación.
- Como herramienta de gestión, el Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado permite a los Ingenieros manejen las operaciones diarias, mantener las cosas funcionando, conocer el lugar exacto donde se encuentran sus trabajadores.
- Como herramienta de mejora continua, permite identificar las pérdidas,
- Cada empresa puede tener su propio diseño de un Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado, por lo general se coloca en una columna vertical el nombre del trabajo y la tarea a realizar, y en una fila horizontal los tiempos de trabajo (ej. Horas), luego se señala el tiempo designado para cada tarea.

Ejemplo de aplicación:

Se presenta un ejemplo sencillo de un Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado para una cuadrilla de enchape de porcelanato en baño del piso 3 en un edificio de oficinas de 16 pisos.

En el cuadro se ha determinado las horas que le debe tomar a cada trabajador realizar sus labores, de esta manera permite el control y seguimiento de los trabajos a realizar.

Piso 3		DÍA : 07/12/13							
Trabajador	Tarea	1	2	3	4	5	6	7	8
Operario 1	Enchape de piso en baño D								
	Enchape de piso en baño E								
Operario 2	Enchape de zócalo en baño C								
Operario 3	Fraguado de Baño A								
	Fraguado de Baño B								

Imagen 36. Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado (Propia)

Como se mencionó previamente, cada empresa puede tener su propio diseño de un Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado, al cuadro presentado se le podrían agregar ítems como:

- Nombre de la empresa: Para agregarle formalidad
- Plano de ubicación del lugar de trabajo, para que sea fácil encontrar el lugar.
- Nombre de la persona responsable que elaboró el Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado.
- Nombre de la persona encargada de supervisar las tareas asignadas.

H-26. Poka Yoke:

Descripción:

Poka Yoke es una técnica desarrollada por el Ingeniero Japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, es una palabra japonesa que traducida al español significa "a prueba de errores". La idea es que no se realicen errores durante un proceso.

Poka Yoke se refiere a dispositivos, elementos o sistema que tienen como objetivo principal eliminar los defectos en un producto previniendo los errores antes que se presenten.

Si un producto es inspeccionado al final de su proceso de producción, no se podrán determinar los errores cometidos, la técnica presentada permite evitar los errores durante un proceso.

Por lo general, los defectos ocurridos por errores inadvertidos de los trabajadores son casi imposibles de controlar, ya que no se les puede estar controlando al 100%, de modo que es necesario que se evite cometer los errores.

Los 8 principios de mejora básica para el Poka Yoke³⁷:

1. Construya con calidad los procesos.
2. Elimine todos los errores y defectos inadvertidos.
3. Interrumpa el hacer mal y comience a hacer lo correcto ¡Ahora!
4. No piense en excusas, piense en cómo hacerlo bien.
5. Un 60% de probabilidades de éxito es suficientemente bueno. ¡Implemente su idea ahora!
6. Las equivocaciones y defectos podrían reducirse a cero si todos trabajan juntos para eliminarlos.
7. Diez cabezas son mejor que una.
8. Investigue la verdadera causa.

Poka Yoke no tiene un estándar, puede ser cualquier procedimiento, dispositivo o, sistema que ayude a prevenir los errores durante un proceso.

El ejemplo más común de un dispositivo Poka Yoke es una memoria USB, ya que solo permite que se inserte en una computadora de una sola forma no pudiendo cometer error en ello.

Ejemplo de aplicación:

El ejemplo presentado se trata de una plantilla (pre-marco) de puertas y barandas de balcón para evitar que el trabajo se realice incorrectamente, es decir que existan errores como: las medidas en obras no se encuentren de acuerdo a lo especificado, la puerta no encaje cuando sea colocada, la baranda sea más chica o más corta de lo pensado, entre otros.

³⁷ Hiroyuki Hirano, 2000



Imagen 37. Plantilla de marco de puerta y plantilla de balcón (De Vasconcelos, 2011)

H-27. Manuales de procesos constructivos:

Descripción:

Un manual de procedimientos es un documento formal que contiene la descripción de las actividades que se deben seguir durante un determinado proceso.

Permite conocer el funcionamiento interno de las tareas, ubicación, requerimientos y responsables de su ejecución. Ayudan a la capacitación del personal ya que describen en forma detalladas las actividades que se deben realizar.

En la industria de la construcción, existen muchos procedimientos constructivos que se realizan de acuerdo a la experiencia de las personas, no siempre las personas coinciden en el tipo de pasos que se debe seguir durante un determinado proceso, lo que no quiere decir que el producto final no sea el correcto, si no que podrían existir procedimientos más eficientes que otros. Los manuales de procedimientos constructivos permiten estandarizar el trabajo que se debe realizar, que exista un “lenguaje en común” entre los trabajadores.

Además de la eficiencia clara que existe para los trabajadores, también ayudan a las personas encargadas de la supervisión para controlar la calidad del proceso constructivo y que el producto final se encuentre dentro de los rangos establecidos.

Existen diferentes Manuales de Procedimientos Constructivos publicados por las instituciones educativas, empresas privadas o públicas. Cada empresa puede tener un conjunto de Manuales de Procedimientos Constructivos según los estándares que crean convenientes, siempre cumpliendo con las normas existentes (ej. Reglamento Nacional de Edificaciones), sin embargo existen algunas características que debe tener un manual:

1. Identificación:
 - Nombre de la empresa o persona que realiza el manual
 - Nombre del proceso constructivo
 - Lugar y fecha de elaboración
 - Número de revisión
 - Área responsable de su revisión
2. Índice: Relación de las páginas que conforman el documento.
3. Introducción
4. Objetivos: Breve explicación de los objetivos que se pretende cumplir con el procedimiento.
5. Conceptos: Relación de palabras técnicas que se emplean en el procedimiento.
6. Recursos: Lista de materiales, equipos y herramientas necesarios en el proceso constructivo. Si es posible con un análisis de costos de cada uno de ellos.
7. Mano de obra: Lista de la mano de obra necesaria para realizar el proceso constructivo. Si es posible con un análisis de costos y rendimientos.
8. Proceso Constructivo: Presentación de forma escrita y visual (imágenes) de cada una de las actividades que se realizan en el procedimiento, explicando en qué consisten, como se realizan, tiempo que debe tomar cada actividad y los responsables de llevarlas a cabo.
9. Lecciones aprendidas: Recomendaciones que se podrían dar en base a la experiencia que tiene la empresa.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de procedimiento de trabajo para la prueba de Slump del concreto Fresco, el procedimiento pertenece a la empresa Unicon:

Ensayo de Asentamiento

Objetivo:

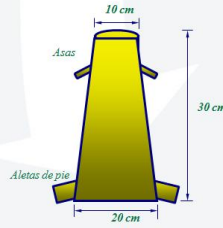
Establecer el procedimiento para realizar la medición del asentamiento del concreto en estado fresco.

Equipos y Materiales:

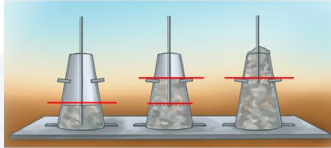
- 01 Cono de Abrams .
- 01 barra compactadora de 5/8" de diámetro, Long. = 60 cm. y punta semiesférica.
- 01 Wincha.



Procedimiento:

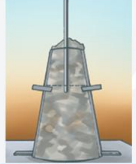


1. Humedecer las Herramientas
2. Colocar el cono sobre la superficie de apoyo, pararse firmemente sobre las aletas.



3. Realizar el llenado en 3 capas del mismo volumen, cada capa compactarla 25 veces en forma espiral de afuera hacia el centro.

4. La primera capa compactarla en todo su espesor, la segunda y tercera capa compactar el espesor correspondiente mas 1" de la capa que se encuentre debajo de ella.



Nota: Si al estar compactando la ultima capa el nivel del concreto baja del tope, se debe parar de compactar, rellenar el molde y terminar de aplicar las compactadas que faltaban para llegar a 25.

5. Enrasar, limpiar con cuidado los restos de concreto del contorno del cono.
6. Levantar el cono verticalmente, en un tiempo de 5±2 segundos (de 3 a 7 segundos) una altura de 30 cm sin girar.



7. Colocar el cono invertido al lado del concreto deformado.
8. Medir el Asentamiento, con una aproximación a ¼ de Pulgada.
9. Todo el Ensayo (de Inicio a Fin) debe realizarse en 2 ½ minutos.

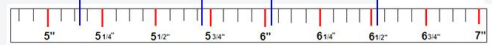


Medidas Válidas en una Lectura de Asentamiento:

- 5 ½"
- 3 12"
- 8 3/4"
- 6"



Medir el Asentamiento, con una aproximación a ¼ de Pulgada.



Clasificación por Tipo de Slump

Mezcla bombeable

CODIGO	TIPO DE SLUMP	RANGOS
A	Normal	2 ½" - 4"
B	Plastificado	4" a 6"
C	Superplastificado	6" a 8"
D	Rheoplástico	>8"
J	Autocompactado	Extensibilidad > 50cm.

Mezcla no bombeable

CODIGO	TIPO DE SLUMP	RANGOS
E	Normal	2 ½" - 4"
F	Plastificado	4" a 6"
G	Superplastificado	6" a 8"
H	Rheoplástico	>8"

Imagen 38. Procedimiento de trabajo para la prueba de Slump (Unicon, 2011)

H-28. Andon:

Descripción:

El término Andon fue usado por primera vez por la empresa Toyota y consiste en un sistema que evidencia los problemas o defectos en un proceso a partir de luces y sonidos que son activados por la persona que realiza el trabajo, parando el trabajo y dedicando un tiempo a corregir el error hallado, este tiempo no debe ser muy prolongado.

En la industria manufacturera, el centro del sistema Andon es un letrero incorporado de luces que indican que estación de trabajo posee un problema. Le da la capacidad al trabajador para parar la producción cuando un error es encontrado, y pedir ayuda inmediatamente.

El trabajo es parado hasta que no se solucione el problema. Los errores de proceso pueden ser archivados dentro de una base de datos del proyecto para su estudio como parte de un programa de mejora continua.

En la industria manufacturera, el tablero tiene generalmente cinco colores con los siguientes significados³⁸.

- Rojo: Avería en la máquina.
- Blanco: Final de una serie de producción (cantidad requerida).
- Verde: No se está trabajando por falta de materiales.
- Azul: Unidad/operación defectuosa.
- Amarillo: Se requiere preparación (cambio de herramientas)
- Sin luz: Trabajando normalmente.

A diferencia de la industria manufacturera, en la construcción no se tiene los sistemas automatizados, la gran mayoría de procesos se realizan en base a la mano de obra que se tiene, sin embargo existen ejemplos de la aplicación de este sistema a la industria de la construcción.

Ejemplo de aplicación:

El Ingeniero Marco de Vasconcelos presentó en una conferencia dada para la Pontificia Universidad Católica del Perú, el uso del sistema Andon en una obra de construcción.

En la obra existía un interruptor de tres componentes (Ver imagen), que era activado por un trabajador si existía un problema, el interruptor estaba enlazado a un sistema general de alarmas, por lo que oprimiendo un botón del interruptor se activaba la alarma correspondiente al piso donde se había producido el error. El personal encargado de la supervisión de la obra, podía detectar rápidamente el piso donde debían ir a revisar lo sucedido.

³⁸ Maldonado, 2008



Imagen 39. Sistema de alarmas (De Vasconcelos, 2011)

Los sistemas no tienen que ser necesariamente complejos, es posible implementar un sistema de tarjetas como el que se muestra a continuación:

En una determinada obra, se tuvo varios problemas con el encofrado de placas.

La cuadrilla de acero habilita las placas, luego una persona del staff técnico revisaba las placas y encontraba algunos errores como: el acero no se encontraba de acuerdo a los planos, falta de estribos, falta de refuerzo, entre otros. Se mandaba a levantar las observaciones a la cuadrilla de acero. La cuadrilla de encofrado al no conocer las observaciones dadas, y pensando que la placa se encontraba habilitada se disponía a encofrar la placa, lo que hizo que en muchas ocasiones, se tenga que encofrar en paralelo con el levantamiento de la cuadrilla de acero o si la placa se encontraba completamente encofrada, se deba retirar todo el encofrado, produciendo pérdidas de material y tiempo.

Al observar estos problemas, se decidió utilizar cartillas de color rojo y verde que indiquen si la placa se encontraba correcta o aun se encontraba en observación.

Las Cartillas tenían el siguiente estilo:

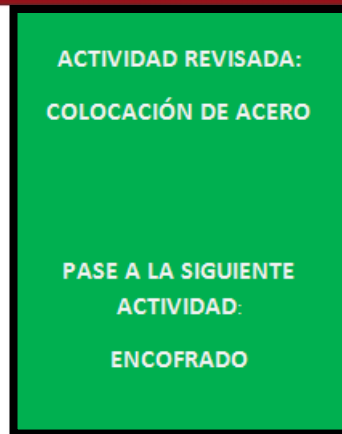


Imagen 40. Cartilla Verde de Actividad Revisada

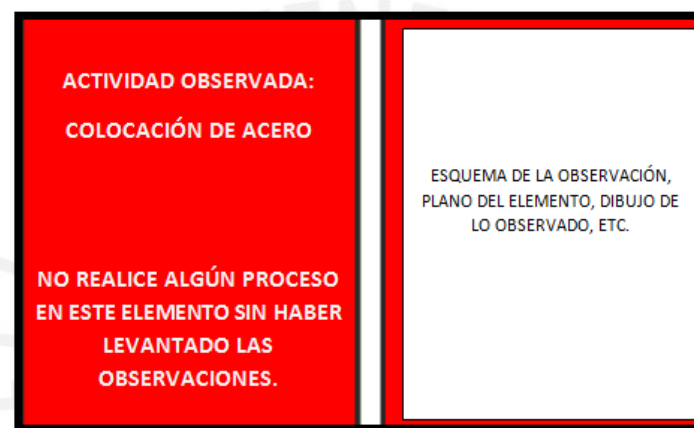


Imagen 41. Cartilla Roja de Actividad Observada (Propia)

Las cartillas se colocaban dentro de una mica para evitar que sean dañadas, y eran colgadas en las placas por la persona encargada de la inspección, de esta forma se identifican si existían errores en el habilitado del acero, y se paraba el proceso hasta que no se levanten las observaciones.

H-29. One Touch Handling:

Descripción³⁹:

One Touch Handling o Manejo es una herramienta propuesta por Glenn Ballard et al 2002 con un solo toque es un ideal lean que proporciona un buen indicador para los numerosos pasos de re-manipulación desde la recepción hasta el lugar para su uso del material. Algunos materiales pueden ser instalados directamente, mientras que otros son partes o componentes para las sub construcciones que aún no se ha producido. De esos

³⁹ Koskela et al, 2002

elementos que están listos para la instalación, algunos se pueden instalar directamente desde el vehículo de entrega.

Tres reglas “de oro” para materiales One touch Handling son:

- Descarga directa del material desde el vehículo de entrega hasta la posición final cuando sea posible (por ejemplo, los carretes de tubería, equipos).
- Si la descarga directa no es posible, descargar dentro del “alcance de la grúa” y que esta llegue a la posición final (por ejemplo, varillas de acero que requiere habilitación en el sitio).
- Entrega de consumibles (por ejemplo, disco de pulido, guantes) y las materiales básicos (por ejemplo: accesorios, tornillos) directamente a las manos de los usuarios finales, en lugar de mantenerlos almacenados y distribuirlos según lo requerido.

Ejemplo de Aplicación

Un material One Touch Handling son las pre losas (losa de concreto armada fuera de obra). Por lo general, las prelosas son izadas con el uso de un Torre Grúa desde el vehículo de entrega hasta su posición final. Se muestra la secuencia de instalación de las pre losas:

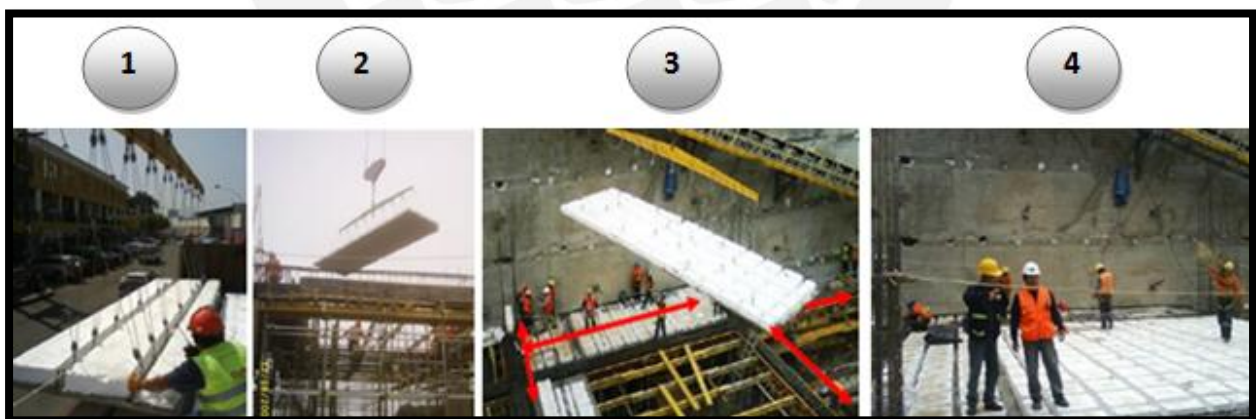


Imagen 42. Instalación de prelosas (Zurita, 2012)

1. Recepción del vehículo con la cantidad de pre losas solicitadas.
2. Izaje de las pre losas con el uso de un torre grúa.
3. Ubicación de las pre losas según el plano de estructuras en el lugar correspondiente.
4. Colocación de la pre losa en su posición final.

5. USO:

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



Uso es la quinta fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- Pruebas y Entrega
- Operaciones y Mantenimiento
- Alteraciones

Esta fase consiste en la entrega del producto al cliente final, luego de haber realizado las pruebas para certificar la calidad del producto. Además, implica trabajos de mantenimiento y modificaciones que podrían ocurrir en el producto.

Esta fase se encuentra a cargo del área de post-venta de una empresa. Las principales funciones de esta área son:

- Entregar el producto a tiempo a los clientes.
- Atender los reclamos o dudas de los clientes.
- Comprometerse con los clientes a levantar las observaciones dadas en el menor plazo posible.
- Realizar estadísticas con números importantes para la empresa como: número de reclamos por proyecto, tiempo promedio de solución de reclamos, costo de la solución de reclamos, entre otros.
- Gestión de lecciones aprendidas.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS:

9. **Pruebas y Entrega**: Este módulo fue explicado en la fase de Ejecución Lean

10. **Operaciones y Mantenimiento**: Una vez entregado el proyecto al cliente, la empresa traslada la responsabilidad del proyecto al usuario, sin embargo siempre existen reclamos por parte del cliente por la calidad del producto, por fallas en los equipos, entre otras; en este módulo se derivan todos los trabajos que se deben realizar para levantar las observaciones que presente el cliente sobre el producto entregado.

11. **Alteraciones**: Este módulo consiste en los cambios que se deseen realizar luego de haber entregado el producto final al cliente.

5.3 HERRAMIENTAS:

H-30. Evaluaciones Post - Ocupación:

Descripción:

Es una evaluación del producto luego de encontrarse en uso, es visto como una retro-alimentación del proyecto. Permite determinar por inspección, medidas y preguntas como el producto está siendo usado, de esta manera se comprueba si las necesidades y valores del cliente establecidas para el producto fueron las correctas.

Las Evaluaciones Post Ocupación desarrollado por el Instituto de La Construcción Lean permiten documentar las experiencias de un proyecto y que puedan servir de aprendizaje para proyectos posteriores. Son realizadas por el área de post-venta de una empresa y son dirigidas a los usuarios finales del producto.

Las Evaluaciones Post Ocupación pueden ser divididas en dos etapas (Carlos Formoso, 2003):

Primera etapa: El cliente llena un cuestionario, en el que se asigna un puntaje a cada ítem y al proyecto como un todo, de manera que se proporcione visibilidad a las fortalezas y debilidades del proyecto, y también para efectuar comparaciones en relación a otros proyectos o compañías.

Segunda etapa: Consiste en recolectar datos, mediante observaciones directas del producto, toma de fotografías, análisis de diseño, mapas conductuales, entre otros.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de aplicación de una evaluación de post ocupación.

SECCIÓN I - INFORMACIÓN GENERAL					
1. Nombre: _____					
2. Fecha: _____					
3. N° departamento: _____					
SECCIÓN II - SERVICIO DE LA EMPRESA					
Por favor seleccione el número que mejor represente su "nivel de acuerdo" para cada uno de las preguntas:					
1. Muy malo 2. Malo 3. Regular 4. Bueno 5. Excelente					
PREGUNTAS	1	2	3	4	5
¿Cómo calificaría el interés por parte de la empresa para satisfacer sus necesidades?					
¿Cómo calificaría el cumplimiento del plazo establecido por la empresa?					
¿Cómo calificaría los documentos brindados por la empresa?					
SECCIÓN III - CALIDAD DEL EDIFICIO COMO UN TODO					
Por favor seleccione el número que mejor represente su "nivel de acuerdo" para cada uno de las preguntas:					
1. Muy malo 2. Malo 3. Regular 4. Bueno 5. Excelente					
PREGUNTAS	1	2	3	4	5
Calidad de las áreas comunes					
Ubicación el edificio					
Apariencia externa del edificio					
Seguridad del Edificio					
SECCIÓN IV - CALIDAD DEL DEPARTAMENTO					
Por favor seleccione el número que mejor represente su "nivel de acuerdo" para cada uno de las preguntas:					
1. Muy malo 2. Malo 3. Regular 4. Bueno 5. Excelente					
PREGUNTAS	1	2	3	4	5
Calidad en la Sala-Comedor					
Calidad en los dormitorios					
Calidad en los baños					
Calidad en la cocina					
Calidad de los servicios eléctricos					
Calidad de los servicios de agua					
Calidad en los acabados					
Calidad de ventanas y puertas					

Imagen 43. Evaluación Post-Ocupación (Propia)

H-31. Manual del usuario:

Descripción:

Es un documento elaborado por la empresa encargada del proyecto, en donde se dan instrucciones de las características generales del departamento y el mantenimiento periódico del mismo. Este manual se le entrega al cliente junto con la entrega del producto.

Además contiene información sobre el tiempo de cobertura del departamento por parte de la empresa.

Cada empresa diseñará el manual de acuerdo a las instrucciones que crean convenientes y las características de su producto.

Ejemplo de aplicación:

La empresa Paz Centenario diseñó su manual del usuario:



Imagen 44. Manual del usuario (Paz Centenario, 2012)

En el manual se tienen instrucciones como:

- Materiales para la limpieza de los pisos.
- Cuidados de acabados de madera.
- Manejo del tablero eléctrico.
- Cuidados en las instalaciones sanitarias.

- Uso del sistema de iluminación.

En el manual se tienen indicaciones de garantías como:

- Garantía del sistema constructivo.
- Garantía del sistema estructural.
- Garantía de los aparatos sanitarios.
- Garantía de las instalaciones eléctricas

H-32. Formulario de Asistencia Técnica:

Descripción:

Esta herramienta consiste en capturar formalmente todos los requerimientos que podría tener el usuario del producto.

El formulario de Asistencia Técnica permitirá a la empresa registrar todos los requerimientos del cliente (dudas, reclamos), monitorear todas las fases de la ejecución del servicio, registrar los costos de cada requerimiento, la cantidad de personal requerido para cada tipo de actividad, el ingeniero responsable de cada actividad y buscar la satisfacción del cliente⁴⁰.

El formulario de Asistencia Técnica puede realizarse personalmente, donde un representante de la empresa va donde el cliente y llena el formulario, o podría realizarse de forma virtual, mediante una plataforma en internet donde cada cliente tenga un usuario y contraseña de la empresa.

Además, es importante mantener una base de datos con los requerimientos de los clientes para poder obtener estadísticas para evaluar su gestión las cuales podrían ser: reclamos por tipo de actividad, número de reclamos por proyecto, etc.

Ejemplo de aplicación:

Se muestran ejemplos del formulario mencionado:

Plataforma virtual – empresa Paz Centenario: Cada cliente tiene un usuario y contraseña para que ingresen al formulario de asistencia técnica virtual.

⁴⁰ Cupertino et al. 2011

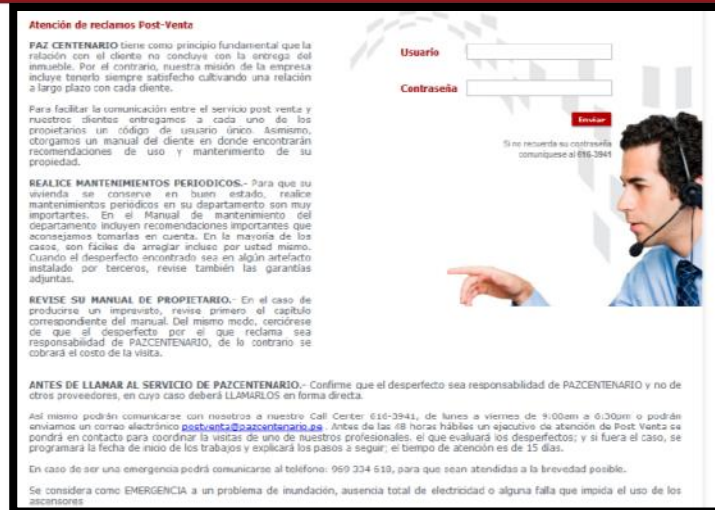


Imagen 45. Plataforma virtual (Paz Centenario, 2012)

FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA					
Datos generales					
Proyecto: _____			Edificio: _____		
Etapa: _____			Dpto: _____		
Datos del solicitante					
Nombre: _____			Mail: _____		
Apellidos: _____			Teléfono: _____		
RECLAMOS					
N°	Descripción del reclamo	Fechas			Evaluación
		Reclamo	Contacto Inicial	Respuesta	
1					
2					
3					
ATENCIÓN DE LOS RECLAMOS					
N°	Fechas		Conformidad de atención (Si/No)	Observaciones	
	Inicio de atención	Fin de atención			
1					
2					
3					
CONFORMIDAD DE LA SOLUCIÓN DE RECLAMOS					
El cliente declara que se encuentre conforme con los trabajos realizados en atención a su solicitud de reclamo.					
<p>.....</p> <p style="text-align: center;">Firma</p> <p>Nombre _____</p> <p>DNI _____</p> <p>Fecha _____</p>					

Imagen 46. Formulario de Asistencia Técnica para una empresa (Propia)

H-33. Plan de Inspecciones periódicas:

Descripción:

Es importante tener un plan de intervención, basado en la prevención del mantenimiento de los edificios, para aumentar el tiempo de vida del proyecto y prevenir los problemas futuros que se podrían presentar⁴¹.

Cupertino et al. 2011 propone el uso de un Plan de Inspecciones Periódicas, el cual muestra en qué momento del tiempo se deben realizar las inspecciones de cada sistema constructivo del proyecto. Este plan de inspecciones solo se realiza durante el tiempo de garantía del proyecto.

Además, la empresa podría ofrecer el sistema de mantenimiento del proyecto (pasado la garantía), mediante un acuerdo contractual con el cliente.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de aplicación de un plan de inspecciones periódicas, en el cuál se establecen los tiempos en los cuales se deben realizar las inspecciones al proyecto. Además, en la columna de Frecuencia de Servicio se coloca cada cuanto tiempo se le realiza mantenimiento al tipo de sistema constructivo.

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO E INSPECCIONES												
ITEM	Tiempo Sistema Constructivo	6 meses	1 año	1 1/2 años	2 años	2 1/2 años	3 años	3 1/2 años	4 años	4 1/2 años	5 años	Frecuencia de Servicio
		1	Estructura de concreto		x		x		x		x	
2	Estructura metálica						x					Cada 3 años
3	Impermeabilización	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cada 2 años
4	Instalaciones sanitarias	x	x	x	x		x		x		x	Cada 2 años
5	Instalaciones eléctricas		x		x		x		x		x	Cada 2 años
6	Recubrimiento de pared	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cada 2 años
7	Pintura interior y exterior				x				x			Cada 2 años
8	Vidrios		x		x		x		x		x	Cada 2 años

Imagen 47. Frecuencia de Mantenimiento Preventivo e Inspecciones (Cupertino et al., 2011)

⁴¹ Daniel Cupertino et al. 2011

H-34. Diagrama de flujo y tiempo de entrega de las actividades:

Descripción:

La herramienta propuesta por Cupertino et al. 2011 consiste en realizar un diagrama de flujo de las actividades realizadas durante el proceso de recepción y levantamiento de un reclamo del cliente.

El equipo de post venta elabora el diagrama de flujo, en donde se deben establecer los tiempos de entrega de cada actividad, dando la posibilidad de analizar la posibilidad de reducir los tiempos de entrega, generando valor al servicio.

Ejemplo de aplicación:

La primera figura muestra las actividades encontradas por el equipo de post venta durante para el levantamiento de un reclamo. En la segunda figura se muestra el diagrama de flujo, con la reducción de los tiempos de entrega.

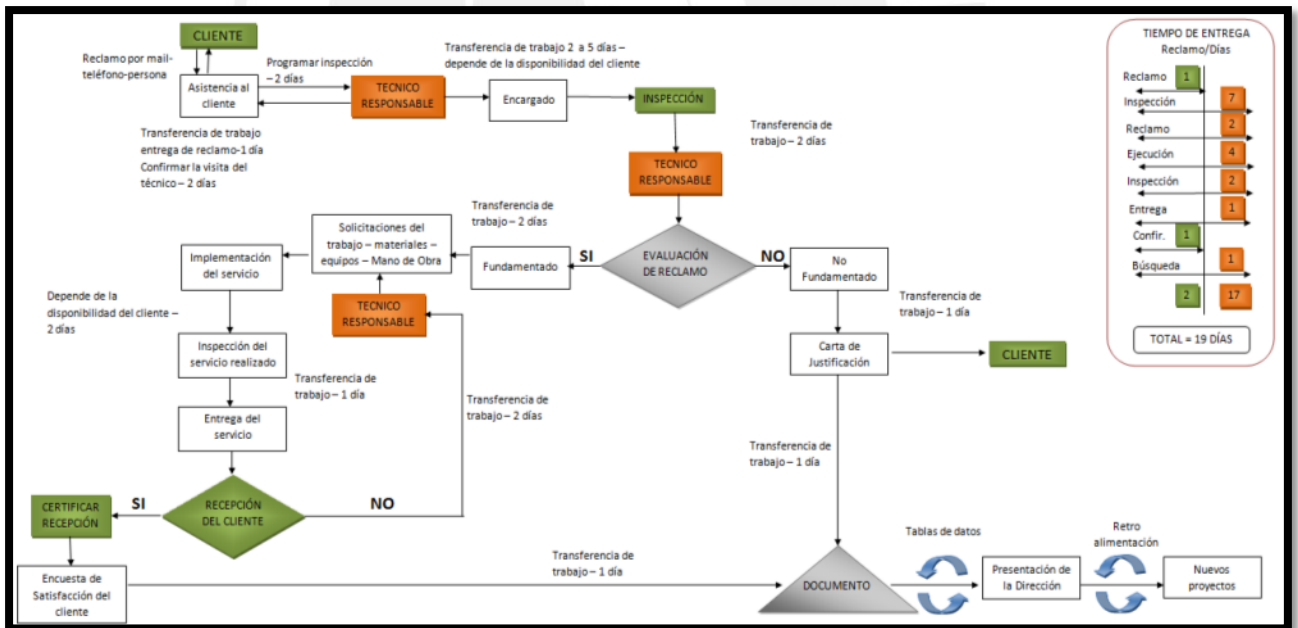


Imagen 48. Diagrama de Flujo original (Cupertino et al., 2011)

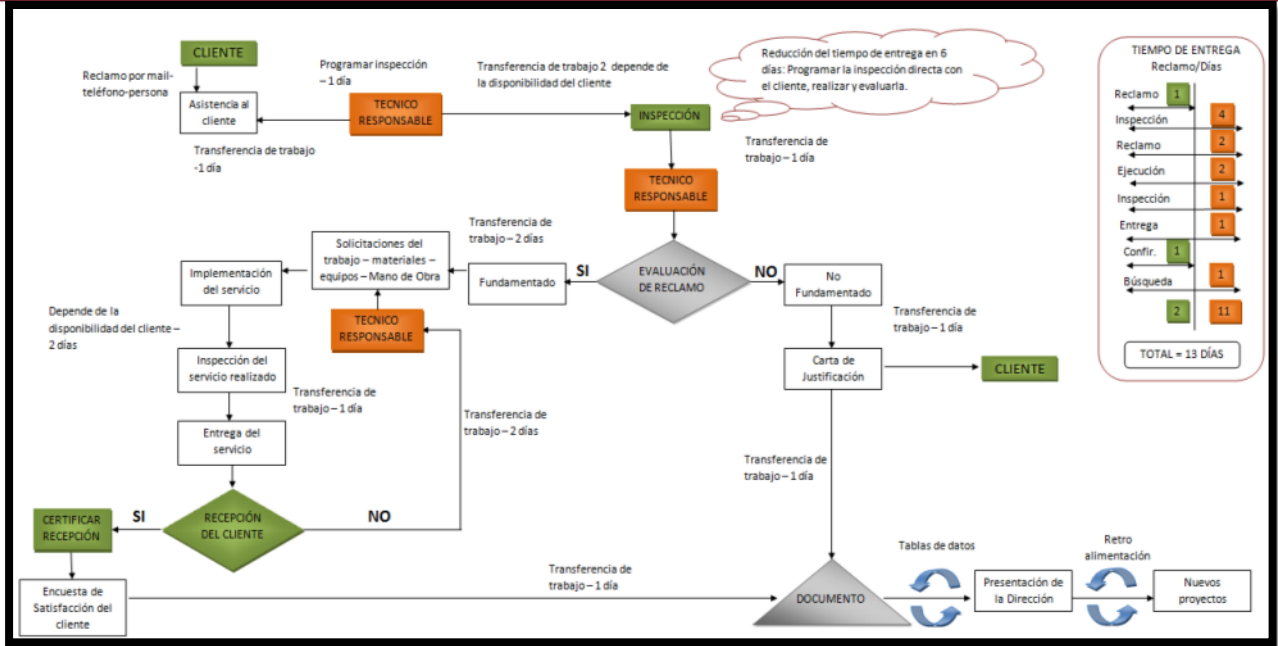
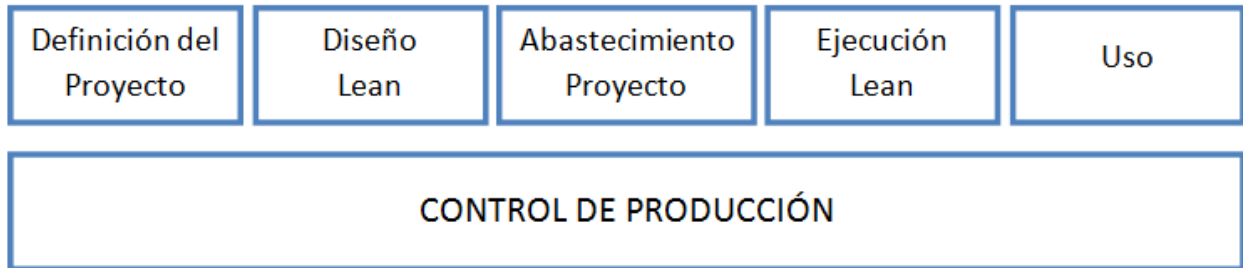


Imagen 49. Diagrama de Flujo final (Cupertino et al., 2011)



6. CONTROL DE PRODUCCIÓN:

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



La fase de Control de Producción regula la ejecución de los planes a lo largo de todo el proyecto. Tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo y la unidad de producción, asegurando que el trabajo planeado sea igual al trabajo ejecutado.

Esta fase recorren todas las fases del proyecto desde la definición hasta el uso.

El control de la producción que se busca no consiste en identificar las diferencias entre el plan y las reales, sino anticipar el futuro a fin de evitar diferencias entre lo que se planifica y lo realmente ejecutado, de esta manera se evitan o reducen las acciones correctivas posteriores que impactan tanto en costos como en tiempos al resultado final.

El control de producción en la filosofía Lean se basa en el Last Planner System o el Sistema del Último Planificador.

6.2 SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR:

El Last Planner o Sistema del Último Planificador fue desarrollado por Herman Glenn Ballard y Gregory A. Howell.; es una filosofía, regla y procedimientos, y una serie de herramientas que facilitan la implementación de esos procedimientos. En relación a los procedimientos, el sistema tiene dos componentes: control de las unidades de producción y control del flujo de trabajo⁴².

El control del flujo de trabajo se refiere a que se debe hacer que fluya el trabajo activamente a través de las unidades de producción para lograr objetivos más alcanzables (D. Miranda 2012). El control de flujo de trabajo, coordina el flujo del diseño, abastecimiento, e instalación a través de las unidades de producción (Ballard, 2000).

⁴² Ballard, 2000

Mientras que el trabajo de control de las unidades de producción es hacer que las asignaciones realizadas a las unidades de producción (trabajadores o cuadrillas) sean mejores mediante el aprendizaje y acciones correctivas a su debido momento, de esta manera este componente coordina la ejecución del trabajo, dentro de unidades de trabajo tales como los equipos de construcción y los de diseño (Ballard 2000)

La Planificación es definir lo que se va a hacer y cómo se hará, Control es hacer suceda. Un proyecto está bajo control cuando podemos hacer lo que decimos que vamos a hacer. Establecer compromisos en un corto plazo es esencial para lograr los objetivos del proyecto. Esta es una definición diferente de Control usada en la práctica actual. El diseño del Sistema del Último Planificador hace que sea posible pero las personas hacen que el sistema funcione por como hacen y mantienen sus compromisos. Hacer y mantener promesas es una habilidad esencial requerida en este sistema. Los planes elaborados en cada nivel son promesas a alguien, al más alto nivel para el cliente, en el nivel del último planificador con los equipos que le siguen y trabajan en paralelo.

Los Últimos Planificadores preparan las tareas para las personas que realizan el trabajo. Tienen un trabajo complejo y difícil porque los Últimos Planificadores deben planificar y prepararse para el futuro, y supervisar el trabajo en acción. Mantener la calma en el equipo, asegurarse que el trabajo sea seguro, resolver los problemas, y hallar maneras de mejorar los procesos, son todos partes de su trabajo.

Decirles a las personas que deben hacer no es suficiente. El sistema de planificación debe asegurarse que tienen lo que se necesita para hacer el trabajo. Descubrir lo que se PUEDE hacer no asegura un flujo de trabajo continuo. Una tarea confiable, que se realiza en el tiempo requerido, es aquella que se HARÁ después de considerar lo que se DEBERÍA hacer y lo que PUEDE hacer. Las tareas son realizadas cuando se encuentran bien definidas, se han analizado sus recursos, se estableció una secuencia correcta y se encuentra dentro de la capacidad del equipo de trabajo.

La aplicación continua del Sistema del Último Planificador en una obra de construcción, incrementa significativamente la confiabilidad de su planificación. Esto permite al ingeniero residente, conjuntamente con todo el equipo de obra, eliminar una gran cantidad de pérdidas ocasionadas por la incertidumbre y la alta variabilidad, típicas de los procesos constructivos⁴³.

⁴³ Orihuela et al. 2011

6.3 COMPONENTES

Las herramientas presentadas son parte del Sistema del Último Planificador y se presentan en la forma secuencial que deben realizarse.

H-35. Planificación Maestra:

Descripción:

Es la planificación para todo el proyecto, usado dentro del Grupo Internacional de la Construcción Lean, se realiza un análisis macro en donde se desarrolla las estrategias de ejecución del proyecto. Se trabaja dividiendo el proyecto en fases y estableciendo relaciones secuenciales entre estas, debe demostrar la viabilidad de realizar el proyecto en el tiempo disponible, desarrollo de estrategias para su ejecución e identificar puntos importantes para el equipo multidisciplinario.

La planificación maestra debe desarrollar en la medida de lo posible, el detalle del inicio del proyecto con el fin de conocer la relación entre las fases, determinar los recursos que se requieran a largo plazo (ej. ascensor), identificar áreas de alta incertidumbre y posibilidades de cambio.

Este tipo de planificación identifica las actividades, pero no representa el flujo de los requerimientos, solo la relación secuencial entre las fases. Esta programación puede estar sujeta a modificaciones y ajustes de acuerdo al estado del proyecto.

Ejemplo de Aplicación:

Se muestra un ejemplo de la programación maestra del casco de una obra donde se identifican las actividades importantes de la estructura:

ACTIVIDAD	MESES							
	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.
Obras Provisionales	♦							
Movimientos de Tierras			S2					
Calzaduras			S2					
Cimentación			S2					
Muro de Contención				S2 S1				
Columnas y Placas				S2 S1 1P	2P 3P 4P	5P 6P 7P		
Vigas y Losas				S2 S1 1P	2P 3P 4P	5P 6P 7P		
Tabiquería					1P	S2 2P 3P	4P 5P	6P 7P
Tarrajeos						S1 1P 2P	3P 4P	5P 6P
Pisos					S2		1P 2P	3P 4P

Imagen 50. Planificación maestra (Orihuela et al., 2011)

H-36. Planificación por fases:

Descripción:

Consiste en detallar las actividades necesarias para la ejecución de una fase del proyecto, identifica las pautas necesarias para la liberación de trabajo de una actividad a otra y establece la secuencia de estas actividades.

Una planificación por fases tiene como propósitos el elaborar un plan para completar una fase del trabajo (Ballard, 2000):

- Que Maximiza la generación de valor.
- Que todos los involucrados entiendan y apoyen.
- En donde las actividades programadas se elaboren en base al proceso lookahead para ser explotada en detalles operativos y sea preparado para la asignación de los planes de trabajos semanales.

Los participantes en la planificación por fases están representados por aquellas personas involucradas en la fase en análisis.

El proceso de la planificación por fases involucra (Ballard, 2000):

1. Definir el trabajo que se incluirá en cada fase.
2. Determinar la fecha de finalización de la fase, además de requerimientos para las fases previas o fases posteriores.
3. El uso de un equipo de planificación o la técnica de post-it en la pared, en el cual se va desarrollando la red de actividades necesarias para completar la fase, trabajando hacia atrás desde la fecha de finalización, e incorporando los hitos intermedios.
4. Aplicar la duración de cada actividad, sin la contingencia o aumento en las estimaciones de duración. Tratando de usar el tiempo que se puede esperar en condiciones normales.
5. Reexaminar la lógica para tratar de reducir la duración.
6. Determinar la fecha de inicio más temprana para la fase.
7. Si hay tiempo de sobra después de comprar el tiempo entre el inicio y la finalización de la duración de la actividades en la pared, se debe decir que actividades buffer habrán para el tiempo adicional.
8. ¿El equipo está cómodo que los buffers son suficientes para asegurar la finalización dentro de los hitos? Si no es así, entonces, se replantean o cambian los hitos según sea necesario y posible.

9. Si hay exceso de tiempo disponible, se debe decidir si se desea acelerar el calendario o utilizar el exceso para aumentar la probabilidad de terminar a tiempo.

Ejemplo de aplicación:

Se muestra un ejemplo de una planificación por fases, en donde se está analizando la fase de cimentaciones, la cuál ha sido analizada hasta llegar a los pasos que se debe seguir en la operación de uno de los procesos de la fase.

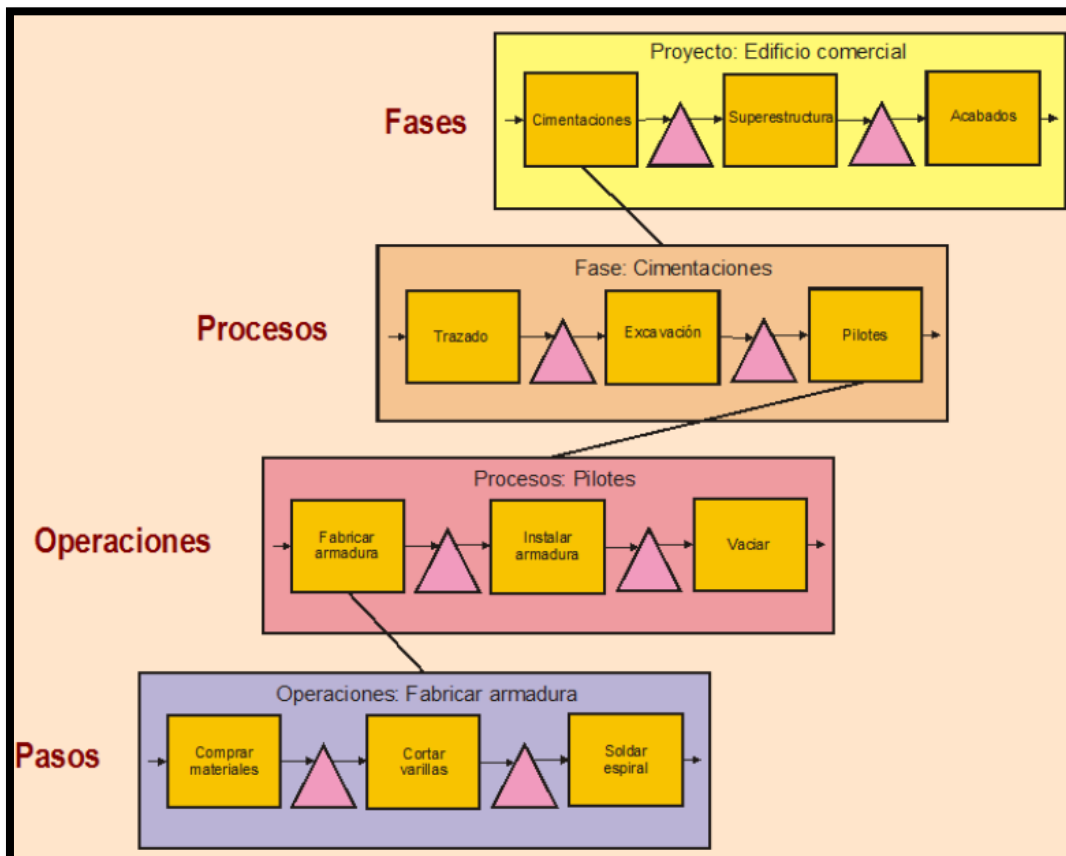


Imagen 51. Planificación por fases (Miranda, 2012)

H-37. Planificación Lookahead:

Descripción:

El término en inglés “lookahead”, propuesto por Ballard y Howell 1994, se puede traducir o interpretar como una “vista anticipada” dentro del cronograma maestro, un intervalo de tiempo en el futuro que permite tener una idea inicial de las actividades que serán ejecutadas. Tiene como principal objetivo el control del flujo de trabajo.

Por lo general, la planificación abarca las actividades dentro de un intervalo de tiempo de 4 ó 6 semanas. El último planificador se encarga de realizar este tipo de planificación junto con el equipo de trabajo.

Pasos para la planificación Lookahead⁴⁴:

1. Seleccionar aquellas actividades que se sabe que se podrían realizar cuando se programen. Tomar en cuenta si existen cambios en el diseño, temas sin resolver, disponibilidad de materiales y la probabilidad de que las actividades previas puedan ser terminadas cuando se necesiten.
2. Dividir las actividades en asignaciones. Una asignación es una orden directa de trabajo y, por lo tanto, es el nivel más de la planificación.
3. Analizar las restricciones, proceso que se realiza para saber si las asignaciones pueden ejecutarse cuando se han programado. Se divide en dos:
 - Identificar las restricciones, adelantándose a seleccionar las posibles causas que pudieran hacer que una actividad no se realice.
 - Analizar las restricciones, que consiste en ver si se tiene la información suficiente, si se cuentan con todos los recursos, si los trabajos preliminares se van a terminar, etc. Sólo pueden avanzar en las semanas y entrar en la programación aquellas asignaciones que se encuentren listas y sin restricciones.

Los factores a tomar en cuenta en el análisis de restricciones son: el cumplimiento de las tareas precedentes, el diseño y especificaciones de los detalles constructivos, la disponibilidad de componentes y materiales, la disponibilidad de mano de obra, de equipo, de espacio y la consideración de posibles impedimentos por condiciones externas.

4. Mantener un grupo de asignaciones denominado “trabajo de reserva”, el cual es un “buffer” para mantener la eficiencia de la labor si las actividades planeadas no se pueden ejecutar o si el personal termina antes de lo previsto.
5. Equilibrar la cantidad de trabajo por hacer con la capacidad que se tiene en obra.
6. Listar los requisitos que se deben tener en cuenta para ejecutar las asignaciones en la semana que se han programado.

Ejemplo de Aplicación:

Se muestra un ejemplo de una planificación Lookahead de 4 semanas, en donde se ha estimado que el tiempo para construcción de las placas y columnas del sótano 2 abarca desde el día 1 hasta el día 10, el día 11 se comienza con las placas y columnas del sótano 1 hasta el día 19. Así mismo, como es necesario que existan las placas para poder comenzar con el armado de vigas y losas, están se encuentran programadas para comenzar el día 3.

⁴⁴ Orihuela et al. 2011

ACTIVIDAD	ENERO																															
	SEM 11-01								SEM 11-02								SEM 11-03								SEM 11-04							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Columnas y Placas																																
Fierro Columnas y Placas																																
Encofrado Columnas y Placas																																
Concreto Columnas y Placas																																
Losas, Vigas y Escaleras																																
Fierro Losas, Vigas y Escalera																																
Encofrado Losas, Vigas y Escalera																																
Ladrillo de Techo																																
Concreto Losas, Vigas y Escalera																																

Imagen 52. Lookahead (Orihuela et al., 2011)

H-38. Plan de Trabajo Semanal:

Descripción:

Este tipo de planificación es la última antes de la ejecución de una tarea, tiene como objetivo principal el control de las unidades de producción. La planificación semanal fue propuesto por Ballard y Howell 1994.

Es una programación de las tareas “sin restricciones” que el equipo de producción se compromete a ejecutar en la semana, la programación debe ir acorde a lo establecido en la planificación Lookahead. Las tareas asignadas se determinan tomando en cuenta la prioridad, secuencia de trabajo y si se tienen recursos necesarios.

Ejemplo de Aplicación:

Se muestra un ejemplo de aplicación de una programación semanal, esta programación ha sido realizada en base a la planificación Lookahead previamente mostrada, además se le ha asignado a cada actividad el metrado del trabajo que se debe realizar, por ejemplo se observa que se ha estimado que se vaciaran 23 m3 de concreto en columnas y placas durante toda la semana. Junto con la programación semanal se tiene el análisis de restricciones, para observar que todas las actividades puedan ser realizadas según lo planeado.

ACTIVIDAD	ENERO					Und	Metrado	RESTRICCIONES						Liberado	
	Sem 11-03							Información	Actividad Precedentes	Espacio	Mano de obra	Material	Equipos		Condiciones Externas
	17	18	19	20	21										
Columnas y Placas															
Fierro Columnas y Placas						kg	4,000	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Encofrado Columnas y Placas						m ²	250	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Concreto Columnas y Placas						m ³	23	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	No
Losas, Vigas y Escaleras															
Fierro Losas, Vigas y Escalera						kg	2,900	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Encofrado Losas, Vigas y Escalera						m ²	255	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Ladrillo de Techo						und	2,900	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Concreto Losas, Vigas y Escalera						m ³	70	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	No

Imagen 53. Programación Semanal (Orihuela et al., 2011)

H-39. Porcentaje del Plan Cumplido (PPC):

Descripción:

El Porcentaje del Plan Cumplido, propuesto por Ballard y Howell 1994, permite estimar cuanto de lo establecido en la programación semanal se ha cumplido verdaderamente, el PPC compara lo que se planeó ejecutar versus lo que realmente se ha ejecutado, en el PPC una tarea ejecutada se considera solamente si fue concluyó según lo especificado en la programación semanal, es decir si una tarea se ha desarrollado pero no está concluida, en el PPC se coloca como si no se hubiera realizado (así falte poco para concluirlo). Esta herramienta es importante porque sirve como retroalimentación para posteriormente implementar mejorar y aprender de las fallas cometidas al asignar una tarea.

Ejemplo de Aplicación:

Se muestra un ejemplo de aplicación, en donde compara el porcentaje de plan cumplido durante 4 semanas, como se observa en ninguna de las semanas se logra cumplir la programación semanal establecida, sin embargo también se puede observar que a medida que pasan las semanas, el porcentaje de PPC va aumentando (a excepción de la semana 11-03), esto nos indica que existe un proceso de mejora continua y los encargados de realizar la programación semanal se van dando cuenta de los errores antes cometidos.

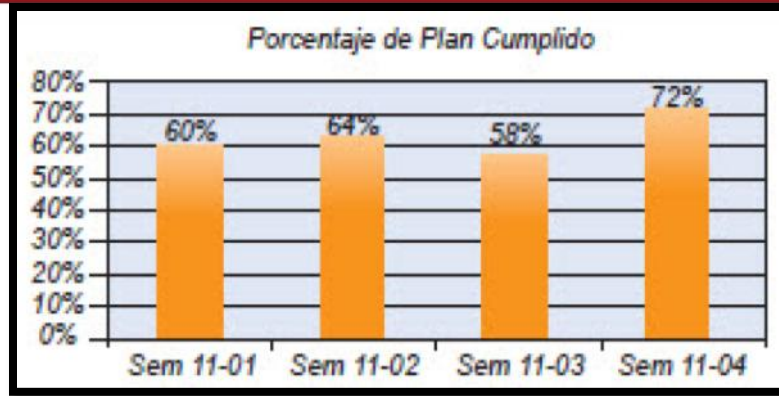


Imagen 54. PPC (Orihuela et al., 2011)

H-40. Razones de No Cumplimiento:

Descripción:

Las razones de No Cumplimiento, propuesto por Ballard y Howell 1994, son todas aquellas causas que no permitieron cumplir con la tarea programada en la programación semanal. La identificación de estas causas es parte del proceso de retroalimentación y así mejorar los planes futuros que se realicen.

Algunas razones de incumplimientos comunes (Howell, Gregory.LCI):

	Construcción
Directivos	Cambio de diseño
	Información no comunicada.
Trabajo precedente	Aprobación necesaria no recibida.
	Los materiales no llegaron como lo acordado
	No se hubo respuesta de información requerida
Recursos	No se tuvo acceso a la zona de trabajo
	Inasistencia del personal
Proceso	Planeamiento de demasiado trabajo
	Coordinación inadecuada
	Emergencias

Ejemplo de Aplicación:

Se muestra un ejemplo de aplicación, en donde se han determinado las causas de no cumplimiento de la Semana 11-03, se puede observar que la mayor causa es la falta de información que había en la obra (40%), además no se tenían las cantidades de materiales suficientes para realizar los trabajos asignados (30%).



Imagen 55. Razones de No Cumplimiento (Orihuela et al., 2011)

H-41. Líneas de Balance

Descripción⁴⁵:

La línea de balance fue desarrollada por la compañía Goodyear Tire & Rubber Company en la década del cuarenta y posteriormente implementada por la armada norteamericana en la década del cincuenta.

La Línea de Balance es una técnica de programación que permite mostrar el trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea, o barra, en una gráfica, en vez de una serie de actividades como se haría en un diagrama de barras. Un proyecto típico podría ser uno de vivienda consistente en varias unidades que requieren el mismo tipo de trabajo, tal como cimentación, muros de block, techos de concreto y acabados e instalaciones. Si estas actividades fuesen programadas con un diagrama de barras sería como el que se muestra en la Figura 56.

⁴⁵ Loría, 2010

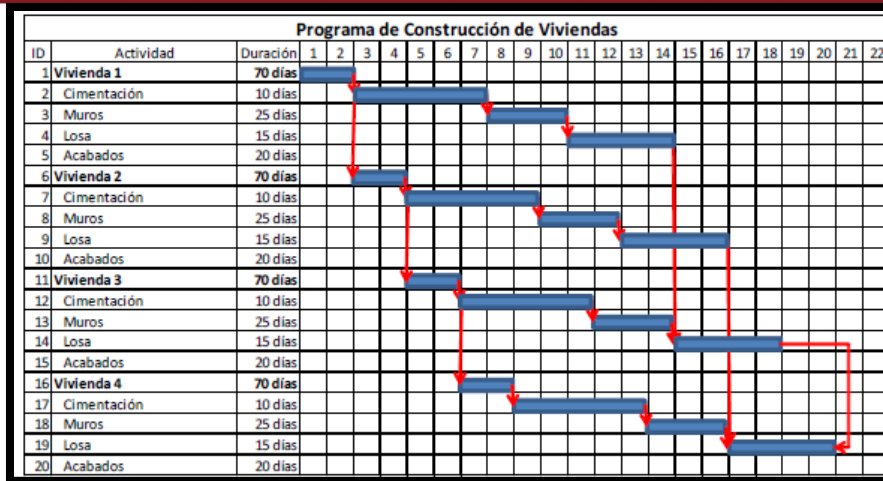


Imagen 56. Programación de una Vivienda con Diagrama de Barras (Loria, 2010)

Ahora bien, si el mismo proyecto se programa con la técnica de Línea de Balance, este se vería como se muestra en la Figura 57.

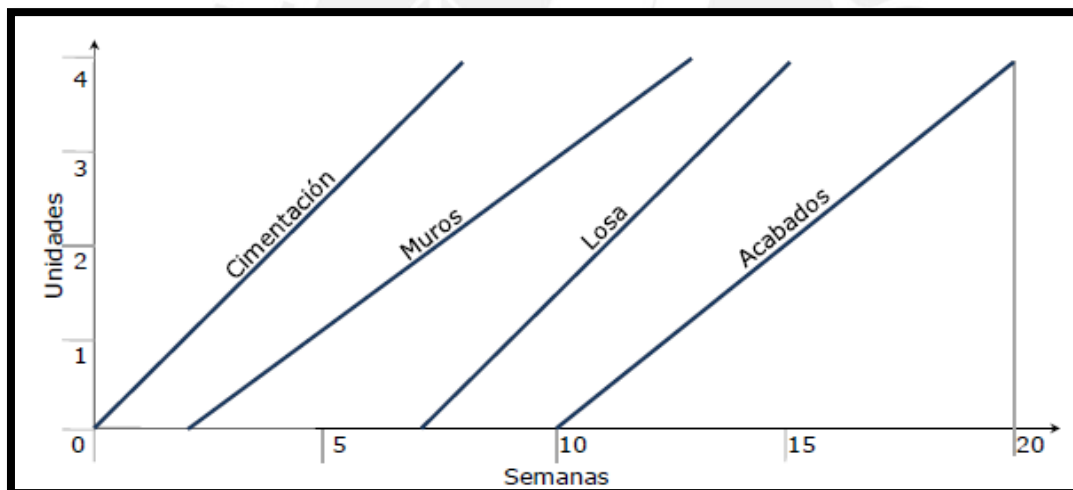


Imagen 57. Programa de Vivienda con la Línea de Balance (Loria, 2010)

Como se puede observar, la diferencia entre las dos gráficas anteriores es muy significativa, pues en la de la LDB se puede consolidar un grupo de actividades similares en una sola línea y, por consecuencia, representar un gran número de actividades comunes en un documento mucho más sencillo y pequeño a la vez. A diferencia de un diagrama de barras (resultante de CPM, PDM o PERT), que muestra la duración de una actividad particular, una gráfica de LDB muestra el “ritmo” de trabajo al cual deben ser realizadas todas las actividades que conforman el proyecto para concluirlo de acuerdo a lo programado, la relación de un grupo de actividades con respecto al grupo subsecuente y, si un grupo está atrasado, el impacto de éste sobre el grupo posterior. En este sentido,

una gráfica de LDB no muestra relaciones directas entre actividades individuales; muestra una relación de resultados entre las diferentes operaciones y cómo cada operación debe ser completada a un ritmo particular para que la subsecuente proceda al ritmo requerido. En la Figura 68 el eje “x” representa el tiempo y el eje “y” el número de unidades. Sin embargo, en la LDB se pueden representar unidades de trabajo tales como metros lineales, m_2 y m_3 , o inclusive las tres al mismo tiempo en el eje “y”, cada una para una operación diferente. A este respecto, la excavación podría ser graficada mostrando la cantidad de suelo por excavar en cada día, las zapatas podrían graficarse mostrando el número de ellas que debieran colarse cada día, el concreto de la losa podría representarse indicando el número de colados que debieran completarse cada semana, y así de manera similar las demás actividades. Inclusive, las actividades de instalaciones mecánicas y eléctricas pueden ser representadas en una gráfica de la LDB, mostrando el número de metros de ductería y metros de cable por colocar, ya sea por día o por semana.

La gráfica de la LDB también sirve para mostrar el avance real del proyecto. El ritmo de trabajo planeado de las diferentes operaciones puede ser contrastado contra sus respectivos avances reales. La fecha probable de terminación puede ser extrapolada basándose en el ritmo real de trabajo. Si el ritmo real de trabajo es menor que lo requerido, se pueden realizar los ajustes necesarios para incrementar el nivel de producción. Por ejemplo, en la Figura 58 se muestra la gráfica de la LDB actualizada al término de la semana 12 del proyecto. Se puede ver que la Cimentación está dentro de programa y casi concluida pero los Muros y la Losa están retrasados. Los acabados todavía no inician, pero el ritmo de trabajo esperado ya ha sido graficado y, por extrapolación, se ve que la primera unidad será completada tres semanas tarde.

Esta demora puede corregirse incrementando los ritmos de producción de los Muros, la Losa y los Acabados, ya sea tomando medidas para incrementar la eficiencia o incrementando los recursos necesarios a aquella operación donde no se está logrando la producción esperada.

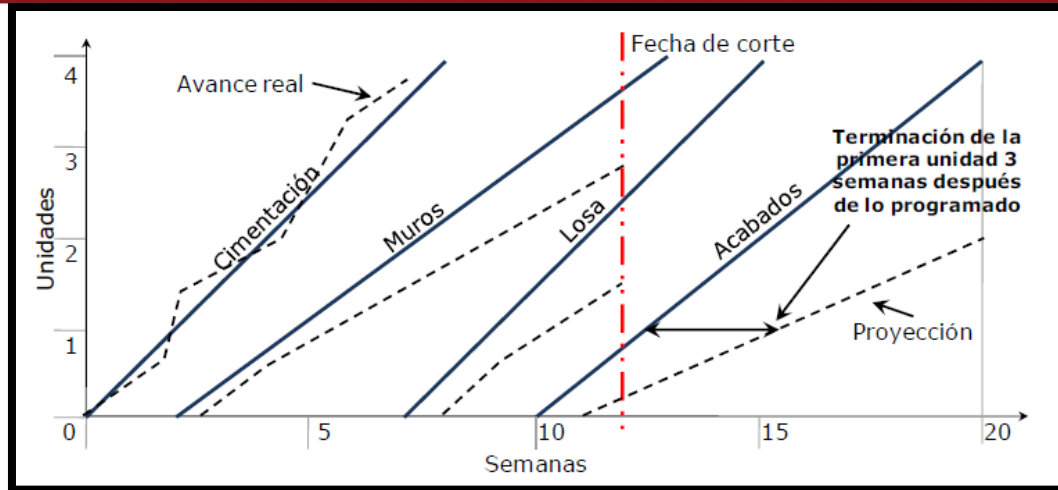


Imagen 58. Programa actualizado de viviendas con la Línea de Balance (Loria, 2010)

Procedimiento para elaborar un programa de obra con la Línea de Balance (LDB):

1. Preparar un diagrama lógico de actividades.
2. Estimar las horas-hombre para ejecutar cada actividad.
3. Seleccionar los tiempos de espera condicionados (buffers) que eviten el riesgo de interferencias entre actividades.
4. Calcular el rendimiento requerido en cada actividad para completar la obra en el tiempo establecido.
5. Elaborar una tabla con los cálculos necesarios.
6. Dibujar el diagrama o programa de avance, con los resultados de la tabla.
7. Examinar el diagrama y considerar la posibilidad de alternativas más "balanceadas", tales como:
 - Cambiar el rendimiento de alguna actividad (reduciendo o aumentando el Número de cuadrillas a lo largo de la duración de la misma).
 - Despedir alguna(s) cuadrilla(s) y re contratarla(s) más adelante.
 - Ejecutar de manera simultánea algunas actividades.

Ejemplo de Aplicación⁴⁶:

Se presenta un caso sencillo de un proyecto donde hemos aplicado el método de la Línea de Balance en la elaboración de la programación maestra, se trata de un edificio multifamiliar de 15 pisos con 02 sótanos, los 13 primeros pisos tienen una distribución típica de 3 departamentos por planta y los dos últimos pisos tienen un recorte a dos

⁴⁶ Orihuela et al, 2013

departamentos por planta, el área techada del piso típico es de 318 m² y el área techada total es de 5,600 m². El sistema estructural corresponde al de una edificación de concreto armado de tipo dual (pórticos y muros estructurales), para la tabiquería se ha usado albañilería de ladrillo con columnas de confinamiento y los sótanos se han construido usando el sistema de muros anclados. La figura 68 muestra la estructura del piso típico y una vista panorámica del edificio.

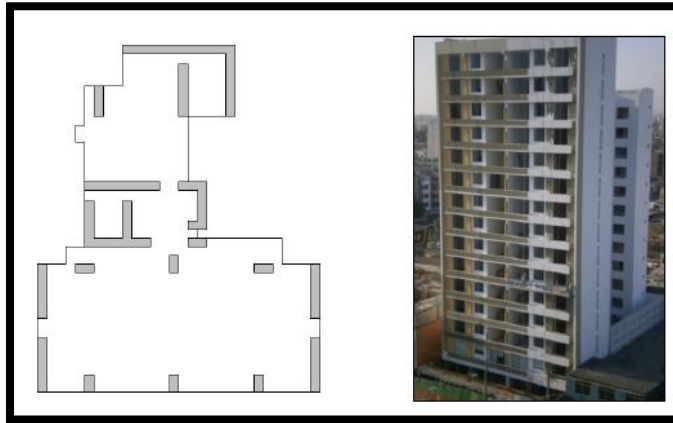


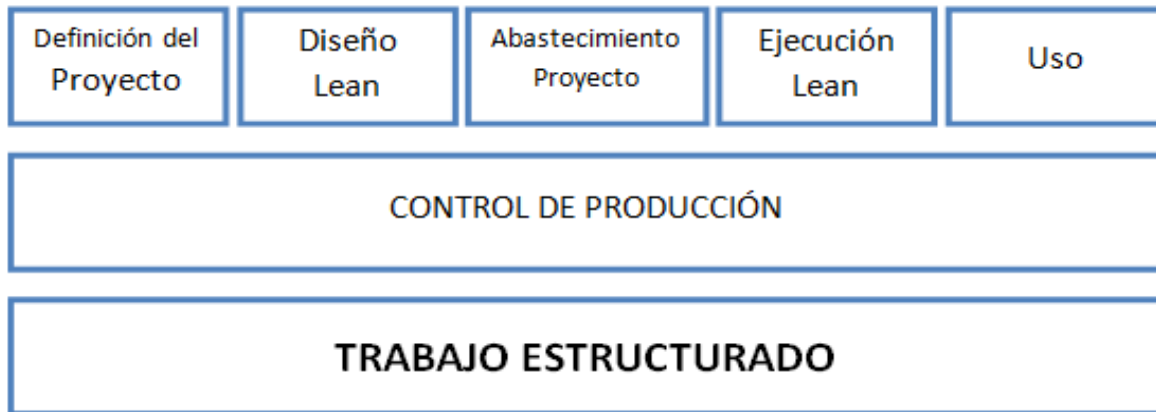
Imagen 59. Piso típico y vista del edificio en etapa de acabados (Orihuela et al., 2013)

Las actividades mostradas en la programación maestra (ver Figura 67), fueron seleccionadas teniendo en cuenta que representan puntos de control importantes dentro del desarrollo de la obra, con ellas se puede evaluar el estado de la performance global del avance y se pueden hacer proyecciones acerca del plazo de ejecución del proyecto. El tiempo unitario de las actividades seleccionadas se estimó en base a ratios de experiencias anteriores, para la actividad “Muros Anclados” se consideró un ratio de 4 semanas por sótano y para la actividad “Pórtico” se consideró 1 semana por piso. En consecuencia a partir del piso típico todas las actividades deberán mantener un ritmo de entrega final de 01 semana por piso.

La Figura 67 muestra en líneas discontinuas lo programado y en líneas continuas lo realmente avanzado, de esta manera nos ha sido muy fácil monitorear de una forma muy visual los plazos de cada actividad. En los casos en que las pendientes se han ido desviando de su ritmo previsto se han tomado las respectivas acciones para no generar un retardo en cadena que afectaría directamente al plazo contractual de todo el proyecto. Como se puede observar en la Figura 71, la línea de actividad del “Pórtico” inició sus entregas dentro de lo programado, pero luego de unas semanas comenzó a desfasarse debido a unos incumplimientos del proveedor de concreto premezclado, sin embargo gracias a los correctivos aplicados a tiempo, se pudo terminar esta actividad dentro de la

7. TRABAJO ESTRUCTURADO:

7.1 DESCRIPCIÓN DE LA FASE:



Según el Instituto Lean Construction (Howell y Ballard 1999), Trabajo Estructurado significa desarrollar el proceso de diseño de un proyecto tratando de alinear el diseño de ingeniería, cadena de suministro, asignación de recursos y los esfuerzos de montaje. El objetivo del trabajo estructurado es hacer el flujo de trabajo más confiable y rápido, mientras se genera valor para el cliente. En particular, el trabajo estructurado considera un proyecto como un conjunto de unidades de producción y segmentos de trabajo (Ballard 1999). Una unidad de producción es un individuo o grupo encargado de realizar tareas de producción. Las unidades de producción son los que reciben asignaciones de trabajo. Un segmento de trabajo es una unidad de trabajo que se pasa desde una unidad de producción a la siguiente. En el proceso de llevar a cabo una tarea de producción, cada unidad de producción puede o no puede hacer cambios a los límites de la cantidad de trabajo antes de entregarlo a la siguiente unidad de producción. Las unidades de producción continúan agregando valor a un segmento de trabajo hasta que se termina el trabajo⁴⁷.

El Trabajo Estructurado es el nivel más fundamental del proceso de diseño, respondiendo estas preguntas⁴⁸:

1. ¿En qué segmentos se asignará el trabajo a las unidades de producción especialistas?

⁴⁷ Tommelein, Iris et al, 2000

⁴⁸ Instituto Lean Construction, 1999

2. ¿Cómo se va a secuenciar los segmentos de trabajo a través de varias unidades de producción?
3. ¿Cómo se va a liberar el trabajo de una unidad de producción a la siguiente?
4. ¿Se necesitarán buffers de desacoplamiento y de que tamaño serán?
5. ¿Cuándo se realizarán diferentes segmentos de trabajo?

Los principales objetivos del Trabajo Estructurado son:

- Minimizar y manejar la variabilidad
- Integrar el diseño del producto y proceso
- Estructurar el flujo de trabajo mediante lotes y “buffers”, optando por buffers de capacidad antes que buffers de inventario.

7.2 HERRAMIENTAS:

H-42. 5 Whys:

Descripción:

La técnica de 5 Whys o los 5 Porqués fue desarrollada por Sakichi Toyoda, formando parte del Sistema de Producción de Toyota. Esta técnica consiste en un proceso iterativo de preguntas (¿Porqué?) usado para identificar la causa raíz de un problema.

La estrategia básica implica que, ante cualquier problema, nos preguntemos “¿Por qué?”. Este primer “por qué” nos llevará a otro “por qué”, y la respuesta al segundo “por qué” apuntará a otro tercero, hasta un quinto por qué, sin embargo en algunas ocasiones podría algunas preguntas más a las 5 originales.

Los beneficios de los 5 Porqués son⁴⁹:

- Ayuda a identificar la causa raíz de los problemas.
- Determinar la relación entre las diferentes causas raíz de los problemas.
- Es una herramienta sencilla, fácilmente aplicable sin análisis estadísticos.

¿Cómo completas los 5 porqués?⁵⁰

- Escribir el problema. Escribir ayuda a formalizar el problema y describirlo por completo. También ayuda al equipo de trabajo a enfocarse en el mismo problema.

⁴⁹ Six Sigma, 5 Whys.

⁵⁰ Six Sigma, 5 Whys.

- Preguntar ¿Por qué sucede el problema? y escribir la respuesta debajo del problema.
- Si la respuesta propuesta no identifica la causa raíz del problema, preguntar ¿por qué? Nuevamente y escribir la respuesta debajo.
- Volver al tercer paso hasta que el grupo de trabajo concuerde que se ha identificado la causa raíz del problema. Existe la posibilidad que este proceso tome más o menos veces que cinco Porqués.

Ejemplo de Aplicación:

Se muestra un ejemplo sencillo para la aplicación de esta herramienta:

Un proyecto X se encuentra en la etapa de construcción del casco de la obra, durante el vaciado de la losa del 4to piso de la obra se presenta un inconveniente con la máquina vibradora de concreto, esta deja de funcionar en pleno vaciado y cuando aún faltaban vaciar 20 m³ de concreto.

Problema: La máquina de vibradora dejó de funcionar

1. ¿Por qué?
 - Porque el motor presenta problema
2. ¿Por qué el motor presenta problemas?
 - Porque se encuentra en mal estado
3. ¿Por qué se encuentra en mal estado?
 - Porque no se llevo el equipo al último mantenimiento preventivo
4. ¿Por qué no se llevo el equipo al mantenimiento?
 - Porque el jefe de almacén no coordinó con el jefe de mantenimiento
5. ¿Por qué no se realizó la coordinación?
 - Porque el jefe de producción no considera necesario hacerle mantenimiento a los equipos.

Como se puede observar, si bien a un inicio se creía que evidentemente era un problema técnico se encuentra que la causa raíz es un problema gerencial, para lo cual se podrían tomar las medidas preventivas para que no vuelva a suceder un problema de este tipo ya que esto perjudica directamente al flujo de trabajo en obra.

H-43. Buffers:

Descripción:

Buffer o “Amortiguador”, en la industria de la construcción significa un “colchón” que protege el plan del proyecto de la incertidumbre. El término buffer es usado por diferentes autores del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC). Este “colchón” puede ser de diferentes tipos:

- Buffers de Capacidad: Los buffers de capacidad se entienden como lotes pequeños de sobre producción se tienen en proyecto para amortiguar que el flujo no pare si es que no se llegase a cumplir con la meta de producción establecida para un determinado tiempo.
- Buffers de Inventario: Los buffers de inventario son aquellos recursos extras que se tienen el proyecto para asegurar que el flujo no pare si es que se presenta algún problema con un recurso destinado a un lote de producción.
- Buffers de Tiempo: Los buffers de tiempo se establecen como holguras de tiempo entre cada lote de producción.

En la filosofía de la Construcción Lean se prefiere tener buffers de capacidad antes a los de inventario, es importante recalcar que todo buffer es una holgura intencional por lo es una pérdida para el proyecto.

Ejemplo de Aplicación:

Buffers de Capacidad:

- Tener una vereda sin vaciar para que sea vaciada si hubiera algún retraso con el encofrado, de esta manera no se pierde las horas hombre de la cuadrilla de concreto al tener una actividad que realizar.

Buffers de Inventario:

- Tener una vibradora de concreto extra en caso de que la vibradora de concreto se malogre durante la actividad de vaciado, de esta manera se evitaría parar el flujo de vaciado.

Buffers de Tiempo:

- Realizar la programación de obra con jornadas de 8.5 horas y trabajar con jornadas de 10 horas.

- Comenzar antes el proyecto de lo planificado, de esta manera se tiene un colchón de tiempo de adelante que pudiese ayudar si se tuvieran retrasos en la obra por problemas que se pudieran presentar.



CAPÍTULO 3

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

El objetivo principal de la presente tesis era desarrollar un Inventario de Herramientas usados dentro del Sistema de Entrega de Proyectos Lean, el cual se presenta a continuación:

INVENTARIO DE HERRAMIENTAS DEL SISTEMA DE ENTREGA DE PROYECTOS LEAN (LDPS)

DEFINICIÓN DEL PROYECTO			
Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-1	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Matriz para la selección de los profesionales que conformarán el equipo de diseño del proyecto	Pablo Orihuela et al 2011
H-2	CUADERNO DE DISEÑO	Documento en línea que mantiene informado sobre los cambios del proyecto a todos los involucrados.	Pablo Orihuela et al 2011
H-3	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Matriz que permite formalizar las necesidades del inversionista.	Pablo Orihuela et al 2011
H-4	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Matriz que permite formalizar las necesidades del usuario.	Pablo Orihuela et al 2011
H-5	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Base de datos.	Propuesta de Tesis
H-6	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPÓSITOS	Matriz de alineación de las necesidades del cliente y las alternativas de diseño del proyecto que se proponen.	Pablo Orihuela et al 2011
H-7	DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)	Herramienta que permite traducir lo que el cliente quiere en lo que la organización debe producir.	Yoji Akao 1978

DISEÑO LEAN			
Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-8	REPORTE A3	Documento en hoja A3 (28x43cm) de Gestión del Conocimiento donde se registra el proceso Planear-Hacer-Verificar-Actuar.	Empresa Automotriz Toyota
H-9	ESTACIONAMIENTO	Técnica que ayuda a capturar ideas importantes que no son relevantes para el tema que se discute en una reunión.	Cynthia Tsao et al 2012
H-10	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Representación gráfica del proceso de diseño para producir un resultado, asignando el grado de responsabilidad de los involucrados en el proyecto.	Carlos Formoso et al 1999
H-11	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	En la entrada se describe los requerimientos que necesita la actividad para ser realizada. En la salida se describe	Carlos Formoso et al 1999

		el resultado final de la actividad realizada.	
H-12	LISTA DE TAREAS	Listado de la información necesaria previa al inicio de un trabajo.	Luis Alarcón et al 1998
H-13	LISTA DE CHEQUEO	Listado usado para verificar el cumplimiento de las tareas asignadas a los involucrados.	Luis Alarcón et al 1998
H-14	SOLICITUD DE INFORMACION (RFI)	Es un mecanismo de información formal que se utiliza para solicitar información técnica del proyecto al cliente o proyectista.	Grupo Internacional de la Construcción Lean
H-15	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Diseño simultáneo del proceso y el producto.	Instituto de la Industria de la Construcción 1986

ABASTECIMIENTO LEAN

Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-16	CENTROS LOGISTICOS	Es un lugar céntrico, por lo general fuera del proyecto, para el flujo de materiales en la cadena de abastecimiento	Iris Tommelein et al 2007
H-17	5 "S"	Operaciones que buscan incrementar la organización, orden, limpieza y estandarización en las áreas administrativas y productivas. 5S proviene de 5 palabras: SEIRI, SEITON, SEISO, SEIKETSU y SHITSUKE. (Clasificar, Organizar, Limpiar, Estandarizar y convertir esta secuencia en Hábito)	Empresa Automotriz Toyota
H-18	MATRIZ MULTICRITERIO	Comparación de alternativas basada en una evaluación cuantitativa (costos, rendimientos) y cualitativa (niveles de desempeño).	Pablo Orihuela et al 2008
H-19	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Permite identificar todas las actividades en la planificación y fabricación de un producto, permitiendo encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan impacto sobre toda la cadena de abastecimiento	Empresa Automotriz Toyota
H-20	KANBAN	Control de inventario usando tarjetas para producir solo lo que se necesite, cuando se necesite y en las cantidades adecuadas	Empresa Automotriz Toyota

EJECUCIÓN LEAN

Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-21	FIRST RUN STUDIES	Análisis de Primera Ejecución, es el análisis detallado de un proceso constructivo previo a su ejecución.	Instituto de la Construcción Lean
H-22	NIVEL DE ACTIVIDAD	Herramienta estadística utilizada para el estudio de tiempos y movimientos de la actividad en un sector, frente o todo el	Alfredo Serpell 1990

		Proyecto, separando el trabajo en: productivo, contributorio y no contributorio.	
H-23	CARTA BALANCE	Herramienta estadística que permite determinar cómo se divide el tiempo que se dedica a cada una de las tareas dentro de la actividad, permite analizar el procedimiento constructivo usado y buscar su optimización.	Alfredo Serpell 1990
H-24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Herramienta que determina el rango de trabajo y la secuencia de trabajo que cada miembro es responsable.	Nakagawa y Shimizu 2004
H-25	POKA YOKE	Se refiere a dispositivos, elementos o sistema que tienen como objetivo principal eliminar los defectos en un producto previniendo los errores antes que se presenten.	Shingeo Shingo 1960
H-26	MANUALES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS	Documento formal que contiene la descripción de las actividades que se deben seguir durante un determinado proceso.	Propuesta de Tesis
H-27	ANDON	Consiste en un sistema que evidencia los problemas o defectos en un proceso a partir de luces y sonidos que son activados por la persona que realiza el trabajo, parando el trabajo y dedicando un tiempo a corregir el error hallado, este tiempo no debe ser muy prolongado.	Empresa Automotriz Toyota
H-28	ONE TOUCH HANDLING	Manejo con un solo toque, materiales que pueden ser instalados directamente desde el vehículo de entrega.	Glenn Ballard et al 2002

USO

Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-29	EVALUACIONES POST-OCUPACION	Evaluación del producto luego de encontrarse en uso, es visto como una retro-alimentación del proyecto	Instituto de la Construcción Lean
H-30	MANUAL DEL CLIENTE	Documento elaborado por la empresa encargada del proyecto, en donde se dan instrucciones de las características generales del departamento y el mantenimiento periódico del mismo.	Propuesta de Tesis
H-31	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Esta herramienta consiste en capturar formalmente todos los requerimientos que podría tener el usuario del producto.	Propuesta de Tesis
H-32	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Plan de prevención del mantenimiento de los edificios, para aumentar el tiempo de vida del proyecto y prevenir los problemas futuros que se podrían presentar.	Cupertino et al 2011
H-33	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	La herramienta consiste en realizar un diagrama de flujo de las actividades realizadas durante el proceso de recepción y levantamiento de un reclamo del cliente.	Cupertino et al 2011

CONTROL DE PRODUCCIÓN			
Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-34	PLANIFICACION MAESTRA	Es la planificación para todo el proyecto, se realiza un análisis macro en donde se desarrolla las estrategias de ejecución del proyecto	Grupo Internacional de la Construcción Lean
H-35	PLANIFICACION POR FASES	Consiste en detallar las actividades necesarias para la ejecución de una fase del proyecto, identifica las pautas necesarias para la liberación de trabajo de una actividad a otra y establece la secuencia de estas actividades.	Glenn Ballard 2000
H-36	PLANIFICACION LOOKAHEAD	“Vista anticipada” dentro del cronograma maestro, un intervalo de tiempo en el futuro que permite tener una idea inicial de las actividades que serán ejecutadas.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
H-37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Planificación de los trabajos en la semana, los cuales deben encontrarse “sin restricciones” para poder ejecutarlas con facilidad.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
H-38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	Permite estimar cuanto de lo establecido en la programación semanal se ha cumplido verdaderamente.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
H-39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Causas que no permitieron cumplir con la tarea programada en la programación semanal.	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
H-40	LINEAS DE BALANCE	Técnica de programación que permite mostrar el trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea, o barra, en una gráfica.	Goodyear Tire & Rubber Company

TRABAJO ESTRUCTURADO			
Código	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FUENTE
H-41	5 WHYS	Esta técnica consiste en un proceso iterativo de preguntas (¿Porqué?) usado para identificar la causa raíz de un problema.	Empresa Automotriz Toyota
H-42	BUFFERS	Significa un “colchón” que protege el plan del proyecto de la incertidumbre	Grupo Internacional de la Construcción Lean

PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN LEAN ASOCIADOS A CADA HERRAMIENTA DEL LPDS:

FASE	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	PRINCIPIO
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Cultivar una red de contactos
	CUADERNO DE DISEÑO	Reducir los ciclos de tiempos - Estandarizar - Asegurar la comprensión de los requisitos
	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Asegurar la comprensión de los requisitos - Decidir por consenso, considerar todas las opciones
	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Asegurar la comprensión de los requisitos - Decidir por consenso, considerar todas las opciones
	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Instituir la mejora continua
	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPÓSITOS	Asegurar la comprensión de los requisitos
	DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)	Instituir la mejora continua
DISEÑO LEAN	REPORTE A3	Verificar y Validar
	ESTACIONAMIENTO	Centrarse en la selección de los conceptos
	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado
	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	Asegurar la comprensión de los requisitos
	LISTA DE TAREAS	Verificar y Validar
	LISTA DE CHEQUEO	Verificar y Validar
	SOLICITUD DE INFORMACION (RFI)	Reducir la variabilidad - Asegurar la comprensión de los requisitos
	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Reducir la variabilidad - Reducción de tamaño de lotes - Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado - Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor
ABASTECIMIENTO LEAN	CENTROS LOGISTICOS	Reducir los ciclos de tiempos - Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor
	5 "S"	Estandarizar
	MATRIZ MULTICRITERIO	Decidir por consenso, considerar todas las opciones.
	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Instituir la mejora continua
	KANBAN	Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado

EJECUCIÓN LEAN	FIRST RUN STUDIES	Reducir la variabilidad - Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado - Instituir la mejora continua - Utilizar Gestión Visual - Asegurar la comprensión de los requisitos
	NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD	Reducir los ciclos de tiempo
	CARTA BALANCE	Reducir los ciclos de tiempo
	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	POKA YOKE	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	MANUALES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS	Asegurar la comprensión de los requisitos
	ANDON	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	ONE TOUCH HANDLING	Reducir los ciclos de tiempo
USO	EVALUACIONES POST-OCUPACION	Instituir la mejora continua
	MANUAL DEL CLIENTE	Asegurar la comprensión de los requisitos
	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Ir y mirar por uno mismo - Cultivar una extensa red de contactos
	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Reducir los ciclos de tiempo
	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
CONTROL DE PRODUCCIÓN	PLANIFICACION MAESTRA	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLANIFICACION POR FASES	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLANIFICACION LOOKAHEAD	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	Instituir la mejora continua
	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Instituir la mejora continua
	LINEAS DE BALANCE	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
TRABAJO ESTRUCTURADO	5 WHYs	Centrarse en la selección de los conceptos
	BUFFERS	Reducir la variabilidad

El principal aporte de la tesis es describir cada una de las herramientas usadas dentro del Sistema de Entrega de Proyectos Lean, además para un mejor entendimiento de cada una de las herramientas se desarrolló un ejemplo de aplicación para cada una de ellas.

Debido a que no existe un manual o especificaciones para determinar que herramientas deben ser consideradas dentro del Sistema de Entrega de Proyectos Lean, se optó por escoger las herramientas que se encontraban publicadas por el Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC), ya que cada una de las publicaciones (papers) se revisa por un grupo de expertos en la filosofía de la Construcción Lean. Por otro lado, una herramienta usada en los proyectos de construcción puede encontrarse dentro del LPDS si es que cumple con los principios de la construcción Lean.

A pesar de que la filosofía Lean lleva más de 20 años siendo investigada, aun existen conceptos que no se encuentran bien definidos, es el caso del Trabajo Estructurado del cual no se ha podido encontrar mucha información dentro de los papers publicados en el IGLC.

Cada herramienta está relacionada a una o más de los 16 principios de la construcción Lean, sin embargo también se ha encontrado que algunos de los principios no está relacionado a una herramienta específica por lo cual es necesario la continua investigación para lograr que todos los principios sean aplicados durante un proyecto.

El Inventario de Herramientas realizado pretende proporcionar un marco de referencia para el entendimiento de la construcción Lean, de esta manera aquellos que deseen aplicar la filosofía Lean, tendrán como referencia el uso de estas herramientas en cada una de las fases de un proyecto de construcción.

En esta tesis se reconoce la importancia de aplicar la filosofía Lean dentro de los proyectos de construcción como medio para hacer más eficientes los procesos, evitar o reducir las pérdidas, mejorar continuamente, asegurar el flujo y agregar valor al cliente.

El desarrollo de ejemplos de aplicación para cada una de las herramientas ha tenido como fin mejorar la comprensión de la herramienta y advertir que puede ser usado dentro de la industria de la construcción.

Finalmente se concluye que la aplicación de cada una de las herramientas propuestas permitirán la correcta aplicación de la filosofía Lean dentro de los proyectos de construcción.

RECOMENDACIONES:

El Inventario de Herramientas del LPDS propuesto en esta tesis no debe verse como el único listado existente que podría hacerse de estas herramientas, puesto los conceptos relacionados al Lean Construction se encuentran en renovación constantemente, se realizan investigaciones y propuestas de nuevas herramientas dentro de la filosofía Lean cada año, cada herramienta debe ser aceptada o validada por el Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC), de esta manera se puede establecer que la herramienta propuesta se encuentra dentro del marco de la filosofía Lean.

El Inventario de Herramientas del LPDS debe ser visto como un marco de referencia para aquellos que deseen conocer y aplicar la filosofía Lean dentro de la industria de la construcción, no se pretende dar a conocer un inventario final, ya que este listado puede ser renovado cada vez que se encuentre una nueva herramienta.

Finalmente, se recomienda la investigación en cada uno de los temas relaciones al Sistema de Entrega de Proyectos Lean, el desarrollo de nuevas herramientas que puedan ser aplicadas a los proyectos de construcción, herramientas que deben cumplir con algún principio del Lean Construction para ser consideradas como parte del inventario propuesto.

BIBLIOGRAFIA

IMÁGENES

1. SCHMENNER, R. "Producton/Operaciones Management: From the Inside Out. 5ta edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1993.
2. BALLARD, G. y ZABELLE, T. "White Paper #8 Lean Project Delivery System". Lean Construction Institute. 2000.
3. Bexel Consulting, "VDC/BIM", [<http://www.bixelconsulting.com/technology/vdcbim.aspx>], visita el: 08/09/2013.
4. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge; ULLOA, Karem, "Herramientas para la gestión del diseño de proyectos de edificación" 19va Conferencia Internacional de Lean Construction, IGLC, Lima, Peru, 2011.
5. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge; ULLOA, Karem, "Herramientas para la gestión del diseño de proyectos de edificación" 19va Conferencia Internacional de Lean Construction, IGLC, Lima, Peru, 2011.
6. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge; ULLOA, Karem, "Herramientas para la gestión del diseño de proyectos de edificación" 19va Conferencia Internacional de Lean Construction, IGLC, Lima, Peru, 2011.
7. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge; ULLOA, Karem, "Herramientas para la gestión del diseño de proyectos de edificación" 19va Conferencia Internacional de Lean Construction, IGLC, Lima, Peru, 2011.
8. Propia
9. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge; ULLOA, Karem, "Herramientas para la gestión del diseño de proyectos de edificación" 19va Conferencia Internacional de Lean Construction, IGLC, Lima, Peru, 2011.
10. Propia
11. BALLARD, Glenn; ZABELLE, Todd. "Lean Design: Process, Tools & Techniques". Lean Construction Institute. 2000
12. Universidad Estatal de Montana, Reporte A3. [<http://www.coe.montana.edu/IE/faculty/sobek/A3/report.htm>], visita el: 03/09/2013
13. TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. "Considerations on application of Lean Construction principles to Design Management". Universidad de California, USA. 1999.

14. TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. "Considerations on application of Lean Construction principles to Design Management". Universidad de California, USA. 1999.
15. Propia
16. Propia
17. Propia
18. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge. "Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios". VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Perú 2003.
19. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge. "Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios". VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Perú 2003.
20. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge. "Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios". VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Perú 2003.
21. HAMZEH, F., TOMMELEIN, I., BALLARD, G.; KAMINSKY P. "Logistics Centers to Support Project-Based production in the Construction Industry". 15va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Michigan, USA. 2007.
22. Hamzeh, F., Tommelein, I., Ballard, G. y Kaminsky P. "Logistics Centers to Support Project-Based production in the Construction Industry". 15va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Michigan, USA. 2007.
23. Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica (COMPITE), Herramientas de mejora 5's, 2011.
24. Paritarios, "Las 5's herramientas básicas de mejora de la calidad de vida", [www.paritarios.cl/especial_las_5s.htm], visita el 18/11/12
25. VARGAS, Héctor, "Manual de implementación programa 5s", Corporación Autónoma Regional de Santander. 2012
26. ULLOA, Karem. "Técnicas y Herramientas para la gestión del Abastecimiento". [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2009.
27. ULLOA, Karem. "Técnicas y Herramientas para la gestión del Abastecimiento". [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2009.
28. ULLOA, Karem. "Técnicas y Herramientas para la gestión del Abastecimiento". [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2009.
29. Propia

30. Propia
31. PERRONI DE BURGOS, André; BASTOS, Dayana. "Assesment of Kanban use on Construction Sites". 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
32. Propia
33. Propia
34. Propia
35. Propia
36. Propia
37. DE VASCONCELOS, Marcos. "Lean Construction: Generando valor para el cliente y Eliminando Desperdicios", Constructecnia 2011, Pontificia Universidad Católica del Perú.
38. Unicon. "Conceptos básicos en Tecnologías de concreto". Unidad de Capacitación técnica. Perú 2011.
39. DE VASCONCELOS, Marcos. "Lean Construction: Generando valor para el cliente y Eliminando Desperdicios", Constructecnia 2011, Pontificia Universidad Católica del Perú.
40. Propia
41. Propia
42. ZURITA, Juan. "Procedimiento de Instalación de Prelosas". Procedimiento Constructivo. GyM-Obra Real 8 2012.
43. Propia
44. Paz Centenario, "Manual de uso y mantenimiento de tu departamento", 2012.
45. Paz Centenario. "Plataforma Virtual de comunicación con el cliente", 2012
46. Propia
47. CUPERTINO, Daniel; VILARINHO, Sammea; ALENCAR, Leonardo; DO AMARAL, Tatiana. "Application of the principles of Lean Thinking in the Post Work Construction Department". 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
48. CUPERTINO, Daniel; VILARINHO, Sammea; ALENCAR, Leonardo; DO AMARAL, Tatiana. "Application of the principles of Lean Thinking in the Post Work Construction Department". 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.

49. CUPERTINO, Daniel; VILARINHO, Sammea; ALENCAR, Leonardo; DO AMARAL, Tatiana. "Application of the principles of Lean Thinking in the Post Work Construction Department". 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
50. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
51. MIRANDA, Daniel. "Implementación del Sistema Last Planner en una habilitación urbana". [Tesis] Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012.
52. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
53. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
54. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
55. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
56. LORÍA, José. "Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance", Documento presentado por el Dr. José Humberto Loría Arcila para ingresar a la Academia de Ingeniería, Junio 18 de 2010. Mérida, Yucatán, México
57. LORÍA, José. "Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance", Documento presentado por el Dr. José Humberto Loría Arcila para ingresar a la Academia de Ingeniería, Junio 18 de 2010. Mérida, Yucatán, México
58. LORÍA, José. "Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance", Documento presentado por el Dr. José Humberto Loría Arcila para ingresar a la Academia de Ingeniería, Junio 18 de 2010. Mérida, Yucatán, México
59. ORIHUELA, Pablo; ESTEBES, Delfin. "Aplicación del método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra".2013
60. ORIHUELA, Pablo; ESTEBES, Delfin. "Aplicación del método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra".2013

CITAS TEXTUALES

1. KOSKELA, Lauri; HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris. Capítulo 14: The Foundations of Lean Construction. En Rick Best, Gerard de Valence. Design and Construction: Building in Value. 2002
2. KOSKELA, Lauri; HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris. Capítulo 14: The Foundations of Lean Construction. En Rick Best, Gerard de Valence. Design and Construction: Building in Value. 2002
3. KELLERMANN, Fabio. "Projecto de Sistemas de Producao na Construcao Civil Utilizando Simulacao Computacional como Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisao". Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Brasil, 2009.
4. HOWELL, Greg, BALLARD, Glenn. "What Kind of Production is Construction?". Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construccion Lean (IGLC). 1998
5. LIKER, Jeffrey. "The Toyota Way". 2004
6. HOWELL, Greg. "What is Lean Construction". Lean Construction Institute.1999
7. ULLOA, Karem. "Técnicas y Herramientas para la gestión del Abastecimiento". [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2009.
8. KOSKELA, Lauri; SACKS, Rafael; DAVE, Bhargav; OWEN, Robert. "Analysis Framework for the Interaction between Lean Construction and Building Information Modelling". 17va Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construccion Lean (IGLC). 2008
9. SALVATIERRA, Garrido; PASQUIRE, Christine; THORPE, Tony. "Value in Construction from a Lean Thinking perspective: Current State and Future development". 2009
10. SALVATIERRA, Garrido; PASQUIRE, Christine; THORPE, Tony. "Value in Construction from a Lean Thinking perspective: Current State and Future development". 2009
11. ORMAZÁBAL, Cristian. "Revisando el Concepto de Valor". [nacionPM.com], visita el 15/12/12
12. SAWHNEY, Mohanbir. "Fundamentals of Value". CIO Magazine 2003.
13. FORMOSO, Carlos; DIETZ, Daniela; TERJE, Bo. "Waste in Construction: A systematic literatura reviw e on empirical Studies". 20va Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA. 2011.
14. SANZ, Miquel; BADIA, Javier. "Las Siete mudas"; Blog Actua3 [<http://actua3.com/las-7-mudas/>], Visita 14/10/13.

15. KOSKELA, Lauri; SACKS, Rafael; DAVE, Bhargav; OWEN, Robert. “Analysis Framework for the Interaction between Lean Construction and Building Information Modelling”. 17va Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC). 2008
16. Instituto Lean Construcción. “Lean Project Delivery Glossary”. [www.leanconstruction.org]. visita el: 13/12/13
17. OBANDO, Julio. “Constructabilidad y Compatibilización de Proyectos de Construcción Aplicando Herramientas BIM”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Tesis de Post-Grado. 2011
18. OBANDO, Julio. “Constructabilidad y Compatibilización de Proyectos de Construcción Aplicando Herramientas BIM”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Tesis de Post-Grado. 2011
19. FUENTES, Diego. “Estandarización BIM”. [Tesis] Pontificia Universidad Católica del Perú. 2013.
20. KOTLER, Philip. “Dirección de Mercadotecnia”. 2008
21. BALLARD, Glenn; ZABELLE, Todd. “Lean Design: Process, Tools & Techniques”. Lean Construction Institute. 2000
22. GUPTA, A., TOMMELEIN, Iris; BLUME, K. “Framework for using A3s to develop shared understanding on projects” 17va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Taipei, Taiwan. 2009
23. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge. “Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios”. VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Perú 2003.
24. ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge. “Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios”. VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Perú 2003.
25. STUKHART, G.; BELL, L. “Attributes of Material Management.” SD-1. A Report to the Construction Industry Institute, University of Texas A&M, Auburn University, April. 1985. 34 pp.
26. ORIHUELA, Pablo; ULLOA, Karem. “Abastecimiento Lean de Recursos para la Construcción”. Construcción Integral, Boletín N°13. 2011.
27. ORIHUELA, Pablo; ULLOA, Karem. “Abastecimiento Lean de Recursos para la Construcción”. Construcción Integral, Boletín N°13. 2011.
28. BAUDIN M. “Lean Logistics - The Nuts and Bolts of Delivering Materials and

- Goods, Productivity Press”, New York, NY, 387 pp. 2004
29. WALSH, K.D.; HERSHAUER, J.C. TOMMELEIN, I.; ALSH, T. “Strategic Positioning of Inventory to Match Demand in a Capital Projects Supply Chain.” Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, November/December, 130 (6) 818-826. 2004
 30. ULLOA, Karem. “Técnicas y Herramientas para la gestión del Abastecimiento”. [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2009.
 31. PERRONI DE BURGOS, André; BASTOS, Dayana. “Assesment of Kanban use on Construction Sites”. 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
 32. MONDEN, Y. “Production without inventory-A practical approach to the Toyota production system”. IMAM. 1984
 33. PERRONI DE BURGOS, André; BASTOS, Dayana. “Assesment of Kanban use on Construction Sites”. 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
 34. HEINECK, L. “Building Lean Collection – building with lean management”. Fortaleza, Publisher Graphic Expression. 2009
 35. PERRONI DE BURGOS, André; BASTOS, Dayana. “Assesment of Kanban use on Construction Sites”. 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
 36. BALLARD, Glenn. “Lean Project Delivery System”. Lean Construction Institute. 2000
 37. HIROYUKI, Hirano. “Poka Yoke”. Primera Edición. México, 2000.
 38. MALDONADO, Guillermo. “Herramientas y Técnicas Lean Manufacturing en Sistemas de Producción y Calidad”. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. 2008.
 39. KOSKELA, Lauri; HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris. Capítulo 15: Lean Construction Tools and Techniques. En Rick Best, Gerard de Valence. Design and Construction: Building in Value. 2002
 40. CUPERTINO, Daniel; VILARINHO, Sammea; ALENCAR, Leonardo; DO AMARAL, Tatiana. “Application of the principles of Lean Thinking in the Post Work Construction Department”. 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.

41. CUPERTINO, Daniel; VILARINHO, Sammea; ALENCAR, Leonardo; DO AMARAL, Tatiana. "Application of the principles of Lean Thinking in the Post Work Construction Department". 20va Conferencia Annual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA, 2011.
42. BALLARD, Glenn. "Lean Project Delivery System". White Paper #8. Lean Construction Institute, 2000.
43. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
44. ORIHUELA, Pablo; ULLOA; Karem. "La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner". Construcción Integral, Boletín N°12. 2011.
45. LORÍA, José. "Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance", Documento presentado por el Dr. José Humberto Loría Arcila para ingresar a la Academia de Ingeniería, Junio 18 de 2010. Mérida, Yucatán, México
46. ORIHUELA, Pablo; ESTEBES, Delfin. "Aplicación del método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra".2013
47. TOMMELEIN, Iris; TSAO, Cynthia; SWANLUND, Eric; HOWELL, Gregory. "Case Study for Work Structuring: Installation of Metal door frames". 8va Conferencia anual del grupo Internacional Construcción Lean (IGLC). Brighton, Reino Unido. 2000.
48. Instituto Lean Construction. "Work Structuring". White Paper N°5. 1999.
49. Six Sigma. "Determine the Root Cause: 5 Whys" [<http://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/determine-root-cause-5-whys/>]. Visita el: 22/10/2013
50. Six Sigma. "Determine the Root Cause: 5 Whys" [<http://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/determine-root-cause-5-whys/>]. Visita el: 22/10/2013

REFERENCIAS:

- AL-HAJJ, A; HAMANI, K. "Material Waste in the UAQ Construction Industry: Main Causes and Minimization Practices". Architectural Engineering and Design Management. Vol 7. No.4 Pp. 221-235, 2011
- ABDELHAMID, T. "The Self-Destruction and Renewal of Lean Construction Theory: A prediction Fromd Boyd0s Theory". 12va Conferencia Anual de La Construcción Lean. 2004
- ARBULU, R.; BALLARD; G.; Harper, N. "Kanban in Construction".

- BALLARD, G.; HOWELL, G. "What kind of production in construction?" 6ta Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Guarujá, Brasil.
- BALLARD, G.; ZABELLE, T. White Paper #9 Project Definition. Lean Construction Institute. 2000.
- BALLARD, G.; ZABELLE, T. White Paper #10 Lean Design: Process, Tools & Techniques. Lean Construction Institute. 2000.
- BALLARD, Glenn. White Paper #7 Phase Scheduling. Lean Construction Institute. 2000.
- BALLARD, G., HAMMOND, J.; NICKERSON, R. "Production Control Principles". 17va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Taipei, Taiwan. 2009
- BALLARD, Glenn. "The Last Planner". Lean Construction Institute. 1994.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Greg. "Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow." 2da Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC) Santiago, Chile. 1994
- BAE, J.; KIM, Y. "Sustainable value on construction project and application of Lean Construction method." Proc., 15th Annual Conference on Lean Construction, IGLC, Michigan, USA, 312-321. 2007.
- BOWERSOX, D.J.; CLOSS D.J.; COOPER M.B. "Supply Chain Logistics Management". 2da edición, McGraw-Hill/Irwin, NY, 410 pp. 2007.
- BULHOES, I., PICCHI, F. y Granja, A. "Combining value stream and process levels analysis for continuous flow implementation in construction". 13va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Sydney, Australia. 2005
- BURRATTINO, S. "Designing for Lean Construction". 6ta Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Guarujá, Brasil.
- CUPERTINO, D.; VILARINHO, S.; ALENCAR, L.; AMARAL T. "Application of the Principles of Lean Thinking in the Post Work Construction Department". 20va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA. 2012
- DREW, J.; ROGGENHOFER, S.; ROGGENHOFER, B. "Journey to Lean: Making Operational change stick". New York, USA.

- EMMITT, S.; SANDER, D.; CHRISTOFFERSEN, A. K. "The Value Universe: defining a value based approach to lean construction." Proc., 13th Annual Conference on Lean Construction, IGLC, Sydney, Australia, 57-64. 2005
- EPPINGER, S. "Gestión de proyectos de desarrollo de sistema complejos". Instituto Tecnológico de Massachusetts. 2002.
- ELFVING, J.; BALLARD, G.; TALVITIE, U. "Standardized Logistics at the Corporate Level Towards Lean Logistics in Construction". 18va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Haifa, Israel. 2010.
- FORMOSO, C.T.; ISATTO, E.L.; HIROTA, E.H. "Method for Waste Control in the Building Industry". 7ma Conferencia Annual de la Construcción Lean (IGLC), Berkeley, 1999.
- FORMOSO, Carlos; JOBIM, Margaret. "Servicio al cliente en la Industria Brasileña de construcción de Viviendas Brasileña". Revisar Ingeniería de Construcción, Pp 23-32. 2003.
- GILBRETH, F.B.; GILBRETH, L.M. "Process charts and their place in management". Mechanical Engineering. 38–41 pp. 1992.
- GOURDIN, K. "Global logistics management: a competitive advantage for the 21st century". 2da Edición, Blackwell Publishers, Malden, MA, 318 pp. 2006
- HOWELL, G. "A Guide to the Last Planner for Construction Foremen and Supervisors". Lean Construction Institute.
- HWANG, G.; THOMAS, S.R.; HAAS, C.T.; CALDAS, C.H. "Measuring the Impact of Rework on Construction Cost Performance". Journal Construction Engineering Management ASCE, Vol. 135. No3. Pp 187-198. 2009
- KNAPP, S.; CHARRON, R.; HOWELL, G. "Phase Planning Today". 14va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Santiago, Chile. 2006.
- KOSKELA, Lauri. "Application of the New Production Philosophy to Construction", Finland. 1992
- KOSKELA, L. "Moving On- Beyond Lean thinking." Lean Construction Journal, 1(1), 24-37. 2004
- LIMA, M.; ROLIM, L.; DA C.L. ALVES, T. "Value Stream Mapping of the architectural executive Design in a Governmental Organization". 18va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Haifa, Israel. 2010.

- MALDONADO, G. "Herramientas y Técnicas Lean Manufacturing en Sistemas de Producción y Calidad". [Tesis]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2008.
- MARIZ, R.; PICCHI, F.; GRANJA, A.; SAMPAIO DE MELO, R. "A review of the Standardized work Application in Construction". 20va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA. 2012
- MAGNIER. "Value Stream Mapping". The Lean Enterprise, 2003.
- MIRANDA, D. "Implementación del Sistema Last Planner en una habilitación Urbana". [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2012.
- NEYRA, L. "Asegurando el valor en proyectos de Construcción: Un Estudio de las Técnicas y Herramientas utilizadas en la etapa de diseño". [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2008.
- OHNO, Taiichi; "Toyota Production System". 1988
- ORMAZÁBAL, C. "Revisando el concepto de Valor". NaciónPM. 2011.
- ORIHUELA, Pablo; ULLOA, Karem. "Metodología para promover la Ingeniería Basada en Múltiples Alternativas". III Encuentro Latino-Americano de Gestión y Economía de la Construcción 2008. Bogotá, Colombia.
- ORIHUELA, Pablo; ORIHUELA, Jorge. "El QFD: Integración de las exigencias del cliente con el diseño del producto". Construcción Integral, Boletín. 2009
- ORIHUELA, Pablo; Ulloa, Karem. "Abastecimiento Lean de Recursos para la Construcción". Construcción Integral, Boletín N°13. 2011.
- OWEN, R.; KOSKELA, L.; HENRICH, G.; CODINHOT, R. "Is Agile Project Management Applicable to Construction?" Proc., 14th Annual Conference on Lean Construction, IGLC, Santiago, Chile, 51-66. 2006.
- PASQUEALINI, F.; ZAWISLAK, P. "Value Stream Mapping in Construction: A case study in Brazilian Construction Company". 13va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Sydney, Australia. 2005.
- SANTA CRUZ, J.; TAMAYO, F. "De la Voz del Cliente a la Lealtad del Cliente: Un Caso Exitoso de la Aplicación de QFD en la Industria Mexicana del Calzado". Asociación Latinoamericana de QFD.
- SHEWHART, W.A. "Economic Control of Quality of Manufactured Product". New York: Van Nostrand. 1993
- SLACK, N. "Administração da Produção". São Paulo: Atlas, 1997.

- SKOYLES, E.R. “Materials wastage – a misuse of resources”, Batiment International, Building Research and Practice Vol.4 No.4 Pp. 232. 1976
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY P.; SIMCHI-LEVI; E. “Designing and Managing the Supply Chain”, 2da Edición, McGraw-Hill Irwin, 354 pp. 2003.
- SERPELL, Alfredo. “Administración de obras de construcción” Santiago de Chile: Ediciones de la Universidad Católica de Chile. 1993.
- TEZEL, A.; KOSKELA, L.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C.; ALVES, T.; NETO, B.; VIANA, D; MOTA, B. “Process Transparency on Construction Sites: Examples from Construction Companies in Brazil”. 18va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), Haifa, Israel. 2010.
- TSAO, C.; BEIKMANN, B. “12 Meeting facilitation techniques to improve healthcare design development”. 20va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC), San Diego, USA. 2012.
- THOMSON, D. S.; AUSTIN, S. A.; DEVINE-WRIGHT, H.; MILLS, G. R. “Managing Value and Quality in Design.” Building Research & Information Journal, 31(5), 334-345. 2003
- ULLOA, K. “Técnicas y Herramientas para la gestión del Abastecimiento”. [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2009.
- VARGAS, H. “Manual de Implementación Programa 5S”. Corporación Autónoma Regional Santánder.
- VASQUEZ, C. “El Lean Design y su aplicación a los proyectos de Edificación” [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2006.
- WORTMANN, J.C. (1992) Factory of the future: towards an integrated theory for one-of-a-kind production. In: Hirsch, B.E. and Thoben, K.-D. (eds) ‘One-of-a-kind Production’: New Approaches (Amsterdam: Elsevier Science), 37–74.
- WOMACK, J.; JONES, D. “Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation”. Simon & Schuster, New York. 2003.