

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**EJECUCIÓN LEAN Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN PROYECTOS
DE CONSTRUCCIÓN**

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

JORGE SAÚL HUARCAYA HUAMANÍ

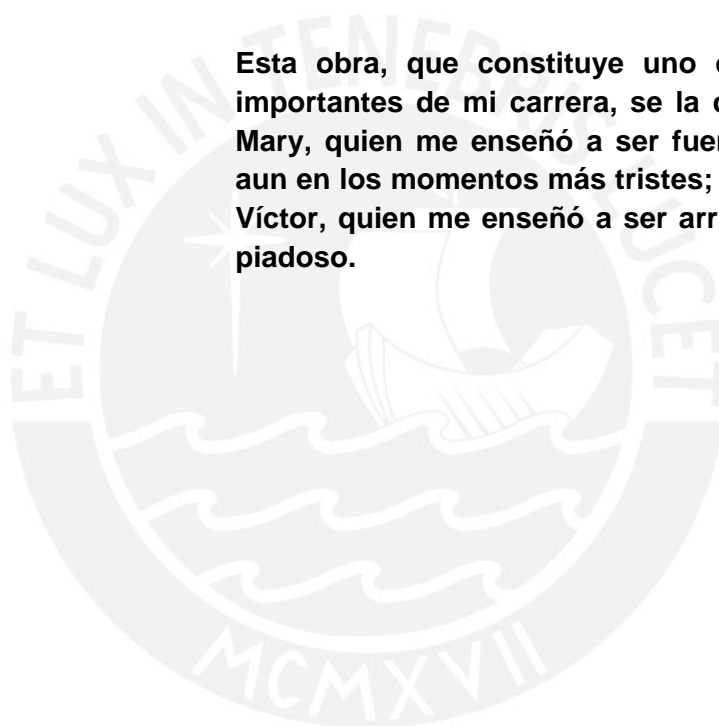
ASESOR:

ING. PABLO ORIHUELA ASTUPINARO

Lima, mayo del 2014

DEDICATORIA

Esta obra, que constituye uno de los pasos más importantes de mi carrera, se la dedico a mi madre, Mary, quien me enseñó a ser fuerte, a amar y a reír aun en los momentos más tristes; y a mi padre, Jorge Víctor, quien me enseñó a ser arriesgado, soñador y piadoso.



RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo abordar y promover el conocimiento y aplicación de los métodos y procesos ampliamente aceptados en la ejecución de los proyectos para mostrar el mejor camino posible en la gestión del diseño y construcción de los mismos; teniendo como base el planteamiento del LPDS™ (Lean Project Delivery System).

Para tal propósito se presenta la filosofía Lean Construction además del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS) y sus fases como un marco teórico a fin de conocerlos en un nivel más profundo. Consecuentemente, y sobre la base teórica del LPDS, procedemos a describir y analizar las principales herramientas y técnicas en la fase Lean Assembly (o Ejecución Lean) y en la fase de Control de Producción, lo más importante de sus módulos y cómo estos se relacionan con las otras fases. Se ahonda además en un tema de gran importancia para el control de la ejecución propiamente dicho, el Sistema Last Planner, el cual puede ser complementado con la técnica de la Línea de Balance. Aquí se evidenciará la importancia de la programación y los puntos que deben ser incluidos en ella, así como el control de la producción.

Se abarcan metodologías sencillas y complejas que fomentan la excelencia para la entrega de un proyecto al cliente final y, la mejora continua tanto al interior de un proyecto como de un proyecto a otro; se obtendrá del análisis de estas técnicas un resultado global que se traduce en conclusiones y recomendaciones para la implementación en el corto y mediano plazo, que ayudarán a conseguir los objetivos Lean.

Resumen	I
Carta de aprobación	II
Dedicatoria	III
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
CAPÍTULO 2	
LEAN CONSTRUCTION	
2.1 Conceptos básicos del Lean Construction	3
2.1.1 Sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)	5
2.1.1.1 Estructuración del trabajo	6
2.1.1.2 Control de Producción	7
2.1.1.3 Definición del Proyecto	7
2.1.1.4 Diseño Lean	8
2.1.1.5 Abastecimiento Lean	9
2.1.1.6 Ejecución Lean	10
2.1.1.7 Uso	10
2.1.1.8 Evaluación Post-ocupación (POE)	11
CAPÍTULO 3	
EJECUCIÓN LEAN (LEAN ASSEMBLY) Y CONTROL DE PRODUCCIÓN	
3.1 Consideraciones generales	12
3.1.1 Por qué mudarse de lo convencional	12
3.2 El Control de Producción: Sistema Last Planner®	15
3.2.1 La Programación maestra	18
3.2.2 La Programación por fases (<i>Phase Scheduling</i>)	18
3.2.3 Programación intermedia: Lookahead	21

3.2.3.1 Programación Lineal: trenes de trabajo y sectorización	21
3.2.4 La programación semanal	23
3.2.4.1 Porcentaje de plan completado (PPC)	25
3.2.5 La programación diaria	26
3.3 Uso del Sistema de Gestión Basado en las Localizaciones (LBMS) en el Sistema Last Planner	28
3.3.1 Sistema de gestión basado en Localizaciones para proyectos de construcción	28
3.3.1.1 Estructura fraccionada de localización (LBS)	30
3.3.1.2 Líneas de Balance (LOB)	32
3.3.2 Uso de LOB en la Programación Maestra	34
3.3.3 Uso de LOB en la Programación de Fase	36
3.4 La Ejecución <i>Lean</i>	37
3.4.1 Puesta en marcha en la ejecución <i>Lean</i>	38
3.4.2 Instalación	38
3.4.2.1 Estudios First Run para el diseño de operaciones	39
3.4.2.2 El flujo continuo como objetivo	42
3.4.2.3 Cómo es concebido el flujo en el Lean Construction	43
3.4.2.4 La polivalencia (Multi-skilling)	45
3.4.2.5 La constructabilidad en la fase de ejecución	46
3.4.3 Fabricación y logística	48
3.4.3.1 Logística, JIT y la Gestión de la Cadena de Abastecimiento	48
3.4.3.2 Pull Vs Push: Jalar la Producción	54
3.4.3.3 La prefabricación y la industrialización	55
3.4.3.4 One - touch handling (manipulación de un toque)	57
3.4.3.5 Planificación distribuida	58
3.5 El Factor Humano en la construcción	60

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Sobre la implementación del LPDS y el Lean Construction como filosofía	73
4.2 Sobre la fase de Ejecución <i>Lean</i> , la implementación del LPS y las mejoras	74
4.3 Reflexiones y consideraciones finales	77
Bibliografía	79



TEMA: EJECUCIÓN LEAN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN:

1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día la construcción en el Perú está pasando por un proceso de evolución; cada vez más frecuentemente se ven esfuerzos de diversas instituciones, empresas y universidades por elevar los estándares de la construcción mediante la difusión de corrientes impulsadas por instituciones importantes en el rubro; una de ellas es el Lean Construction Institute (LCI), con su sistema: Lean Project Delivery System (LPDS). Este sistema enfoca de manera distinta (a la convencional) la gestión de proyectos de construcción, teniendo como eje la disminución de pérdidas, incrementar el valor y disminuir la variabilidad.

Sin embargo, aún los esfuerzos no son suficientes en nuestra realidad lo que se puede comprobar en situaciones como la siguiente: es usual que en proyectos de construcción por licitación (por ejemplo), generalmente el constructor recibe los planos y demás especificaciones técnicas pertinentes, realiza los *metrados* y sus presupuestos, una vez ganada la obra (entregado el terreno y con el personal ya movilizado) la puesta en práctica de la *constructabilidad* se ve limitada a optimizar algunos procesos constructivos concernientes a esta etapa, dejando de lado la oportunidad de generar la mayor productividad, hecho que se genera en las etapas previas a la ejecución (Orihuela *et al.*, 2003).

Esta tesis busca hacer una recopilación teórica y de resultados prácticos, además de un análisis de la fase de Lean Assembly, conocida por algunos autores como *Ejecución Lean*, con la finalidad de exponer la dependencia de esta etapa con las etapas previas, pues es en ellas donde se genera la mayor productividad; por otro lado, se busca brindar la información necesaria para hacer óptimo el esfuerzo y orientación de los recursos durante la ejecución de los proyectos.

Finalmente se busca consolidar un trabajo aplicativo, del cual se pueda servir la empresa emergente y aquella que busque la mejora en términos de productividad durante la ejecución de un proyecto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Promover el conocimiento y aplicación de los métodos y procesos ampliamente aceptados en la ejecución de los proyectos para mostrar el mejor camino posible en la gestión del diseño y construcción de los mismos; teniendo como base el planteamiento del LPDS™ (Lean Project Delivery System), los módulos que éste presenta en el Lean Assembly (Ensamblaje o Ejecución lean) y el Control de Producción en los sistemas de gestión que se desarrollan alrededor de estas bases teóricas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Exponer la filosofía Lean Construction y el modelo de gestión de proyectos LPDS; asimismo recalcar y dar a entender que la fase Lean Assembly no funciona de manera aislada.
- Conocer teóricamente la fase Lean Assembly, conocer los sistemas de gestión y las herramientas que se proponen para optimizar la productividad en esta fase; del mismo modo, se verán las afinidades con el Diseño Lean y Abastecimiento Lean para la ejecución del proyecto.
- Conocer los vínculos entre la fase de diseño y la fase de ejecución a través de conceptos como Constructabilidad, Logística y Gestión en la cadena de abastecimiento.
- Obtener información optimizada para la implementación de estos conceptos de manera práctica.
- Conocer el sistema Last Planner, principal herramienta de control de la producción en el LPDS, y su interacción con otros sistemas afines como la línea de balance.

CAPITULO 2: LEAN CONSTRUCTION

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DEL LEAN CONSTRUCTION:

La traducción exacta del término LEAN es magro o libre de grasa y hace referencia habitualmente a la carne, desde esta perspectiva podemos interpretar que la idea de que una carne lean (lean beef) es una a la que se le ha retirado aquello que es indeseable (la grasa) y que se percibe como desperdicio. Este mismo sentido se le da en la construcción, liberarla de lo indeseable: los desperdicios.

La construcción lean o Lean Construction, es una construcción sin pérdidas, sin desperdicios y sin demoras; se le reconoce como una *filosofía* o *una manera de pensar* en la construcción, la que busca que esta industria opere siempre tratando de minimizar al máximo las pérdidas y de agregar valor para el cliente.

Se focaliza en la parte de pérdidas debido a que la cuantificación es extremadamente alta. Según Flavio Picchi, se obtiene un 30% del costo de la obra como pérdida, por lo que se concluye que “si se tiene un proyecto de 4 torres la cuarta torre podría producirse con cero costo gracias al desperdicio de las otras 3”.

Las pérdidas se hacen presentes en todo aspecto de una construcción como mano de obra (materiales y equipos), etc.

La cuantificación de las pérdidas en la realidad de América latina fluctúa entre el 25% y 35% según los estudios de diversos autores como Ghio, Serpell, Botero y otros; estos altos índices se deben a que pensamos en un modelo erróneo de producción, conocido como “Modelo de Transformación” que es el siguiente:

- MODELO 1: TRANSFORMACION

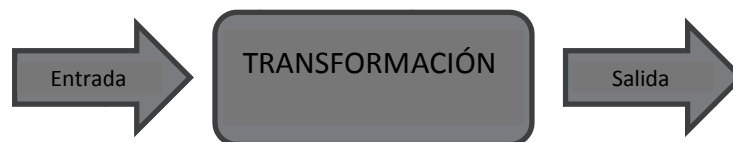


Figura 2.1: Modelo de transformación.

En este modelo luego de una entrada existe una transformación e inmediatamente una salida, como si la producción fuera automática; sobre este esquema es que la construcción tradicional planifica, programa y controla los proyectos.

Lean construcción propone abarcar el tema con un modelo más adecuado y que refleje mejor lo que en realidad sucede en la producción en nuestra industria, esta propuesta es el modelo de TRANSFORMACION – FLUJO – VALOR (TFV) donde no se da directamente una transformación luego de la entrada sino que también contempla actividades intermedias entre los procesos de entrada, transformación y salida (Koskela, 2000).

- MODELO 2: TRANSFORMACIÓN-FLUJO-VALOR (TFV)

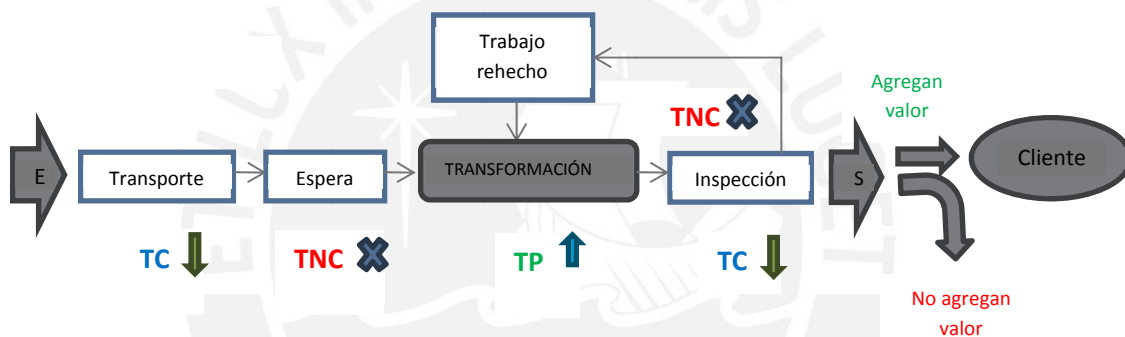


Figura 2.2: Modelo de transformación-flujo-valor. Tomado de Orihuela, P. (2008) *Metodologías estándar de gerencia de proyectos*.

Bajo esta perspectiva se contemplan entre la entrada y la transformación otros procesos como transporte y esperas; entre la transformación y la salida existen otras actividades como inspecciones cuyos resultados, no conformidades, nos llevan a rehacer trabajos y repetir el proceso sin observaciones para recién inducir el proceso de salida la cual responde al requerimiento del cliente.

Dentro de estas fases podemos identificar actividades y procesos que agregan valor para el cliente, conocidos también como trabajo productivo (TP); actividades que contribuyen en la producción, conocidos también como trabajos contributorios (TC); actividades que no generan valor, consideradas pérdidas netas y conocidas como trabajo no contributorio (TNC) (Ghio, 2001).

La filosofía Lean Construction busca lo siguiente:

- Tratar de maximizar los trabajos que contribuyen y agregan valor para el cliente
- Disminuir el porcentaje de trabajos que solamente contribuyen
- Tratar en lo posible de eliminar aquellos trabajos que no contribuyen y que son considerados pérdidas netas.

El IGLC propone que un proyecto de construcción se puede dividir en 5 fases, cada una tiene una serie de módulos que se relacionan entre sí, este modelo es conocido como el “Sistema de Entrega de Proyectos Lean”.

2.1.1 Sistema de entrega de proyectos lean (LPDS™)

La filosofía del Lean Construction es concretada por el modelo LPDS™ (“lean project delivery system”), la cual plantea el método óptimo de abordaje a un proyecto de construcción. El modelo LPDS™ está pensado para que se aplique a sistemas productivos temporales, como los que tienen lugar habitualmente en el sector de la construcción. Las características fundamentales del modelo LPDS son (Lichtig, 2006):

- El proyecto se organiza y gestiona como un proceso generador de valor.
- Los agentes que intervienen a posteriori se involucran también en la planificación inicial y en el diseño por medio de equipos multifuncionales.
- El control del proyecto tiene lugar durante el planeamiento y la ejecución misma, en oposición a la clásica de detección a posteriori. Es decir, tiene un carácter previsorio.
- La optimización de esfuerzos se centran en conseguir un *flujo de trabajo fiable*, y no exclusivamente en el incremento de productividad.
- Las técnicas “pull” (jalar) se utilizan para manejar el flujo de información y de materiales a través de las redes de especialistas.
- Los resguardos de capacidad y de almacén se utilizan para absorber variaciones. Es decir, los inventarios se reducen al mínimo indispensable.
- Los ciclos de retroalimentación se incorporan en cada nivel, de modo que puedan realizar ajustes rápidos.

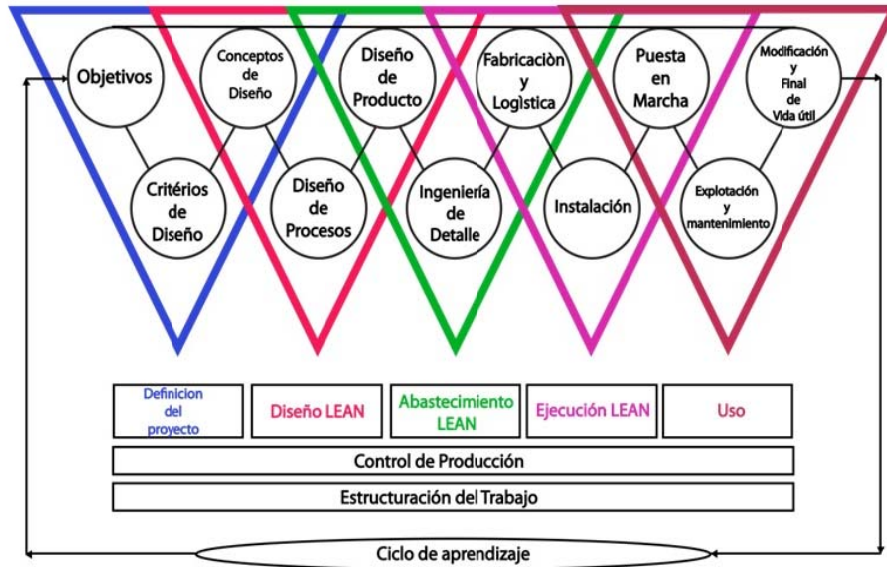


Figura 2.3: Esquema del Sistema de entrega de proyectos Lean.
Adaptado de Ballard.

El modelo LPDS está organizado en cinco fases (Definición del proyecto, Diseño Lean, Abastecimiento Lean, Ejecución Lean y uso) que dan cabida a once módulos o etapas: propósitos u objetivos, criterios de diseño, conceptos de diseño, diseño de procesos, diseño de producto, ingeniería de detalle, fabricación y logística, instalación, puesta en marcha, explotación y mantenimiento y final de vida útil. Al mismo tiempo, cubriendo todas las etapas y fases, se extienden el módulo de control de producción y el módulo de estructuración del trabajo. Además, el módulo de evaluación post-ocupación une el final de un ciclo con el siguiente generando un aprendizaje por retroalimentación.

2.1.1.1 Estructuración del trabajo

Sirve para indicar el desarrollo de los procesos en concordancia con el diseño del producto, la estructura de la cadena de abastecimiento, la asignación de recursos y los esfuerzos de ejecución; con el objetivo de desglosar el producto y proceso en partes, secuencias y asignaciones que garanticen que el flujo sea más suave y con menor variabilidad. Estructurar el trabajo permite conseguir un flujo de trabajo más confiable y rápido con la finalidad de reducir el desperdicio y añadir valor para el cliente.

El modelo del LPDS muestra que la estructuración del trabajo es aplicable durante todo el tiempo de vida del proyecto, en cada una de las fases y en la medida que los participantes definan y redefinan la planificación de procesos.

Así como la estructuración del trabajo define el plan a lo largo del proyecto, de igual modo el control de la producción asegura que el plan sea ejecutado de acuerdo a lo planeado por medio del Last Planner®.

2.1.1.2 Control de producción

Este módulo está presente a lo largo de todas las fases y se basa fundamentalmente en el uso del “Último planificador” (Last Planner™) como el sistema de control de producción. El control de producción consiste en el control del flujo de trabajo y de la unidad de producción, el flujo de trabajo a través los procesos “lookahead” y la unidad de producción a través de las planificaciones semanales de trabajo. Como se menciona antes, está presente en cada fase, lo que da a entender que se aplica tanto a la fase de Diseño como a la de Construcción.

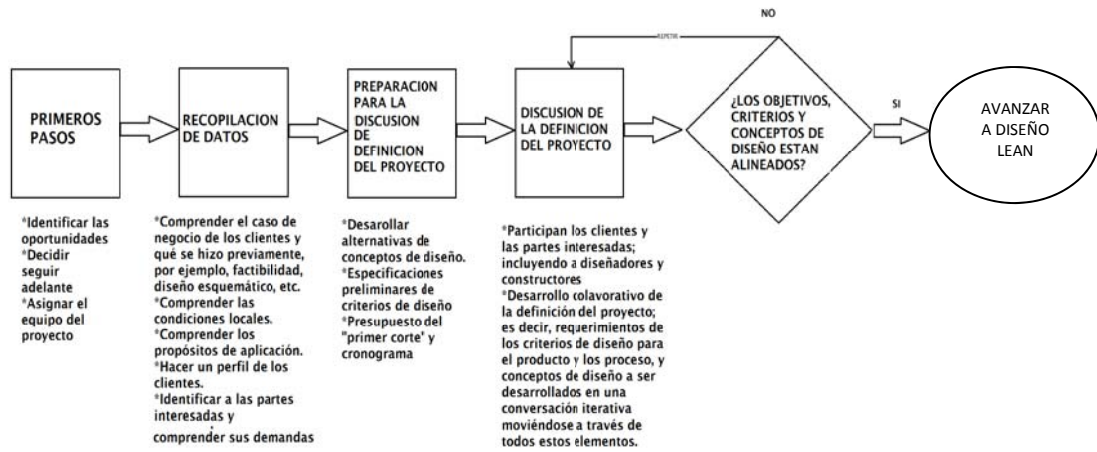
El control de la producción y la estructuración del trabajo son módulos que se complementan puesto que por un lado el trabajo estructurado establece un plan, y por el otro, el control de la producción sirve para asegurar que el trabajo sea ejecutado como fue planeado. Ambos módulos recorren todas las fases del proyecto desde el diseño hasta la entrega.

2.1.1.3 Definición del proyecto

La definición del proyecto es la primera fase del LPDS en la cual se busca determinar propósitos u objetivos (necesidades de los interesados y valores), traducir estos propósitos a criterios de diseño y generar conceptos de diseño para que los propósitos y los criterios sean probados y desarrollados.

La filosofía Lean Construction recomienda hacer hincapié en la alineación de los fines, criterios y conceptos y una comprensión exhaustiva del caso del cliente y las exigencias de otras partes interesadas. Esto puede reducir significativamente la gama de alternativas de solución (Ballard y Zabelle, 2000).

Figura 2.4: Proceso de la definición del proyecto (adaptado de Ballard)



2.1.1.4 Diseño Lean (Lean Design)

Es la segunda fase del LPDS™ y comienza cuando se cumplen los objetivos de la primera fase: alinear los intereses de los involucrados con los criterios y conceptos de diseño.

Esta segunda fase tiene como objetivo diseñar pensando no solo en el producto final, sino también en su proceso constructivo, agrupa tres módulos: diseño del proceso, diseño del producto y conceptos de diseño.

La filosofía Lean recomienda una serie de pasos y herramientas para llevar a cabo correctamente la etapa de Diseño Lean (Ballard y Zabelle, 2000). Se mencionan los puntos más importantes:

1. Organización en equipos multidisciplinarios, lo que implica que los proyectistas no trabajen de forma aislada, sino que estos se comprometan a tomar decisiones e interactuar en diferentes reuniones y tomar juntos las decisiones claves.

2. Perseguir un juego de estrategia variado; es decir, proponer varias alternativas de solución que generen valor a los clientes y beneficios a la empresa. *El hecho de realizar propuestas o diseños que no van a llevar a ser construidos no es considerado como una pérdida.*
3. Estructurar un trabajo basado en la filosofía Lean, demanda considerar todas las etapas e involucrarlas en el proyecto. Para lo cual se necesita un coordinador que maneje un protocolo que garantice trabajar de manera conjunta el *diseño del producto* y el *diseño del proceso*.
4. Minimizar iteraciones negativas, usar el nuevo concepto de “jalar” la producción y no el tradicional concepto de “empujar” (pull vs push).
5. No esperar hasta último momento cuando toda la información está completa para compartirla, compartir avances de trabajo para que los involucrados puedan crearse mejores criterios de solución.
6. Usar el sistema “Last planner” para el control de producción, tanto en la obra como en la planificación. En la etapa de diseño podríamos contar con un coordinador general de diseño y éste será quien reparta el trabajo entre los proyectistas estableciendo fechas de entrega de avance de trabajo.
7. Hacer el uso de tecnologías, herramientas informáticas de apoyo que son muy útiles en esta etapa y que ya actualmente se vienen utilizando como las técnicas del BIM (building information modeling).

2.1.1.5 Abastecimiento lean

Abastecimiento Lean (Lean Supply), está conformado por el diseño del producto, ingeniería de detalle y la fabricación y logística.

Durante el *diseño del producto* se requiere la coordinación entre los proyectistas, proveedores y contratistas para abrir discusiones de tal manera que puedan resolver

anticipadamente todas las restricciones que pudieran existir. El resultado de este módulo es la definición de qué se va a hacer con relación a los planos y especificaciones del proyecto.

La ingeniería de detalle se refiere al conjunto de especificaciones habituales que podemos observar en planos de detalle, especificaciones técnicas, cálculos, etc. Estos describen específicamente cómo será el producto y nos entrega una idea de cómo debe ser el proceso.

Fabricación y logística, como característica principal tenemos que los productos y servicios sólo serán fabricados si son jalados por los clientes, es decir los productos sólo son entregados si hay una demanda real en lugar de almacenarse con el fin de satisfacer demandas supuestas de proceso a proceso.

2.1.1.6 Ejecución lean

Comienza cuando llegan las primeras herramientas, labores, materiales o componentes y termina cuando el producto es entregado al cliente.

Se deben considerar elementos clave como coordinación de llegadas y desarrollar técnicas de inspecciones de los procesos in situ y fuera de obra, p.e. para el caso de elementos prefabricados.

Se considerarán la utilización de herramientas de Last Planner para el control de todo el módulo.

2.1.1.7 Uso

Ésta fase contempla la entrega al cliente final, lo que implica que previamente el producto o servicio se sometió sistemáticamente a diversas pruebas para certificar su calidad.

Dentro de la fase de uso están involucradas las acciones de modificación y mantenimiento (que se requieran en consecuencia del diseño o la ejecución) que se presenten durante el servicio.

2.1.1.8 Evaluación Post-ocupación (POE)

En el Lean Project Delivery System, POE es un lazo de retroalimentación que abarca desde el final de un proyecto hasta el inicio del siguiente. En consecuencia, representa un conjunto de lazos de retroalimentación que promueven el aprendizaje durante todo el proceso de entrega del proyecto. Específicamente consiste en la evaluación del proceso de entrega de un proyecto después que el producto o servicio está en uso. La idea es determinar por inspección, medición y preguntas, cómo está siendo usado actualmente el producto (por ejemplo, cómo están siendo usados los espacios funcionales en comparación con el propósito de diseño), cómo está funcionando el servicio (por ejemplo el consumo de energía, de agua, etc.), y cuánto se conoce de las necesidades de los usuarios. Esto permite verificar si los procesos de diseño y los procesos de construcción han sido los adecuados y otorga mayores recursos para el próximo proyecto.

CAPITULO 3: EJECUCIÓN LEAN (LEAN ASSEMBLY) Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

3.1 Consideraciones generales

La traducción del término “assembly” es ensamblar. En construcción ensamblar aún constituye un ideal, por lo tanto para ajustarnos más al contexto actual de la industria vamos a traducir, en el presente documento, ésta fase del LPDS como “Ejecución Lean”.

Dentro de la Ejecución Lean, hablaremos de *Producción sin Pérdidas*, ella supone una producción que cumple con los principios del Lean Construction y obedece la estructura del LPDS.

3.1.1 Por qué mudarse de lo convencional.

La producción convencional implica una planificación convencional, la cual se basa en planificar una determinada obra desde su inicio hasta su fin mediante el uso de técnicas como PERT y CPM¹, una planificación de esta naturaleza tiene la limitación de estar hecha desde un escritorio y en el peor de los casos con un limitado e insuficiente juicio experto; consecuentemente, se tiene una lista de “buenos deseos” de lo que DEBERIA hacerse para la obra en mención. Sin embargo, como es habitual, la obra suele tener un avance distinto debido a diferentes motivos y lo que se HIZO muy probablemente termina siendo distinto a lo planificado (Orihuela y Ulloa, 2011).

El siguiente recuadro muestra un resumen de las diferencias fundamentales entre la producción convencional y la producción sin pérdidas en la construcción (Campero y Alarcón, 2009).

¹ El método de la ruta o camino crítico (Critical Path Method), es utilizado para el cálculo de tiempos y plazos en la planificación de proyectos. La ruta crítica es la secuencia de los elementos terminales de la red de proyectos con la mayor duración entre ellos, determinando el tiempo más corto en el que es posible completar el proyecto. Cualquier retraso en una actividad de la ruta crítica afecta a la fecha de término planeada del proyecto, y se dice que no hay holgura en la ruta crítica.

A diferencia de la técnica de revisión y evaluación de programas (PERT), el método de la ruta crítica usa tiempos ciertos (reales o determinísticos). Sin embargo, la elaboración de un proyecto basándose en redes CPM y PERT son similares. Mayor información en: Kelley, James. Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. Operations Research, Vol. 9, No. 3, May–June, 1961.

Tabla 3.1: diferenciación entre la producción convencional y la producción sin pérdidas en la construcción.

	PRODUCCIÓN CONVENCIONAL	PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDAS
OBJETO	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de las empresas
ALCANCE	Control	Gestión, asesoramiento, control
MODO DE APLICACIÓN	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
METODOLOGÍA	Detectar y corregir	Prevenir
RESPONSABILIDAD	Departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
CLIENTES	Ajenos a la empresa	Internos y externos, al final de cada proceso hay un cliente
CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	La producción consiste de conversiones (actividades), todas las actividades añaden valor al producto	La producción consiste de conversiones y flujos; hay actividades que agregan valor al producto y actividades que no agregan valor
CONTROL	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y flujo de trabajo
MEJORA	Implementación de nuevas tecnologías	Reducción de las actividades de flujo (especialmente las que no agregan valor) y aumento de la eficiencia de los procesos con mejoras continuas y tecnologías en pro de hacer un flujo más eficiente.

Se concluye que la producción sin pérdidas requiere de un carácter preventivo y trabajo en equipo para ser exitosa, en contraposición a lo convencional donde cada departamento actúa de manera aislada y enfocada en objetivos particulares. Busca además una conceptualización de la producción donde no todas las actividades agregan valor, por tanto esas últimas al ser identificables pueden ser gestionadas y controladas para maximizar el valor y mejorar los procesos continuamente.

Alarcón y Pellicer (2009) sugieren una estrategia que puede resumirse en cinco grandes ideas que a continuación se describen:

1. Aplicación de la ingeniería concurrente: Colaborar, realmente colaborar, durante el diseño, la planificación y la ejecución del proyecto: Esto requiere la participación de los diversos participantes en las diversas etapas del proyecto, además del conocimiento y aplicación de las fases previas a la ejecución Lean dentro del LPDS.
2. Trabajo y aprendizaje colaborativo: Incrementar la relación entre todos los participantes del proyecto con la finalidad de desarrollar las relaciones y la confianza mutua, que permita compartir errores y oportunidades de aprendizaje.
3. Acción Lingüística o Conversación para la acción: Considerar los proyectos como cadenas de compromisos: El trabajo de gestión es la articulación permanente de cadenas de compromisos (Alarcón y Pellicer, 2009); los líderes deben dar coherencia a las mismas y velar de manera asertiva por su cumplimiento para enfrentar un porvenir incierto, creando el futuro conjuntamente con los participantes del proyecto.
4. Privilegiar la Productividad Global ante la Local: Optimizar el proyecto, no las partes: Los proyectos pueden descontrolarse cuando cada gestor ejerce una presión por reducción de tiempos y costos en cada tarea; por ejemplo, presionar por una alta productividad al nivel de tareas puede mejorar el desempeño local pero puede causar perjuicios mayores en los procesos siguientes complicando la coordinación, incrementando los accidentes y otros aspectos que a menudo no son considerados, la optimización independiente de un solo proceso o varios va en contra de la teoría de restricciones de Goldratt.
5. Retroalimentación: Acoplar firmemente acción con aprendizaje: La mejora continua de costos, plazos y valor global del proyecto se hace posible cuando los actores del proyecto aprenden de sus acciones; el trabajo puede realizarse de forma que cada actor recibe retroalimentación inmediata de sus acciones respecto a lo bien que cumple con los propósitos y satisface los requerimientos de su trabajo. Por otro lado, fácticamente, es indispensable que tomemos medidas cuantitativas en torno a lo que queremos mejorar.

Con estas ideas se comprende la importancia de la ruptura de paradigmas creados por las prácticas tradicionales y de la apertura que las organizaciones deben tener para que una implementación Lean se dé de manera exitosa.

3.2 El control de Producción: Sistema Last Planner™

Como se mencionó anteriormente el control de la producción está regido por la aplicación del sistema Last Planner. El uso de esta herramienta tiene dentro de sus finalidades asegurar el flujo de las operaciones, posteriormente y solo a partir de esto podríamos optimizarlo con el balance de recursos y finalmente optimizar cada proceso.

El Sistema Last Planner es posiblemente la técnica más divulgada dentro de la filosofía “Lean Construction”. Cobra especial énfasis en la etapa de ejecución, pero es innegable que su uso es importante en la etapa de diseño. La finalidad de este sistema es cambiar los métodos tradicionales, basados en el CPM, además de incrementar la confiabilidad de la misma y mejorar el desempeño en la obra. El LPS está especialmente diseñado para mejorar el control de la incertidumbre y asegurar el flujo de las obras, hecho que se consigue a través de la aplicación de acciones concretas en los diferentes niveles de la planificación (Alarcón y Pellicer, 2009).

El LPS plantea principalmente el conocimiento pleno de lo que “se puede” hacer en la obra para posteriormente enunciar lo que “se hará”. Estos dos subconjuntos, pertenecen al conjunto de lo que “debería” hacerse, según lo que determinen los planificadores.

A continuación se muestra un contraste entre la planificación usual y la planificación *Lean*.

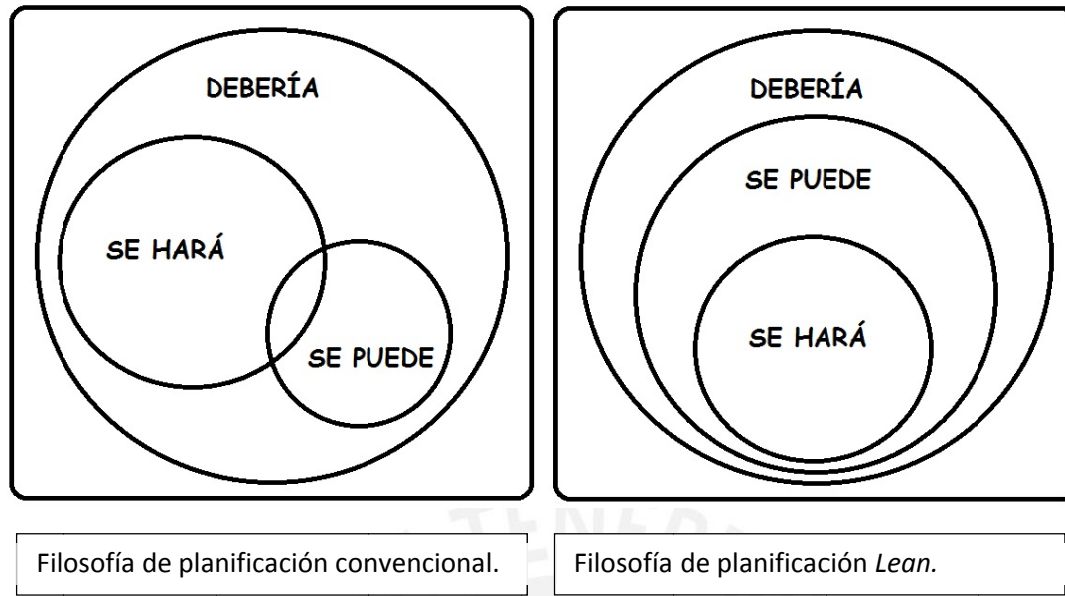


Figura 3.1: Tomado de “La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador”, (Alarcón *Et al*, 2011)

La figura anterior muestra (a la izquierda) como la planificación usual o convencional opera, inicialmente se define lo que se “debería” avanzar para mantener el plan inicial y se decide lo que “se hará” en cierto periodo de tiempo; sin embargo debido a las restricciones y otras limitaciones no contempladas no todo lo que se había planeado hacer “se puede”, en consecuencia, si no se conoce previamente lo que se puede hacer, lo que realmente se ejecuta es una intersección entre los dos subconjuntos. La filosofía *lean construction* plantea un escenario donde antes de decidir lo que “se hará” se compruebe que es lo que “se puede” hacer en función de las restricciones, si es que hubieran. De ese modo se evita que cualquier actividad se detenga por alguna restricción no liberada como falta de materiales, mano de obra, etc. El avance de una obra depende notoriamente de la gestión del “se puede”, por esa razón los planificadores deben buscar agrandarlo levantando restricciones, de esta manera se afianza el avance de obra (Alarcón. *Et al*, 2011).

Por lo tanto la construcción requiere de un alto grado de planificación en todos sus niveles y fases. Se definen criterios específicos que deben ser tomados como compromisos a fin de proteger las unidades de producción de la variabilidad y la incertidumbre. Alarcón expone

un proceso de aplicación que se muestra en el siguiente esquema (Alarcón. *Et al*, 2011), seguido de una secuencia de pasos del mismo.

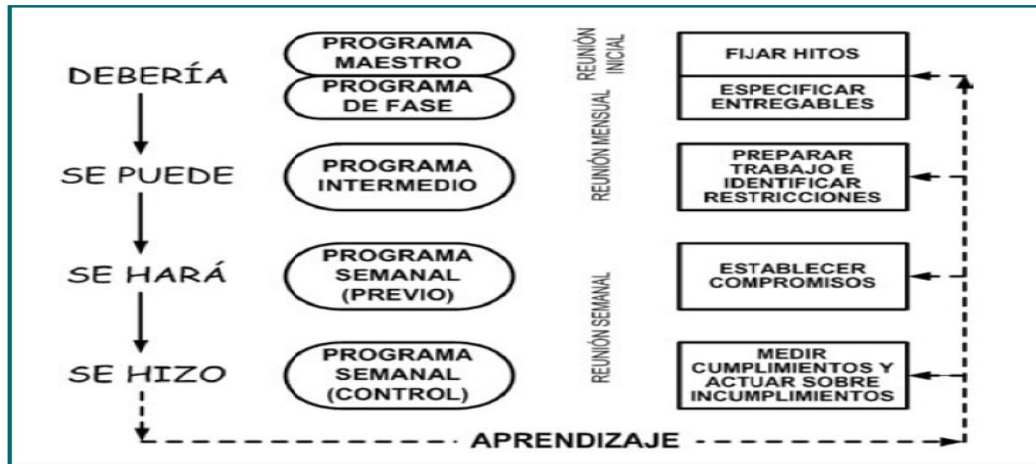


Figura 3.2: Tomado de “La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador”, (Alarcón *Et al*, 2011)

Secuencialidad:

- i. Revisión del plan general de la obra, es decir el *programa maestro* o *plan maestro*. El plan maestro no debe ser realizado con un excesivo detalle y debe además ser segmentado mediante un planteamiento de hitos.
- ii. Elaboración de la *programación de fases* en el caso de proyectos complejos y extensos. Se identifica la fase que se va a desarrollar a continuación y se elabora el programa.
- iii. Elaboración de la *planificación intermedia* (lookhead) para un horizonte entre 4 a 6 semanas aproximadamente, realizando los análisis de restricciones con el fin eliminarlas y de liberar las tareas para su ejecución. Se enmarca dentro del plan maestro.
- iv. Elaboración de la planificación semanal, con la participación de los últimos decisores o planificadores: encargados, capataces, subcontratistas, almacenistas, etc. como parte del inventario de actividades ejecutables obtenido de la planificación intermedia.

- v. Reuniones de los últimos planificadores para verificar el cumplimiento del plan semanal, detectando las causas de no cumplimiento de lo planificado y estableciendo el plan de la siguiente semana.
- vi. Para complementar el proceso se recomienda la inclusión de una programación diaria, la cual deberá marcar el paso para la programación semanal

La confiabilidad del plan se mide en términos del Porcentaje del Plan Completado (PPC), al final de cada semana. Las causas de los fallos de cumplimiento también se investigan semanalmente con el fin de evitarlas en el futuro. La confiabilidad de la planificación está directamente relacionada con la productividad (González et al., 2008).

3.2.1 Programación Maestra

Define las tareas principales que “deberían” hacerse. Incorpora todas y cada una de las actividades a realizarse sin incurrir en excesivo detalle, estableciendo la relación entre ellas en términos de tiempo y espacio. Con la programación maestra podemos monitorear el avance global de la producción, pues se fijan hitos que son exigidos normalmente por el plazo del proyecto. Es fundamental tener en cuenta lo siguiente:

- Identificar a los responsables del cumplimiento de cada parte del programa e incorporar a los proveedores y/o subcontratistas que intervienen en las principales tareas de la programación, con el fin de definir en qué periodo de la programación deben actuar y contemplar las relaciones e interacciones entre ellos.
- Identificar a los agentes externos de los cuales depende la ejecución de las actividades programadas como administraciones públicas, terceros afectados, etc. (stakeholders).
- El plan maestro inicial debe ser objeto de revisiones a partir del aprendizaje obtenido de las planificaciones más detalladas.

3.2.2 Programación por fases (Phase Scheduling)

Es el segundo nivel de la planificación y se hace necesario cuando el proyecto es muy complejo y extenso. Separa en fases el plan maestro a través de hitos y presenta una subdivisión más detallada del plan maestro.

Para una efectiva programación de fases, Ballard (2000) propone una herramienta simple pero a la vez eficaz: *Stickies on the wall*. Este procedimiento involucra a todos los representantes de las organizaciones que trabajaran dentro de una fase del proyecto. Los miembros del equipo escriben breves descripciones de los trabajos (en *stickers* o pedazos de papel) que ellos deben realizar o entregar para la realización del siguiente trabajo. Posteriormente pegan los *stickers* en una pared o pizarrón, en la secuencia esperada para el equipo.

El intercambio y transparencia de las ideas colabora en la mejora de los métodos y secuencias.



Figura 3.3: Programación por fases, mediante el uso de *Stickies on the wall*.
Tomado de “Phase planning today” (knapp, et al. 2006)

El propósito de la programación de fases es producir un plan para completar una fase de trabajo que maximice la generación del valor y que a la vez sea entendido y apoyado por todos los involucrados. El producto debe ser una programación que sirva para plasmar posteriormente el lookahead y la programación semanal.

Ballard (2000) sugiere los siguientes pasos para elaborar una programación de fase.

- a) Definir los trabajos a ser incluidos en la fase, por ejemplo, cimientos, estructura, acabados, etc.
- b) Determinar la fecha de finalización de la fase, además de las más importantes tareas provisionales para las fases previas o posteriores.
- c) Con ayuda del equipo de programación y la herramienta *“stickies on the wall”* desarrollar la secuencia de actividades necesarias para completar la fase, *trabajando hacia atrás desde la fecha de finalización, y continuando con la incorporación de los hitos intermedios.*
- d) Aplicar una duración a cada actividad, sin la contingencia u holgura correspondiente en las estimaciones de duración.
- e) Examinar nuevamente la lógica de la programación obtenida para tratar de acortar la duración.
- f) Determinar la fecha de inicio más pronta posible para el inicio de la fase.
- g) Si hay tiempo de sobra después de comparar el tiempo entre el inicio y la finalización de la duración de las actividades visualizadas en la pared, decidir qué tendrán *buffer* a costa del tiempo adicional. Se debe tener en cuenta lo siguiente:
 - o Identificar las actividades que son más frágiles en cuestión de duración.
 - o Clasificar las actividades frágiles por el grado de incertidumbre.
 - o Distribuir el tiempo disponible entre las actividades frágiles en el orden de importancia obtenido.
- h) ¿El equipo está de acuerdo en que los *buffers* disponibles son suficientes para asegurar el cumplimiento de la programación entre hitos? Si no es el caso, replantear o cambiar hitos tanto como sea necesario y posible.

- i) Si hay un exceso de tiempo disponible, decidir si se usará para acelerar la programación o para aumentar la probabilidad de finalización en el tiempo establecido.

Se puede inferir que este mismo procedimiento es aplicable para la elaboración de un plan maestro sin la necesidad de dividirla en fases, siempre y cuando la complejidad del proyecto no nos obligue a ello.

3.2.3 Programación intermedia: *Lookahead*.

Comúnmente se conoce a esta programación como “lookahead”, la cual busca profundizar en la planificación de las actividades en un plazo intermedio, con el fin de abordar mayores detalles. Se debe realizar según las necesidades de cada caso en particular, pudiendo variar de 4 hasta 6 semanas. Lo que busca la programación intermedia es determinar lo que “se puede” hacer.

Se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Se identifican e incorporan los suministros necesarios (y su gestión) para que el proyecto se desarrolle sin complicaciones.
- se programan las tareas del flujo de producción necesarias para avanzar en el desarrollo de la planificación maestra; tales como inspección, pruebas y ensayos, así como la intervención de agentes externos. Todo lo anterior con la finalidad de que cuando se requiera agregar algo de aquello en la programación no constituyan un foco de retraso.
- Se identifican recursos necesarios y disponibilidad de los mismos, las consideraciones en temas de seguridad, las medidas para la conservación del medio ambiente y la gestión de residuos.
- Se identifican las restricciones, los responsables de la eliminación de las mismas y los plazos para lograrlo.

3.2.3.1 La Programación Lineal: trenes de trabajo y sectorización.

La programación está orientada a lograr volúmenes de producción similares para cada día por cada cuadrilla (Ghio, 2001). Se basa en partir los volúmenes de trabajo en porciones pequeñas para hacerlas más manejables. Es necesario balancear la

capacidad de las cuadrillas asignadas de tal manera que los metrados (de fierro, encofrado, concreto, etc.) de una porción de obra sea compatible con otras, esta compatibilidad, que no es más que la partición en metrados aproximadamente iguales, se denomina *sectorización*. De esta manera se eliminan tiempos de espera y tiempos muertos pues el trabajo se hace repetitivo.

El lean considera las holguras que presenta el CPM, del cual se habla más adelante, como pérdidas. En el uso de la programación lineal no se contempla la posibilidad de holguras por tanto cada atraso de una actividad implica el atraso del resto de actividades; sin embargo, Ghio sostiene que el camino para obtener mayores eficiencias es asumir mayores riesgos calculados. Los riesgos y efectos de la variabilidad pueden ser amortiguados por los *Buffers*, éstos independizan a los procesos de su medio ambiente y de los procesos de que dependen (Koskela, 2000), permitiendo amortiguar el impacto negativo de la variabilidad sobre una cadena de procesos de producción.

A continuación se muestra un ejemplo de sectorización idealizada en una edificación de 4 plantas.

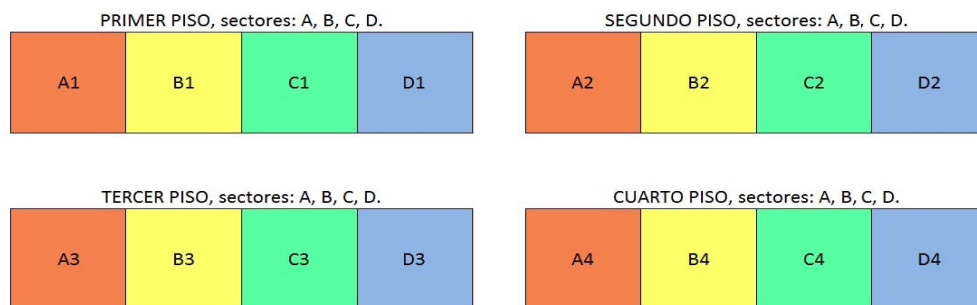


Figura 3.4: Adaptado de Ghio, 2001.

En la figura 3.4 se observa la sectorización que para este caso ideal, se podría realizar en un día de trabajo en las partidas de acero, encofrado y concreto en cada tipo de elemento implicado. El tren de trabajo partiría en el día 1 con la colocación del acero vertical dentro de todo el sector A del primer piso, esta cuadrilla pasaría al día siguiente a realizar la misma labor al sector B y a la vez se comenzaría a trabajar el encofrado vertical en el sector anterior. Esta secuencia se puede apreciar en el formato de programación lineal mostrado en la figura 3.5.

	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11
Fierro vertical	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3
Encofrdo vertical		A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3
Concreto vertical			A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3
Enc. Fondo de vigas				A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
Fierro en vigas					A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2
Enc. Costado de viga					A1	B1	C1	D1	A2	B2	
Encofrado de losas							A1	B1	C1	D1	A2
Fierro losas								A1	B1	C1	D1
concreto losas								A1	B1	C1	
Desencof. De losas											

	DIA12	DIA 13	DIA14	DIA15	DIA16	DIA17	DIA18	DIA19	DIA20	DIA21	DIA22
Fierro vertical	D3	A4	B4	C4	D4						
Encofrdo vertical	C3	D3	A4	B4	C4	D4					
Concreto vertical	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4				
Enc. Fondo de vigas	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4			
Fierro en vigas	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4		
Enc. Costado de viga	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4	
Encofrado de losas	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4
Fierro losas	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4
concreto losas	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4
Desencof. De losas	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3

Figura 3.5: Programación lineal. Adaptado de Ghio, 2001.

Lo expuesto en el caso de la figura 3.5 es de aplicación de una edificación de altura, sin embargo el mismo procedimiento se puede realizar para obras de diferente configuración como los caminos. Cabe recalcar que la cantidad de trabajo debe ser equivalente en cada sector, es decir todas las cuadrillas deben estar balanceadas para avanzar diariamente *el mismo metrado*.

La idea es que se minimicen los trabajos pico y la variabilidad haciendo que todas las cuadrillas realicen el mismo trabajo desde que ingresan a la obra hasta que se retiran de la misma por el cese de actividades, es decir se busca que la obra se convierta en una operación repetitiva y que todas las operaciones sean críticas.

3.2.4 Programación semanal.

Esta es la programación encargada de definir lo que “se hará” durante la semana, tomando en cuenta los resultados de la programación semanal anterior y de lo previsto en la planificación intermedia (lookahead), lo que incluye las restricciones.

Se debe considerar lo siguiente (Alarcón. *et al*, 2011):

- i. Se debe realizar una reunión, al principio o al final de la semana, en la que se realice el análisis del cumplimiento de la planificación vencida (PPC) y posteriormente la planificación de la semana entrante. Según Virgilio Ghio, se debe realizar el sábado de la semana precedente, ya que considera este día como un buffer.
- ii. La reunión debe albergar a todos los implicados en la ejecución (los últimos planificadores); es decir, desde representantes de la dirección, proveedores y subcontratistas implicados, hasta los jefes de cuadrilla responsables. La duración no debe ser mayor a dos horas.
- iii. La primera tarea en abordar en la reunión es el análisis del cumplimiento de la planificación vencida, en la que se detectarán las causas de los no cumplimientos de modo que se puedan adoptar las medidas necesarias para corregir los desajustes que se puedan presentar en el lookahead a raíz de esto. Ya que antes se mencionó que el aprendizaje es una parte importante del proceso, es importante registrar las medidas correctivas una vez detectadas las causas de no cumplimiento en forma de lecciones aprendidas.
- iv. Se deben establecer los trabajos que “se harán” durante la semana entrante, en función de los resultados de la tarea anterior: cumplimiento de la programación finalizada, lo previsto en el lookahead, restricciones existentes y eliminadas y el inventario de trabajo ejecutable.

En la figura 3.6 se observa un formato de programación semanal el cual contiene un porcentaje de confiabilidad producto del análisis de cumplimiento de las tareas programadas, este último analiza las causas de incumplimiento y muestra las medidas correctivas.

Figura 3.6: modelo de programación semanal.

FORMULARIO GESTIÓN DE PROYECTOS													Revisión: 2			
PLAN SEMANAL Y ANALISIS DE CONFIABILIDAD													Fecha: Jun - 2013			
CODIGO PROYECTO: 1301													Página: 1 de 1			
NOMBRE PROYECTO: ALLEGRA			AREA /FRENTE: 3er y 4to nivel													
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD DE 03/06/2013 AL 08/06/2013	UND	CANTIDAD	SEMANA 23							ANALISIS DE CUMPLIMIENTO						
			D	L	M	M	J	V	S	SI	NO	TIPO	CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	MEDIDA CORRECTIVA		
Habilitacion y Colocacion de Acero	kg	3265.221	3E	4A	4B	3C	4D						x			
Encofrado de Verticales	m2	251.130	3D	3A	4A	4B	4C						x			
Concreto Verticales	m3	20.820	3D	3A	4A	4B	4C						x			
Encofrado de Fondo de Vigas Y Una Car	m2	66.040	3C	3D	3E	4A	4B						x			
Encofrado de Costado de Viga Y Losa	m2	218.100	3B	3C	3D	3E	4A						x			
Habilitacion y Colocacion de Acero	kg	3940.347	3A	3B	3C	3D	3E						x			
Concreto Horizontales	m3	45.320	2E	3A	3B	3C	3D						x	se acabó el cemento martes	buffer de inventario en ceme	
Habilitacion y Colocacion de IIEE	glb	1.000	3A	3B	3C	3D	3E						x	retraso de encofrado losa 3C	más triplay para encofrado	
Habilitacion y Colocacion de IISS	glb	1.000	3A	3B	3C	3D	3E						x			
Tarrajeo cieloraso	m2	76.170				31A	31B						x			
Tarrajeo Vigas	m2	16.500					31A						x			
ANALISIS DE LA CONFIABILIDAD (EN %)											82%	18%	82%			

Por otro lado es un aspecto importante el compromiso que deben asumir todos los participantes del proyecto el cual *debe estar evidenciado por un sistema de visibilidad publica* de los resultados alcanzados semanalmente sean estos resultados buenos o malos. Este sistema de *transparencia* refuerza el compromiso, sobre todo el de los últimos planificadores.

3.2.4.1 PPC: porcentaje de plan completado.

Al final de cada semana se evalúa el porcentaje de cumplimiento de las actividades planeadas en la programación semanal, éste se calcula como la división entre el número de actividades programadas cumplidas al 100% entre el número de actividades programadas totales.

Este indicador debe estar acompañado por un listado de las razones por las cuales ciertas actividades planificadas no fueron cumplidas, con esta combinación se puede atacar las causas del problema y eliminarlas de raíz.

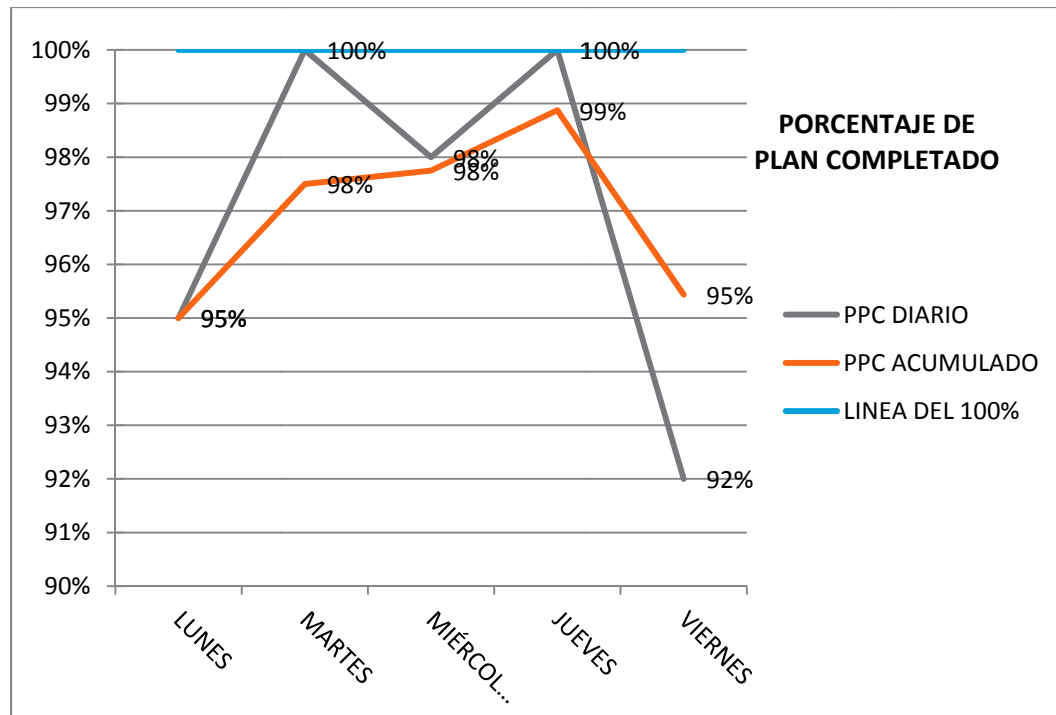


Figura 3.7: Ejemplo de PPC: se debe tener en cuenta que se cuentan como completas las actividades realizadas al 100%, las que no cumplen con este requisito no se cuentan como actividades completas

3.2.5 Programación Diaria

Las programaciones diarias están diseñadas para balancear la capacidad de producción real de las cuadrillas existentes con la cantidad de trabajo que se les asigna (Ghio, 2001). Es decir se busca que las cuadrillas cumplan con una asignación razonable y esto nos garantice el cumplimiento de la programación semanal.

Lo idóneo es completar la capacidad de producción óptima de la cuadrilla en la asignación, esto nos permite reducir y en el mejor de los casos eliminar las pérdidas relacionadas directamente con la producción diaria de cada cuadrilla.

Según Virgilio Ghio (2001), la programación diaria debe incluir:

- Todas las actividades que se realizan durante el día, incluir al responsable de cada cuadrilla.
- Cantidad de obreros por cuadrilla básica, así como la cantidad de cuadrillas básicas.
- El metrado de cada actividad a realizarse.

- La velocidad de producción de cada cuadrilla.
- A partir de los valores anteriores se calcula el rendimiento de cada actividad.

Estudios realizados para medir el impacto del uso de Last Planner arrojaron algunos aspectos cualitativos (Alarcón, 2008). En una realidad similar a la nuestra podemos esperar los siguientes resultados:

- Mejora en la gestión y control del proyecto.
- Mayor involucramiento de mandos medios gracias a un papel más activo en la gestión del proyecto y su mayor compromiso con la planificación.
- Disminución de pedidos urgentes e imprevistos.
- Mayor productividad de los procesos, aunque en algunos casos ésta no pueda ser medida directamente.
- Menores plazos de ejecución de obra.

En el escenario de la implementación global del sistema Last Planner se plantea seguir las recomendaciones que Serpell (1993) nos entrega, las cuales han sido alineadas con los conceptos del sistema:

- Desarrollar y adaptar herramientas convenientemente.
- Aprovechar la estandarización y repetición mediante el uso efectivo del recurso humano.
- Evaluar permanentemente nuevas alternativas de construcción. Innovar.
- Usar métodos y materiales apropiadamente, teniendo en cuenta las características del proyecto. Innovar.
- Ahondar en detalles de planificación (en el nivel adecuado) para evitar los cuellos de botella.
- Estandarizar las operaciones de construcción y aprovechar la repetitividad. Es decir sectorizar y crear trenes de producción.
- Incorporar problemas potenciales en la planificación, en el caso del LDPS, Diseño Lean. Identificar riesgos.
- Estudiar anticipadamente los métodos a utilizar en operaciones complicadas o difíciles.

- Controlar y apoyar con más énfasis aquellos trabajos altamente sensibles a problemas de calidad.

3.3 Uso del Sistema de Gestión Basado en las Localizaciones (LBMS) en el sistema Last Planner

La bibliografía internacional nos cuenta que el método de gerencia de proyectos dominante en nuestra época (desde hace un buen tiempo atrás) es el Método del Camino Crítico o CPM. Sin embargo desde hace mucho han surgido metodologías alternativas que toman lo mejor de algunas metodologías del gran universo de las mismas, incluso del CPM (Kenley y Seppänen). El Sistema de Gestión Basado en las localizaciones es propuesto por Seppänen, Ballard y Pesonen (2010) como una alternativa complementaria al sistema Last Planner, exponiendo una metodología que resulta de la combinación de los dos sistemas, mediante el uso de la Línea de Balance. Previamente a esta propuesta, se explica la base teórica del LBMS.

3.3.1 El sistema de gestión basado en las localizaciones para proyectos de construcción.

Podemos citar, como antecedente, la clasificación general que hacen Kenley y Seppänen (2009) en torno a las metodologías de programación en la gestión de proyectos en la construcción. Consiste en dos primordiales, las primeras, las convencionales, son las metodologías basadas en la actividad (activity based), lo que constituye la técnica dominante del sector construcción en muchos lugares del mundo. Para Kenley y Seppänen la técnica se basa en la construcción de una red lógica de actividades con dos divisiones principales; deterministas (por ejemplo CPM) y probabilísticos (por ejemplo PERT). Esto se puede observar en la figura 3.8. Por otro lado la clasificación muestra la metodología Basada en la Localización (location based), que a su vez se subdivide en *unit production* y *location production*. En las cuales se encuentra el método de la *Línea de Balance*.

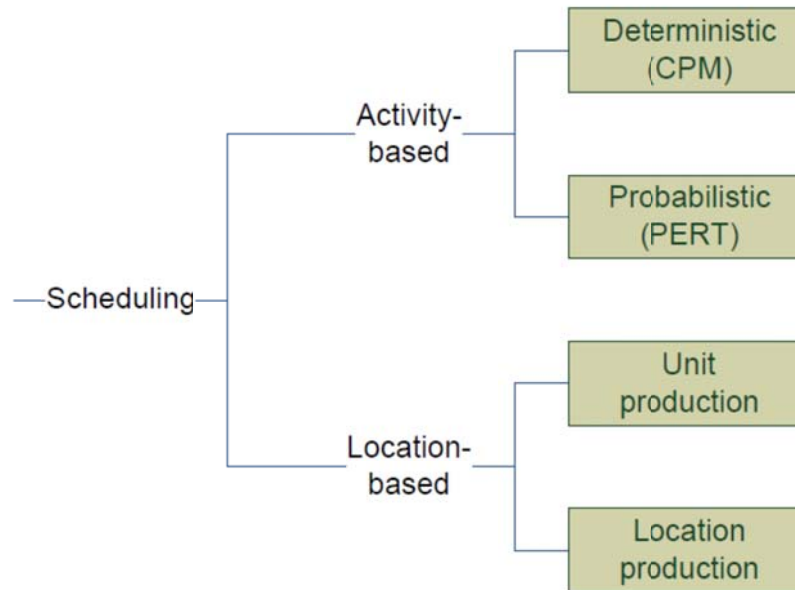


Figura 3.8: clasificación de los métodos en la programación de proyectos de construcción. (Tomado de Kenley y Sappänen, 2009)

El método *basado en las localizaciones* se enfoca en el movimiento de los recursos a través de las unidades de producción o *localizaciones*, las cuales se definen en la *Estructura Fraccionada de Localización* (LBS). La LBS se explicará en el acápite 3.3.1.1.

Las tareas son representadas por actividades que se repiten a lo largo de diversas Localizaciones; por tanto, el foco del método está en la tarea moviéndose a través de las unidades de producción (Localizaciones) y los datos del proyecto se encuentran tanto en la tarea y la ubicación a través del tiempo. Estos datos deben ser procesados y usados como una base de datos para la planificación en proyectos siguientes.

3.3.1.1 Estructura Fraccionada de la localización (LBS).

Kenley y Seppänen (2009) sostienen que las localizaciones de un proyecto requieren el establecimiento de una estructura fraccionada de ubicación jerárquica, es conocida como *Location Breakdown Structure* (LBS), y se define para asumir una realidad física, así como la organización del trabajo en obra. El LBS se refiere a un desglose físico (o lógico) del proyecto (similar al que propone el CPM con el WBS), tal como se muestra en la Figura 3.7, para los que la estructura fraccionada sería la que se muestra en la Figura 3.8.

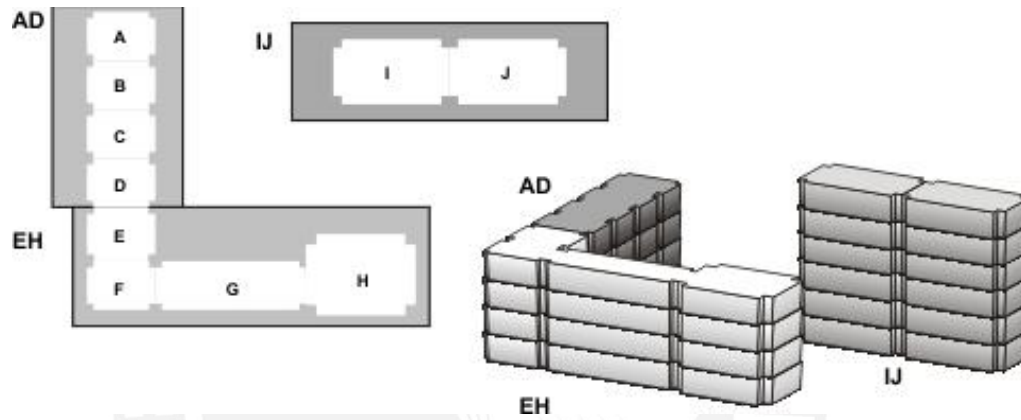


Figura 3.7: Layout típico de un proyecto para la preparación de una LBS o Estructura de desglose basada en la ubicación. (Tomado de Kenley and Seppanen, 2009)

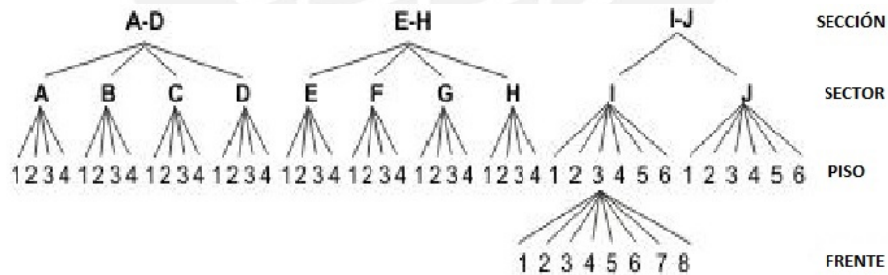


Figura 3.8: LBS para el proyecto antes mencionado (adaptado de Kenley and Seppänen, 2009)

Según Kenley y Seppänen una Localización debe recolectar una serie de datos mínimos, los cuales deben proveer de información para el siguiente proyecto, esto cumple con el principio de mejora continua. Los datos son:

- Los objetos de construcción, o componentes, tales como los elementos y subsistemas. Vale mencionar que tradicionalmente, los objetos o elementos de construcción han estado disponibles sólo en los dibujos CAD, es decir los planos. Kenley y Seppänen sostienen que idealmente, éstos deberían ser documentados en un modelo de construcción orientado a objetos 3D.
- Cantidades planeadas y reales de los componentes. Éstas preferiblemente deben medirse directamente a partir de un modelo 3D. también es admisible la medición en campo, aunque la medición manual debería ser redundante con la tecnología 3D basada en modelos como Vico Office de Vico Software. Posteriormente, las variaciones en la cantidad que se producen durante la construcción deben poder ser rastreadas (Kenley y Seppänen, 2009).
- Sistema de ensamblaje y producción en las edificaciones. En un sistema de construcción, el montaje de los componentes es muy importante, incluyendo el método seleccionado de construcción. Es así que el ensamblaje debe incluir componentes de apoyo como andamios y necesidades de infraestructura en planta, tales como el uso de grúas. Estos deben ser medidos junto a las cantidades de materiales.
- Costos planeados y reales. Costos asociados con lo planeado y la cantidad real de materiales.
- Costo del sistema constructivo. El costo de todos los componentes debe ser agregado para cada ubicación y cada nivel jerárquico dentro del LBS. El proceso debe ser iterativo, ya que los costos laborales siempre deben ser calculados en base al uso real de recursos reflejado en la planificación basada en la localización.

3.3.1.2 Líneas de Balance (LoB)

La Línea de Balance es un método de programación gráfica que considera a la localización explícitamente como una dimensión dentro del diagrama. Facilitando así la planificación de recursos, ahorros en el costo y mayor confiabilidad en la programación, así como la permanencia en la obra (debido a que se optimiza el recurso mano de obra) de las cuadrillas de trabajo (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

La técnica de la Línea de Balance permite mostrar el trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea o barra, en una gráfica Localización Vs Tiempo; en vez de una serie de actividades como se haría en un diagrama de barras, resultante de CPM, Las líneas de balance para un proyecto modelo tiene el siguiente aspecto:

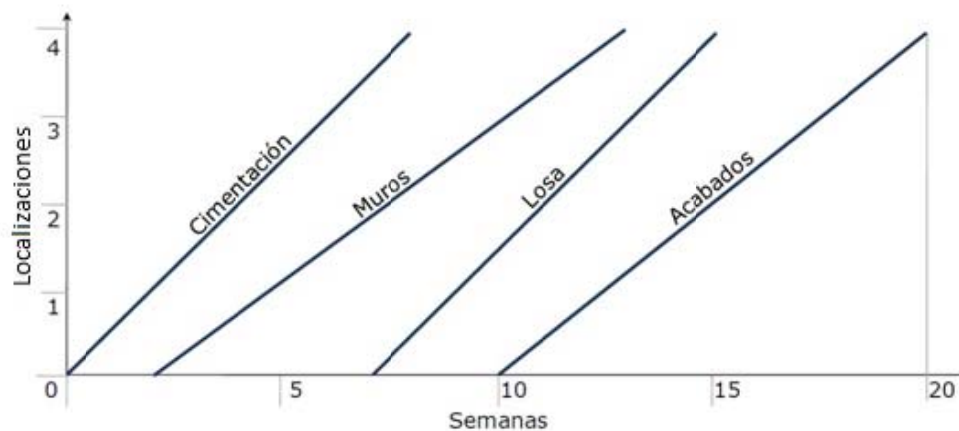


Figura 3.9: Líneas de Balance para un proyecto de cuatro casas, donde éstas son las localizaciones. Adaptado de Loría, "Programación de obras con la técnica de la línea de balance".

En este caso las localizaciones se definen por viviendas, es decir cada vivienda es una localización.

En el eje "x" se representa el tiempo y en el eje "y" el número de localizaciones.

Otra de las utilidades de la LoB es que en ella se puede ver el avance real del proyecto y hacer el contraste respectivo, e inclusive se puede extrapolar la fecha de término de una actividad basándose en el ritmo real del trabajo. El sistema del

control basado en la localización muestra cuatro escenarios (Seppänen, *et al*, 2010):

- Línea base, la cual constituye toda la programación inicial e incluye todos los datos que se deben tomar en cuenta para ella.
- Línea corriente, que representa la posición actual de una tarea, recibe las restricciones a partir de la línea base e informa de los cambios de cantidades, ratios, planes y secuencias.
- Progreso, monitorea el desempeño real del proyecto.
- Pronóstico, recopila la información de b y c para emitir alertas tempranas para la toma de decisiones.

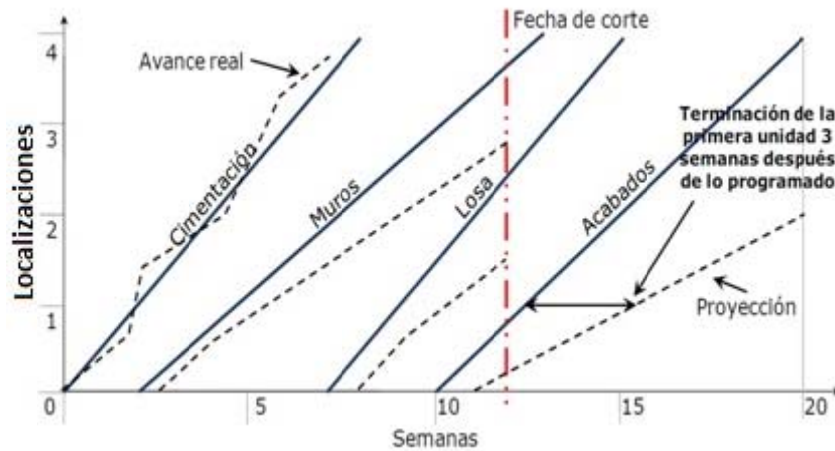


Figura 3.10: Programa actualizado a la semana 12, se observan los 4 escenarios de control. Adaptado de Loría, "Programación de obras con la técnica de la línea de balance".

En la Figura anterior se muestra la gráfica de la LoB actualizada al término de la semana 12 del proyecto, este corte representa el escenario "b". Se puede ver que la Cimentación está dentro de programa y casi concluida; pero los Muros y la Losa están retrasados, esta deducción proviene del escenario "c". 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, esto corresponde al escenario "d". 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.

3.3.2 Uso de las Líneas de Balance en la programación maestra

Sabemos que la LBS es una estructura jerárquica, al definir esta estructura debemos definir o identificar las actividades principales (de primer orden) ya que estas serán graficadas en la programación maestra. La definición de la LBS es similar al WBS propuesto por el PMI. En el caso del LBS puede ser estructurado orientado a los entregables, a los recursos o como precedente adecuado para la programación de fase. Es importante definir bien las jerarquías, el desglose primario es el de mayor importancia para el propietario del proyecto, ya que con él se genera la herramienta con la cual se puede verificar los avances en torno a los plazos contractuales. De igual manera para el contratista, ellos pueden ver como hitos en la programación maestra el inicio o fin de una de las actividades de primer orden.

Citando el ejemplo de Orihuela (2013), una actividad de primer nivel en un proyecto de edificación podría ser el pórtico estructural de concreto armado; un desglose de segundo nivel podría ser dividir este pórtico en elementos verticales y elementos horizontales; un desglose de tercer nivel podría ser dividir cada uno de estos elementos en las actividades de acero, instalaciones, encofrado y concreto. Así como el pórtico estructural podemos tener otras actividades primer nivel como los muros anclados en una edificación, la cimentación, etc.

En la figura 3.11 se muestra un ejemplo de programación maestra con el uso de las líneas de balance, éste obedece a un edificio de 15 pisos, 2 sótanos y una azotea. Se detallan las actividades de primer orden así como el avance real del proyecto a la fecha de su publicación (Orihuela y Esteves, 2013).

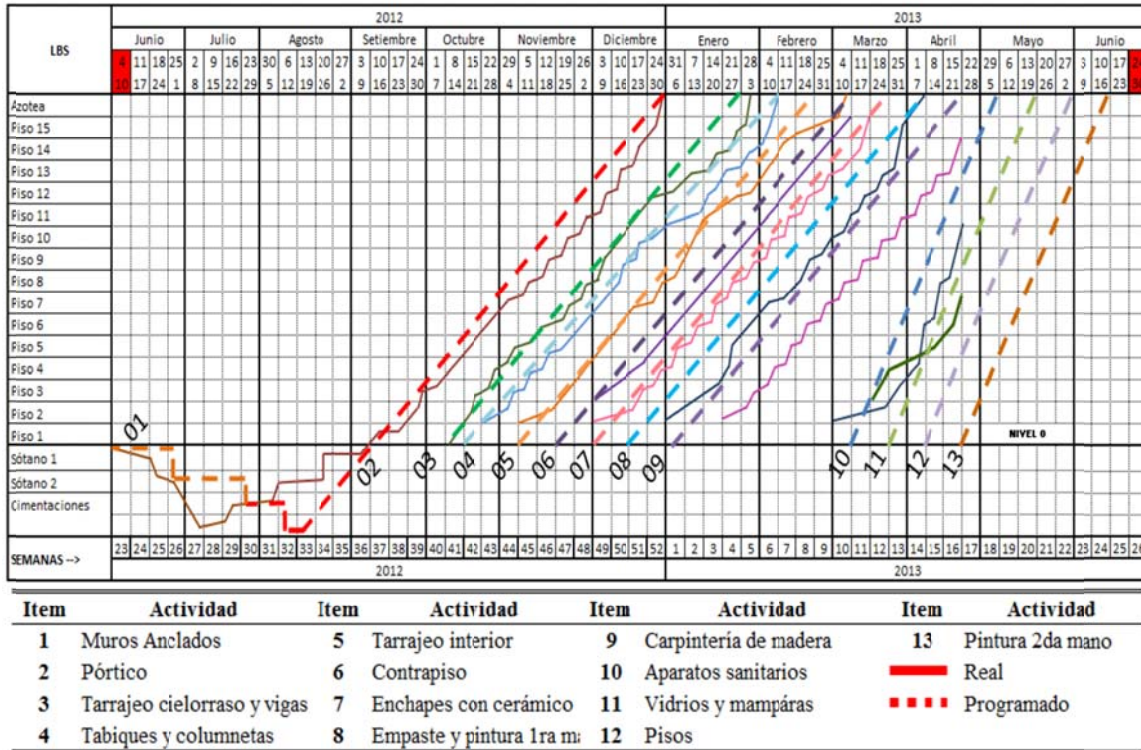


Figura 3.11: Programación Maestra con el uso de la LoB. Se muestra el avance real del proyecto (tomado de Orihuela y Estebe, 2013)

Según haya sido definida nuestra LBS podemos incluir en la programación maestra actividades de segundo orden dependiendo de cómo se beneficie la efectividad y confiabilidad de nuestra programación. A partir de un caso como este podemos incurrir en mayor detalle de programación mediante el *Phase Scheduling* complementado con el uso de la línea de balance.

En Finlandia la línea de balance ha sido la herramienta principal en la programación de las grandes empresas constructoras desde 1980. Los clientes finlandeses exigen el uso de la programación de línea de balance tanto en proyectos especiales complejos como en la construcción de edificios residenciales (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

3.3.3 Uso de las Líneas de Balance en la programación de fase.

Como se hizo referencia anteriormente, la programación de fase se caracteriza por las reuniones de programación, en las cuales se comienza desde un hito hacia atrás, de tal manera que cada tarea permita la realización de la próxima. Estas reuniones se caracterizan por la utilización de *Sticky notes* en los cuales se escriben los nombres de las tareas y sus respectivas duraciones, para ser posteados consecuentemente, es decir las actividades predecesoras a la izquierda y las sucesivas a la derecha (Ballard y Howell, 2004).

Sobre esta base Seppänen, Ballard y Pesonen (2010) plantean un esquema de programación de fase *colaborativo* basado en la experiencia de Skanska Finland en reuniones para este tipo de programación. Para conseguir todos los datos de manera colaborativa se divide la sesión de *phase scheduling* en dos reuniones.

La primera reunión es para definir una estructura fraccionada de localizaciones (LBS) detallada para la fase con la colaboración de todos los implicados en el proyecto. Básicamente se hace el ejercicio normal de *stikies on the wall* para identificar los tipos de tareas y lógica secuencial de manera colaborativa. Sin embargo, las duraciones no son definidas aún.

Después de que se conocieron todas las tareas y ubicaciones, todos los subcontratistas e implicados en el proyecto deben **llevarse una tarea** para estimar la cantidad de trabajo y consumo de mano de obra (hh/und) para cada tarea en cada localización. Esto da toda la información requerida, creando una programación basada en localizaciones con una cuadrilla por cada tarea. Se espera como resultado de las tareas *Homework* ratios de producción no alineados

La segunda reunión es para optimizar el flujo de trabajo mediante inspección a las actividades cuello de botella con los menores ratios de producción, y aumento o disminución de recursos (cuadrillas, maquinarias, etc.) a fin de lograr un flujo seguro y con la óptima productividad global. Los ratios de producción son alineados en el segundo taller o reunión como un ejercicio de equipo. Cada cambio en el ratio de producción es establecido como un compromiso.

El resultado final es un cronograma alineado con líneas de flujo paralelas. Finalmente, los buffers son planificados entre tareas con ayuda de los participantes.

En este método el beneficio que salta a la vista es que se tiene mayor información y un más eficiente uso del mismo en beneficio del resultado final (Seppänen *et al*, 2010).

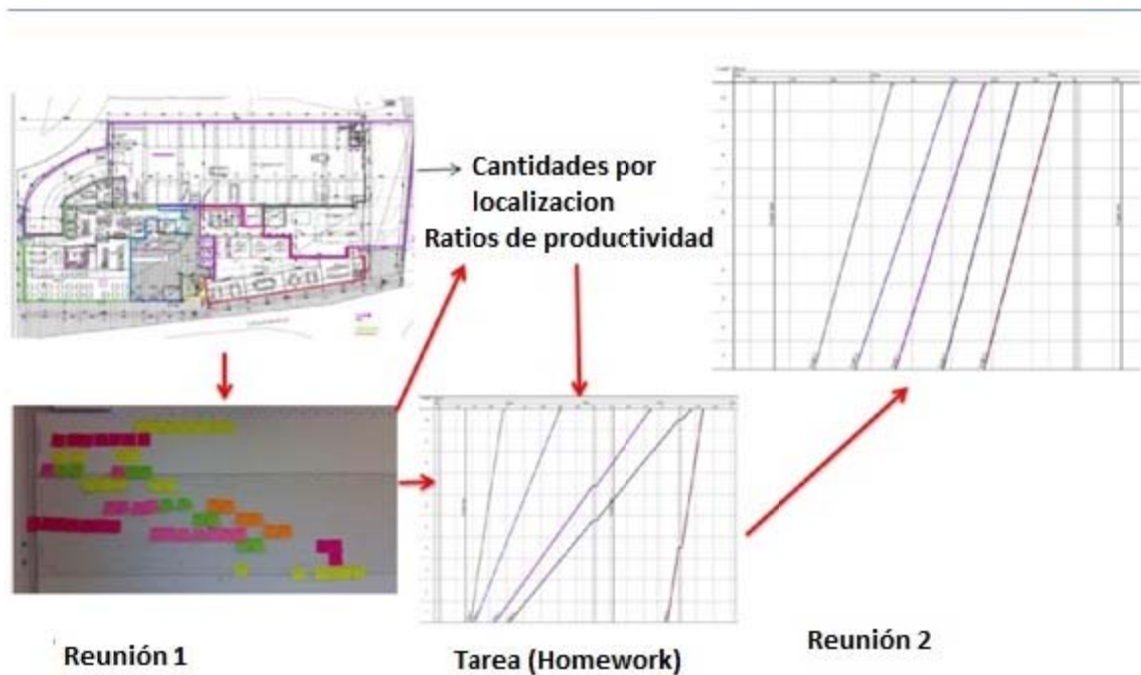


Figura 3.12: Proceso de programación de fase propuesta. Reunión 1 es una sesión de *Phase Scheduling* donde la estructura fraccionada de las localizaciones es definida, y las tareas y la lógica son capturadas usando el conocido método de *Sticky Notes* del LPS. La segunda reunión empieza con una programación no alineada con una cuadrilla de trabajo en cada tarea. El alineamiento de los ratios de producción se hace colaborativamente en la reunión 2. El resultado final es una programación alineada que captura los compromisos respecto a los ratios de producción de todos los participantes.

3.4 La Ejecución Lean

Además de las técnicas de programación y control como el LPS y las adicionalmente propuestas en esta tesis, la Ejecución Lean toma ventaja de otras técnicas y herramientas que tienen lugar en uno o más módulos de la triada. Así mismo se evidencia la importancia de las otras fases y sus módulos debido a la incidencia que tienen en esta fase del LPDS.

Deliberadamente se hace la presentación de los módulos en el orden inverso al que se presentan en la triada, para plasmar que la puesta en marcha es el último paso antes de la entrega al propietario y esta a su vez es la finalidad de un proyecto (lo que marca el "pull" de los procesos desde la perspectiva Lean).

3.4.1 Puesta en marcha en la Ejecución Lean

La *Puesta en Marcha* es un conjunto de procedimientos formales para asegurar que lo que es entregado a los clientes coincida con sus necesidades. Comúnmente, esto incluye algunos medios para evaluar la adecuación del diseño, conformidad de los productos con el diseño, y preparación del cliente para asumir la custodia y control a manera de un "entrenamiento de operador". Esto último puede incluir además algunos tipos de evaluaciones *post-ocupación* (Ballard, et al. Citado por Best, 2002).

La puesta en marcha es el último paso en el proceso de producción antes de la entrega de una instalación al propietario o cliente. En ella todos los sistemas, subsistemas e instalaciones deben ser debidamente testeadas y deben estar funcionando a fin de estar "listo para entregarse".

La *Puesta en Marcha* es el último paso del proceso de producción antes de la entrega definitiva de las instalaciones al propietario; en virtud de ello, el trabajo de las diferentes especialidades debe ser coordinado y completado en los tiempos establecidos a fin de permitir que todos los sistemas instalados en la edificación sean activados, calibrados y probados. Es importante que estas actividades propias de la puesta en marcha sean programadas, tal como se hace con toda tarea o actividad que agrega valor a la producción, a fin de garantizar la entrega.

3.4.2 Instalación

Este módulo se relaciona netamente con la Ejecución Lean, a continuación se explican algunas de las herramientas fundamentales, así se busca entender, más allá de la relevancia las mismas, la relación con los módulos adyacentes y el impacto que tienen los módulos de las fases anteriores del LPDS sobre la Ejecución Lean.

3.4.2.1 Estudios First Run para el diseño de operaciones

Este tema es ampliamente abarcado por Howell y Ballard (1999). Las operaciones de construcción son los caminos por los cuales el equipo de obra realiza su trabajo, los métodos de trabajo parecen ser simples cuando son representados en los presupuestos. A fin de cuentas, el diseño de las operaciones alcanza todo el sistema LPDS, ya que es parte de la “estructuración del trabajo”.

En el módulo *diseño del producto*, las decisiones acerca de la selección de materiales, su incorporación y configuración in situ, restringen el método de trabajo. De esta manera los diseñadores limitan el rango de soluciones que tienen a disposición. Este rango se estrecha a lo largo del tiempo y en consecuencia los planificadores más cercanos a la ejecución hacen suposiciones adicionales. Esto se debe a que rara vez se resuelven todos los detalles antes del inicio de una actividad y la mayoría de operaciones continúan evolucionando incluso durante su ejecución. Esta imagen contradice la visión de que existe una manera estándar de trabajo.

Lo anterior sugiere dos estrategias diametrales: una es dejar tanta libertad como sea posible para el último planificador, mientras que lo opuesto es mandar todos los detalles por adelantado y luego asegurarse de que se cumpla con lo planeado. El diseño de las operaciones bajo cualquiera de las dos estrategias tiene problemas obvios. En el primero la total flexibilidad hace que la planificación y la coordinación con otros miembros del equipo se dificulten, y las proyecciones de costo se tornen poco fiables. En la segunda opción, las prescripciones tempranas no contemplan los acontecimientos finales.

En este contexto surge la alternativa de los *first run studies*, que consisten básicamente en el cálculo de rendimientos, ratios de productividad y evaluación de mejoras a través de la ejecución temprana o intermedia de las alternativas a disposición. Pretender contar con todos los detalles antes de cualquier ejecución es irrealista; sin embargo, estableciendo procedimientos tempranamente y apoyándolos por medio de la planificación de fases, se puede mejorar la fiabilidad del flujo de trabajo mediante la información que brindan los *first run studies*.

Los estudios *first run* deberían ser una parte rutinaria de la planificación, conducida preferentemente entre 3 a 6 semanas antes de iniciar una nueva operación (Howell y Ballard, 1999). Se debe incluir la realización de operaciones, tan pegado a la realidad como sea posible, con el fin de probar y aprender cual es la mejor forma de realizar el trabajo, identificar habilidades y herramientas disponibles o necesarias, interacción de la operación con otros procesos, etc.

Los puntos a considerarse en la implementación y ejecución del *first run study* son (Ballard *et al*):

- Diseño propio del producto
- Equipos y tecnología disponibles
- Layout de sitio y logística
- Tamaño de los paquetes de trabajo que se liberan a las cuadrillas
- El potencial del medioambiente
- Seguridad
- Expectativa de la experiencia y habilidades de los obreros y supervisores
- Tradiciones de los obreros o normas sindicales, además de otros temas relacionados



Figura 3.13: Estudio *First run* realizado para los acabados en fachada de la Universidad del Pacífico, Lima, Perú (2011). Fuente: internet

Los estudios *first run* y las operaciones de diseño no están limitados a ser operaciones repetitivas; en la búsqueda de la excelencia, se podría decir que todas las operaciones deberían ser sometidas a un estudio de diseño en cada proyecto. Los estudios típicos incluyen procesos, equilibrio de las cuadrillas y diagramas de flujo así como los espacios de horario que muestran cómo los recursos se mueven a través del espacio y el desarrollo del trabajo. Esto es muy importante para medir y entender la variabilidad en las tasas de llegada de los recursos y tiempo de transformación, teniendo en cuenta que todas las condiciones mencionadas antes varían de proyecto a proyecto.

Concretamente se puede citar a manera de ejemplo de la aplicación de los *FRS* los pilotos que se construyen para las casetas de ventas de los departamentos, en ellos es posible ver detalles como los cerámicos en paredes y pisos, las juntas y encuentros entre diferentes productos, el aspecto de los acabados ya colocados y,

por supuesto, rendimientos de colocación. Otra aplicación se da cuando se prueban diferentes calidades de tarrajeo en función de sus materiales y de los operarios que realizan el trabajo, al comparar las dos “muestras” podemos apreciar la calidad de la mano de obra, el rendimiento de la misma, el rendimiento de los materiales e incluso la limpieza a la hora de trabajar.

Dadas estas condiciones se puede concluir lo siguiente:

- Las operaciones de construcción usualmente inician con una significativa incertidumbre pero los estudios *first run* pueden reducirla.
- Los estudios *first run* resultan en la identificación de un buen camino (no el mejor, aunque esto sea un objetivo del Lean) para realizar el trabajo, estableciendo así un estándar contra el cual todos los responsables del trabajo puedan comparar su desempeño.

Se conoce claramente que la estandarización del trabajo es un sello de calidad del *Lean construction*, pero tales estándares no deberían ser vistos como inflexibles o rígidos. Ellos están sometidos a examinación y mejora para obtener como resultado un nuevo y mejor estándar cuando sea apropiado. Los estándares son muy importantes, sin embargo, estos se hacen más fáciles de aplicar al delegar responsabilidades de ejecución y control a los conductores del trabajo, y esto facilita el aprendizaje debido a la clara definición de un proceso que puede ser conjuntamente acordado y criticado. De esto último se evidencia la importancia de las fases previas del LDPS pues además es necesario que los estudios First Run sean definidos en todo sentido antes del arranque de la ejecución.

3.4.2.2 El flujo continuo como objetivo (CFP)

Para Ballard y Tommelein (1999) un proceso de flujo continuo, CFP, es un tipo de línea de producción a través del cual el trabajo es promovido de estación en estación siguiendo un modelo PEPS (primero en entrar, primero en salir), es decir, como una fila de tareas que se van realizando una después de otra según el orden de llegada. La idea es balancear, aproximadamente los ratios de producción de las diferentes estaciones de modo que todas las cuadrillas y equipos puedan realizar

trabajo productivo casi ininterrumpidamente mientras que sólo se acumula una modesta cantidad de trabajo en proceso entre estaciones. El objetivo de lograr un flujo continuo es maximizar el rendimiento del sistema mientras se minimiza el tiempo de inactividad de los recursos (mano de obra, equipos) y el trabajo en proceso.

Debido a que las técnicas *pull* muchas veces son limitadas por los plazos de entrega de los proveedores y la fiabilidad de los mismos, no todo el trabajo puede ser siempre estructurado como procesos de flujo continuo. Sin embargo, al hacerlo siempre que sea posible podemos reducir el peso de la coordinación en la “mente maestra” (aligerando la tensión que causa la frecuente resolución de problemas e imprevistos) y fomentar un flujo de trabajo confiable alrededor del cual se pueden planificar otros trabajos.

Los ejemplos de trabajo que pueden efectuarse como un proceso de flujo continuo incluyen: excavación de zapatas, colocación de encofrados y armaduras, luego inspeccionar antes de la colocación del concreto, y subsecuentemente el curado, desencofrado y acabados; o salas de acabados de un hotel u hospital (pintura, carpintería, etc.).

La clave del proceso de flujo continuo es que el trabajo se cumpla en pequeñas partes, cada parte se mejore en una operación y, una vez procesado, ser trabajado en la siguiente operación.

3.4.2.3 **Cómo es concebido el flujo en el Lean Construction**

Hablando del flujo, en la literatura Lean vemos que es una de las principales herramientas de esta filosofía, el progreso y eficiencia de este pensamiento depende grandemente de lo tratado anteriormente: la continuidad del flujo.

Kalsaas y Bolviken consideran que son igual de importantes la definición y medición del flujo de trabajo en la construcción. Recientemente se han realizado algunos esfuerzos por definir el concepto de flujo y buscar una manera óptima de medición del mismo.

Vamos a evocar el modelo de TFV de Koskela (2000), “T” es para transformación, “F” para flujo, “V” para el valor, y el modelo es referido como una producción teórica para el Lean Construction, tal como se mencionó anteriormente. En este caso se concibe el flujo como aquello que captura lo que está pasando entre la transformación o procesos de producción. Koskela lista seis principios para lograr el flujo:

- i. Reducir la parte de actividades que no agregan valor (desperdicio)
- ii. Reducir el tiempo de transporte
- iii. Reducir la variabilidad
- iv. Simplificar mediante la reducción del número de pasos, partes, componentes y relaciones (los vínculos)
- v. Incrementar la flexibilidad
- vi. Incrementar la transparencia

Según Kalsaas (2010) el primer punto de Koskela es la base normativa para la teoría, lo segundo es derivado de la *Teoría de colas* (Hopp y Spearman 2007), y los puntos 4-6 son principios que Kalsaas y Bolviken catalogan como heurísticos (técnicas para resolver problemas) con una más débil base teórica.

Es además necesario tener en cuenta que el flujo deberá ser mayor en la medida que el tiempo de entrega sea el óptimo. El tiempo de entrega es entendido por Koskela como tiempo de procesamiento, tiempo de inspección, esperas y tiempo de movimiento, y el desperdicio es asociado a los siete tipos de desperdicios tratados en la literatura Lean, estos son:

- i. Sobreproducción
- ii. Defectos
- iii. Inventario innecesario
- iv. Procesamiento inapropiado
- v. Exceso de transporte
- vi. Esperas
- vii. Movimientos innecesarios

Estos siete tipos de desperdicio son los que debemos eliminar en la medida de lo posible de todos nuestros procesos físicos e incluso de otros flujos como el de información. Koskela argumenta que el tiempo es la unidad natural de medición del flujo, y que es una mejor alternativa de medición que la medición de costos y calidad, como se reduce el tiempo de espera, es probable que también se reduzcan los costos y mejorar la calidad.

Por su parte Alarcón y Campero (2008) establecen doce principios básicos de la producción sin pérdidas que se establecen para el diseño, control y mejora de los flujos de producción:

- i. Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor
- ii. Reducir la participación de actividades que no agregan valor (es decir, “pérdidas”)
- iii. Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente
- iv. Reducir la variabilidad
- v. Reducir el tiempo del ciclo
- vi. Simplificar procesos
- vii. Incrementar la flexibilidad de la producción
- viii. Incrementar la transparencia de los procesos
- ix. Enfocar el control al proceso completo
- x. Introducir la mejora continua de los procesos
- xi. Mejorar continuamente el flujo
- xii. Referenciar los procesos con los de las organizaciones líderes (“benchmarking”)

3.4.2.4 La polivalencia (multi-skilling)

El *lean construction* promueve el uso de la polivalencia de equipos de trabajadores, así estos podrán realizar más que solo unas cuantas tareas especializadas y podrán montar un grupo importante de sistemas, evitando así la típica fragmentación por el inicio y fin de una actividad.

Los equipos polivalentes se pueden apoyar mejor y mantener el flujo continuo de producción por ser capaces de abarcar un mayor rango de trabajo, lo que es

especialmente importante cuando los flujos de trabajo son sujetos a variabilidad. Pese a que lo que se busca es la especialización del trabajo, estos equipos son especialmente importantes cuando no podemos albergar demasiadas cuadrillas debido a la cantidad de frentes de trabajo disponibles y es necesario que esta asuma otro tipo de trabajo. Evidentemente cada situación está sujeta a la variabilidad.

3.4.2.5 Constructabilidad

No se debe dejar de tomar en cuenta el concepto de constructabilidad, esta consiste en una práctica muy eficiente para lograr mejoramientos en la gestión de proyectos de construcción mediante la incorporación de personal con experiencia y conocimientos de construcción o conocimientos operacionales, no sólo para aplicarlos en la etapa de la construcción, sino sobre todo para aprovecharlas en etapas más tempranas y de niveles estratégicos como en las etapas de planificación y de diseño (Orihuela, 2003).

Los proyectos que promueven el uso de la constructabilidad tienen cuatro características comunes (Serpell, 1993):

- a. El dueño y los contratistas (diseño y construcción), quienes están orientados a lograr la efectividad económica global del proyecto, reconocen las fuertes influencias que tienen las decisiones iniciales sobre el desempeño posterior del mismo.
- b. Los administradores del proyecto (por parte del dueño, contratista, etc.) usan la constructabilidad como su mejor herramienta para lograr los objetivos del proyecto respecto a costos y programación.
- c. Los administradores o gerentes del proyecto integran tempranamente la experiencia de construcción al proyecto; es decir, encuentran el tipo apropiado de personal especializado en construcción, con una comprensión que se alinea con la forma en que el proyecto es planeado, diseñado y construido.
- d. Los diseñadores o proyectistas son receptivos a la implementación de la constructabilidad.

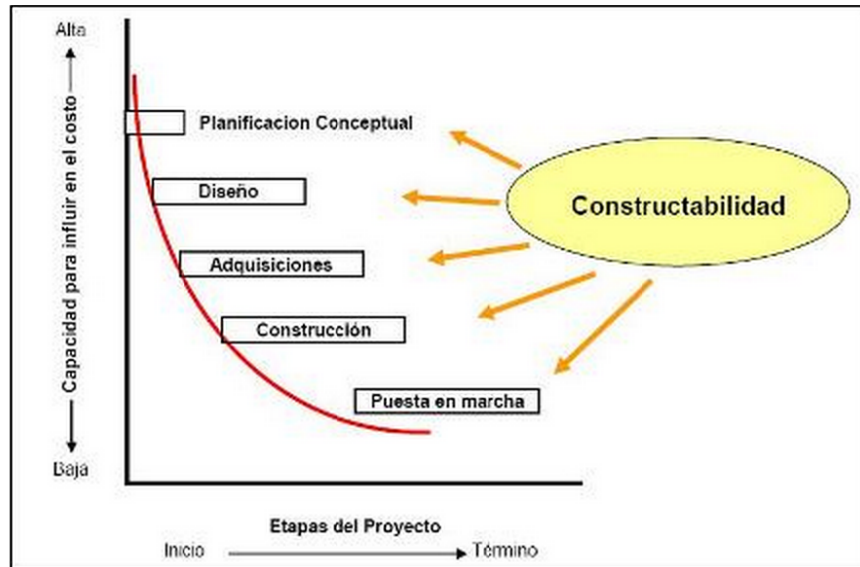


Figura 3.14: Beneficios de la constructabilidad, se aprecia que mientras más temprano en un proyecto se aplique este sistema, mayores son sus beneficios. (Adaptado de Serpell, 1993)

Según Serpell (1993) la constructabilidad mejora cuando se usan métodos innovadores de construcción, nos plantea tener en cuenta como un recurso válido e importante (además de la incorporación de la experiencia previa en la etapa de planificación y en la de ejecución) es el uso de métodos innovadores. Establece que un método constructivo es innovador cuando no es considerado de práctica común y representa una solución creativa a las dificultades en el campo.

Generalmente son pequeñas ideas progresivas que se van incorporando a los métodos existentes, tales como:

- Mejores secuencias de la ejecución de tareas, mejora en el flujo.
- Uso innovador de materiales y sistemas de construcción.
- Innovación en herramientas manuales y equipos menores.
- Uso innovador de la maquinaria.
- Uso de la prefabricación y la modularización.

Serpell plantea que es importante la acumulación bibliográfica y registro de estas innovaciones para su uso posterior y perfeccionamiento. Es importante además prestar atención a las innovaciones provenientes del personal experimentado que usualmente genera sus propias soluciones para enfrentarse a los problemas durante

la ejecución. En consecuencia nos entrega las siguientes recomendaciones que han sido alineadas con los conceptos de Last planner:

- Desarrollar y adaptar herramientas convenientemente.
- Aprovechar la estandarización y repetición mediante el uso efectivo del recurso humano.
- Evaluar permanentemente nuevas alternativas de construcción.
- Usar métodos y materiales apropiadamente, teniendo en cuenta las características del proyecto.
- Ahondar en detalles de planificación (en el nivel adecuado) para evitar los cuellos de botella.
- Estandarizar las operaciones de construcción y aprovechar la repetitividad. Es decir sectorizar y crear trenes de producción.
- Incorporar problemas potenciales en la planificación, en el caso del LDPS, Diseño Lean (identificar riesgos).
- Estudiar anticipadamente los métodos a utilizar en operaciones complicadas o difíciles.
- Controlar y apoyar con más énfasis aquellos trabajos altamente sensibles a problemas de calidad.

3.4.3 Fabricación y logística

3.4.3.1 Logística, JIT y la gestión de la cadena de abastecimiento.

La logística juega un rol muy importante en la productividad de un proyecto. Más aún, es evidente que cualquier falla en la Cadena de Abastecimiento tendrá un impacto en la producción de una obra. Villagarcía en el 2000 sostuvo, (producto de un análisis hecho en aquel tiempo) que la mayoría de empresas constructoras con problemas de desperdicios generados durante el proceso constructivo, tenían como fuente de origen la administración de la logística y el hecho de que no se les dio una atención adecuada. Con seguridad esto se debe a que rara vez los envíos a

obra son programados, cada envío se convierte en un evento imprevisto, lo que aumenta el desorden general en la obra (Bertelsen, 1993). A consecuencia de esto obtenemos bajos rendimientos en mano de obra y un encarecimiento general de los recursos, lo alarmante es que aún hay empresas que sufren estas condiciones y consecuencias, más aun con la creciente demanda inmobiliaria que invita a propios y extraños a la industria de la construcción.

Debemos entender por definición la logística en la construcción y la importancia de la gestión de la cadena del abastecimiento; así como la relación entre ambas y el pensamiento *Just in Time* para el ahorro de tiempo, recursos y de inventario el cual por definición es un desperdicio.

a. Logística

El *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) define la logística de la siguiente manera: *“es la parte de la Gestión de la Cadena del Abastecimiento que trata del planeamiento, implementación y control eficiente y eficaz del flujo normal y en reserva y almacenamiento de bienes, servicios e informaciones relacionadas, desde su punto de origen hasta su punto de consumo, a manera de satisfacer plenamente las necesidades del cliente”* Ballou (2004) califica esta definición como la más completa, por mostrarla dentro de la cadena del abastecimiento e incluir en el flujo no solo materiales sino también servicios y las tecnologías de la información que sirven de soporte para el proceso.

Por otro lado la definición toma algunas particularidades cuando hablamos de construcción. Según Villagarcía (2007) se define a la logística en la construcción como *“el conjunto de actividades de apoyo a la producción que aseguran un flujo de materiales y equipos eficaz y eficiente dentro de la obra, para que se cumpla con el planeamiento de ejecución establecido”*. Para el cumplimiento de esta definición es necesario que estas actividades se incluyan en la planificación, de otro modo no habría forma de que las operaciones se den de forma eficaz y eficiente. Se entiende además que para asegurar el flujo de materiales y sobretodo de información se

necesita integración de todos los agentes que intervienen en un proyecto, por tanto podemos inferir que la logística es un trabajo multidisciplinario. En consecuencia, cabe mencionar lo que señala Silva (2000) acerca del carácter multidisciplinario de la logística en la construcción en pro de garantizar el tiempo correcto, costos y calidad:

- Es necesario el dimensionar los recursos materiales y humanos necesarios para la producción.
- Garantizar la disponibilidad de estos recursos en los frentes de trabajo.
- El correcto almacenamiento de materias primas y bienes procesados cuando sea necesario.
- Garantizar el flujo y la secuencia de las actividades de producción.
- Gestionar eficazmente la información relacionada a los flujos físicos de producción.

Dentro de la logística de la construcción Cardoso (1996) hace una subdivisión exclusivamente para ella, salvando las distancias con la logística de la producción en serie, ya que a diferencia de ella en la construcción el entregable final es un edificio o algún otro bien inmueble.

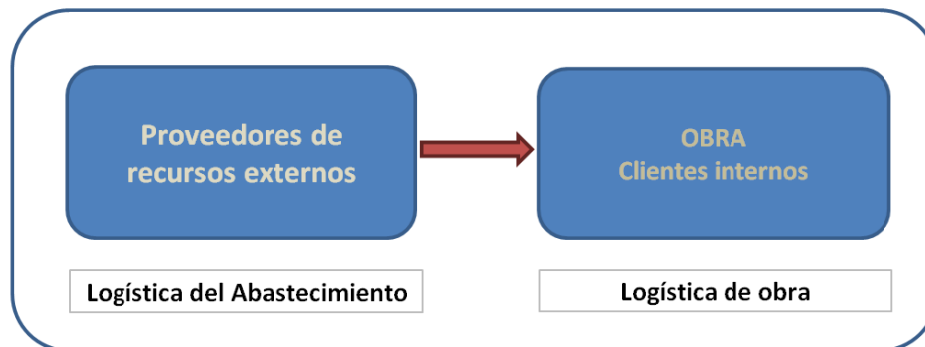


Figura 3.15: subdivisión de la logística de la construcción. Adaptado de Cardoso, 1996.

La *logística del abastecimiento* se encarga de la gestión, suministro y transporte de los recursos desde que aparece la necesidad hasta la llegada en obra. Esta

subdivisión merece una atención considerada, por tal Silva (2000) destaca las principales tareas en la logística del abastecimiento, estas son:

- Planeamiento y especificaciones de los recursos a utilizarse.
- Emisión y transmisión de órdenes de compra y servicios.
- Transporte de los recursos a obra.
- Recepción e inspección.
- Mantenimiento del abastecimiento de recursos previstos en el planeamiento.

Nuevamente en este último ítem vemos la importancia del planeamiento de la logística.

Por su parte la *logística en obra* se encarga de la gestión del flujo de recursos e informaciones dentro de la obra y durante la ejecución. Esta última debe ser desarrollada y planificada de forma permanente por la empresa a manera de políticas empresariales.

b. Just in Time

Es una estrategia de producción que consiste en solo producir lo requerido en el proceso sucesivo, cuando es necesario y en la cantidad requerida; esto reduce la necesidad de inventarios (Rossi, 2007). En un nivel un algo más amplio, la eliminación de inventarios trae en consecuencia la reducción de otras formas de desperdicio como el transporte y la eliminación de actividades que no agregan valor producto de la necesidad de tener productos de alta calidad y altos niveles de productividad.

La estrategia JIT es implementada para reducir los costos asociados al almacenamiento que debe constar de un stock mínimo, el proceso se controla a través del sistema Kanban¹ (que consiste en señales de operación) que comunica al

-
1. Kanban es un sistema basado en señales que usa tarjetas para señalar la necesidad de un artículo. El sistema Kanban fue inventado debido a la necesidad de mantener el nivel de mejoras por la Toyota. Kanban se hizo un instrumento eficaz para apoyar al sistema de producción en total. Además, demostró ser una forma excelente para promover mejoras, porque al restringir el número de Kanban en circulación se destacan las áreas con problemas. Mayores referencias en: Shingō, Shigeo (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press. pp. 228

proceso que se debe efectuar un paso siguiente. En el control del stock mínimo, los pedidos se realizan únicamente cuando un recurso llega a esta cantidad.

Básicamente lo que busca JIT es atacar los problemas fundamentales que se presenten en los procesos relacionados a la logística y su incidencia en la producción, eliminar los desperdicios, simplificar los procedimientos y diseñar sistemas o mecanismos para identificar problemas como por ejemplo el Kanban.

c. La Gestión de la Cadena del abastecimiento

La cadena del abastecimiento (Supply Chain) abarca todas las actividades de transformación de bienes sentido ascendente y descendente desde su extracción como materia hasta su entrega al cliente final, lo que incluye flujos de información (Ballou, 2004). En el caso de la construcción la cadena se extiende además a través de nuestros proveedores de materiales, insumos, equipos y mano de obra; proveedores de proyectos; subcontratistas y finalmente el cliente.

A lo largo de la cadena se suelen observar problemas conocidos por todo aquel que trabaje en la industria, a fin de mitigar esto es necesaria la aplicación de la Gestión de la Cadena del Abastecimiento (SCM), lo cual implica un concepto mucho más amplio y profundo que la logística, que ha evolucionado a lo largo del tiempo, sin embargo a aquello no se tratará aquí.

No obstante resulta pertinente enumerar algunas pautas que dan los expertos respecto a la SCM.

En el siguiente esquema se presenta los pasos para optimizar la cadena del abastecimiento propuesto por Koskela y Vrijhoef (1999). Se debe entender esto como un ciclo de mejora continua que se traduce en un mejor desarrollo de la SC en la medida que se abarque mayor cantidad de asuntos y aumente consecuentemente el número de agentes involucrados.

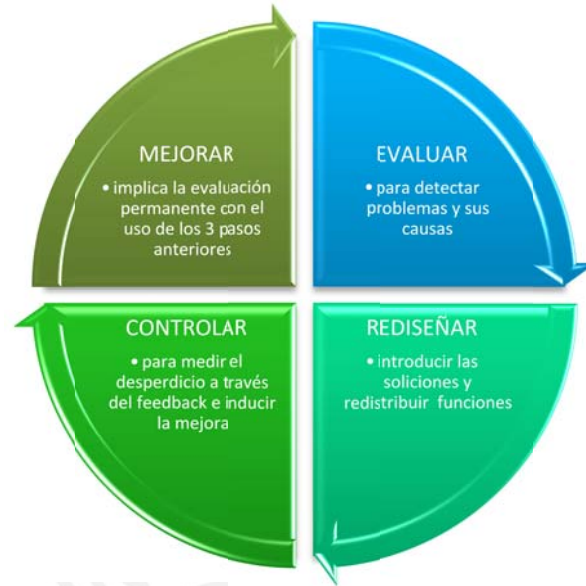


Figura3.16: Metodología del SCM, adaptado de Koskela y Vrijhoef (1999).

Es evidente que la gestión SCM no es automática por tanto implica una gestión de los proveedores. En tal sentido, para Fontanini y Picchi (2003) la gestión de los proveedores forma parte de lo que ellos llaman la empresa extendida, esto busca la participación obligatoria de los proveedores en la mejora de la calidad y la productividad mediante las pautas señaladas en el siguiente esquema:



Figura 3.17: características de la relación óptima con los proveedores, adaptado de Fontanini y Picchi (2003)

3.4.3.2 Jalar la producción vs empujar (pull vs push)

La programación lineal implica “jalar” (pull) la producción, así mismo el JIT está basado en esta técnica, ya que de esta manera se puede saber cuándo introducir los nuevos recursos al sistema. En nuestra realidad hemos estado habituados a EMPUJAR (push) la producción, es decir a realizar trabajos apenas “tengamos cancha” para hacerlo, esto a raíz de una equivocada noción de cómo optimizar los recursos. A continuación en el siguiente cuadro se resumen las diferencias entre estos dos sistemas de producción.

	PUSH: empujar la producción	PULL: jalar la producción
Programación	Las actividades y tareas se ejecutan apenas haya frente de trabajo	Se asigna el trabajo solo cuando se requiere
Recursos	Se utilizan todos los recursos disponibles	Se optimizan en función de la programación
Flujo de trabajo	Genera picos de volumen de trabajo	El volumen de trabajo es constante
Cuadrillas	Generadas para cubrir los volúmenes picos, lo que genera un desperdicio de HH en los demás casos	Generadas para el volumen constante de trabajo

Tabla 3.2: diferencias pull Vs push. Ghio, 2001.

3.4.3.3 La prefabricación y la industrialización (Ghio, 1997).

El concepto de prefabricación está ligado a la industrialización y la estandarización en la construcción, estos en conjunto son reconocidos como un medio eficiente para mejorar la productividad y calidad de una edificación, puesto que se limita la mano de obra artesanal.

El diseño modular

En la construcción se podrán generar ahorros en la medida que se reconozca que en el diseño de la construcción se deben minimizar las mediciones, el corte de piezas y elementos; los cuales deben estar hechos a medida.

Los diseños modulares son elementos estandarizados que son más fáciles de construir, por lo tanto generan mayor velocidad de producción en la ejecución. Se refiere también a la utilización coordinada de partes estandarizadas que no generan desperdicio de materiales. Este término, modularidad, implica máxima eficiencia y

mínimo desperdicio de materiales, a través del uso de componentes modulares (Hop, 1988).

Para el uso de estas tecnologías deben tomarse en cuenta la *constructabilidad*, pues cada cambio implica consecuencias si es que no se toman las medidas adecuadas, en cualquier caso las consecuencias deben ser tomadas en cuenta en la planificación.

Definición de Estandarización

La estandarización en la construcción, consiste en elaborar productos y procesos con características similares, para fabricar modelos repetidos que cumplan una misma función, con el fin de simplificar y reducir el costo de la producción de componentes de la construcción, los cuales podrían ser fabricados industrialmente. Este proceso se facilita y se hace posible si previamente usamos la modulación (Orihuela, 2008).

Definición de prefabricación

La prefabricación se refiere a la fabricación de elementos de manera independiente de la estructura en que se instalarán, se puede decir que hay prefabricación en la obra a medida que se pueda decir que existen operaciones de montaje.

- Prefabricación cerrada: es un sistema donde solo un fabricante confecciona el total de elementos que constituyen la obra.
- Prefabricación abierta: es el proceso en el que se incluyen componentes prefabricados provenientes de diversos fabricantes independientes. Nos permite mayor libertad de elección de elementos.
- Prefabricación liviana: corresponde a aquella que produce elementos que puedan ser colocados por uno o dos hombres. Su instalación es flexible a la producción.
- Prefabricación pesada: es aquella que utiliza elementos de gran peso, que deben ser manipulados por maquinaria pesada.

- Prefabricación parcial (*construcción parcialmente prefabricada*): corresponde a la prefabricación de parte de los elementos que conformarán la estructura. Es el grado intermedio entre la fabricación in situ y la prefabricación integral.
- Prefabricación integral (*construcción ampliamente prefabricada*): los elementos constructivos se prefabrican totalmente antes de ser instalado en obra. Es el grado máximo de prefabricación.

Definición de la industrialización.

Es la utilización de tecnologías que substituyen la habilidad de la mano de obra artesanal por la de una máquina. Se dice que existe industrialización si se logra desarrollar una tecnología mecanizada de producción, sea o no prefabricada. En un caso de industrialización sólo se cambia el método constructivo, no el producto final; y se busca producir un objeto con reducida mano de obra artesanal, con máquinas utilizadas por obreros especializados o con máquinas automáticas. Para que exista industrialización en la construcción se deben dar tres factores simultáneamente: innovación tecnológica, capitales para la inversión y un mercado que logre amortizar la inversión inicial (es decir, que se encuentren los recursos). Si cualquiera de estos factores no se diera, el proceso finalmente fracasará.

Concluyentemente, respecto a la prefabricación e industrialización en la fase de ejecución lean, el mayor número de componentes que son pre ensamblados o pre fabricados antes de su instalación final hacen más sencillos los manejos logístico. Por su puesto, esto tiene que ser planificado adecuadamente, ya que la no planificación imposibilita la ejecución eficaz.

El uso repetitivo de partes estandarizadas facilita en gran medida la ejecución; no solo familiariza a las cuadrillas con dichas partes. Sino que también el aprendizaje será mayor debido al uso repetitivo. En suma, el uso de un determinado número de partes, limitado por la estandarización, mantienen los problemas al mínimo.

3.4.3.4 One - touch handling (manipulación de un toque)

La manipulación de un toque es un ideal que busca el *Lean Construction* y que proporciona un buen indicador de que vamos por buen camino, contrario a los

numerosos pasos de re-manipulación en el desarrollo de una obra convencional, desde la recepción en el sitio hasta la emisión desde almacén para el posicionamiento de los materiales antes de su instalación final. Algunos materiales pueden ser directamente instalados, mientras que otros son partes o componentes para las sub-construcciones que aún no se han producido. De aquellos elementos que están listos para su instalación, algunos pueden ser directamente instalados desde el vehículo de entrega.

Tres reglas “de oro” que propone el lean para la manipulación de un toque son:

- Descargar directamente desde el vehículo de entrega a la posición final siempre que sea posible (p.e., tuberías, viguetas, la mayoría de los equipos).
- Si las descargas directas no son posibles, realizar las descargas dentro del alcance de la grúa y que esta llegue a la posición final (p.e., fierro estructural que requiere el pre armado *in situ*).
- Entregar los materiales consumibles (p.e., discos de amoladoras, guantes etc.) y materiales básicos (p.e., accesorios, juntas, pernos, etc.) directamente a las manos de los obreros usuarios, en lugar de acudir al almacenaje y entrega basada en pedidos.

3.4.3.5 Planificación distribuida

Debemos reconocer que existen numerosos “Últimos planificadores” en cualquier proyecto (puesto que la planificación es de por sí una tarea distribuida), por tanto, la *Ejecución Lean* se basa en los flujos de información apoyados por la coordinación distribuida de recursos compartidos incluyendo el espacio (Choo y Tommelein, 2000). Una clave para una planificación distribuida efectiva es reconocer lo que cada *planificador* necesita para realizar su trabajo con gran detalle, pero no todo ese detalle ha de ser revelado a todos los demás con quienes el trabajo debe ser coordinado. Algunos requerirán de ciertos detalles, mientras que otros no. Los detalles deben ser selectivamente revelados tanto y cuando sea necesario hacerlo, dependiendo de las circunstancias. Este pensamiento, como muchos otros conceptos en el LPDS, requiere fundamentalmente de una ruptura o un cambio de

paradigmas respecto de las prácticas habituales, en las que la tendencia es el control centralizado de toda la información.

Vale decir que no debemos saturar de información a cada planner sino, otorgar únicamente la información necesaria, y en concordancia con lo que propone el Lean Construction, esta información debe ser otorgada gradualmente y durante el proceso de formación de la misma, no esperando a que esté completa para recién compartirla.

Un ejemplo que se puede proponer es el siguiente: en las obras normalmente constamos con un *staff*, que es un equipo de ejecución de la obra, en el cual cada integrante tienen tareas y funciones asignadas. Evidentemente todas estas tareas y funciones dependen unas de otras entre sí o se complementan, pero el solo hecho de tener un responsable en cada área nos da la idea de que algunas tareas son especializadas (por ejemplo el control de la producción de la partida de acero) y por tanto la información destinada para la ejecución de la misma debe ser exclusiva y filtrada con la finalidad de no entorpecer o complicar los procedimientos.

Específicamente en el proceso de planificación con el sistema Last Planner, en la elaboración del Lookahead se asignan responsables para el levantamiento de restricciones. Considerando que las restricciones para la partida “colocación de acero” y sus responsables son los siguientes:

- Gestión del pedido del acero dimensionado. Responsable: Ingeniero de oficina técnica.
- Recepción y dirección del acero en obra. Responsable: Ingeniero de producción.
- Trámite de las pólizas de seguro. Responsable: Administrador de obra.

A pesar de que estos recursos y restricciones contribuyen a la realización efectiva de una misma tarea y que hay información básica en común en algunos casos (como la información de la cuadrilla, la fecha de ingreso del personal y el proveedor) la información que necesita cada responsable es distinta y especializada con

relevancia diferente y en algunos casos innecesaria para ciertos miembros del equipo, tal como se muestra en la tabla 3.3.

RESPONSABLE	TAREA	Información requerida				
		Datos de cuadrilla	Hora de llegada del acero	Sector de destino del acero	Ciclo de facturación empresa	Volumen necesario pedido
Ingeniero de O.T.	Gestión del pedido de acero dimensionado		x	x	x	x
Ingeniero de producción	Recepción y dirección del acero en obra	x	x	x		x
Administrador de obra	Trámite de pólizas de seguro	x				

Tabla 3.3: Distribución de información entre los diferentes responsables para una misma tarea. Fuente propia.

3.5 El Factor Humano en la construcción

El recurso humano es el elemento más importante de una obra o proyecto, ya que sólo con la intervención del personal es posible realizar la ejecución de los proyectos (Serpell, 1993)

Serpell señala que existen dos puntos de vista a través de los cuales examinar a los trabajadores:

- a. Como persona, con los deseos y motivaciones propias del ser humano.
- b. Como organismo de carne y hueso, con capacidades y limitaciones físicas.

Una administración eficaz debería actuar en función a estos aspectos con la finalidad de obtener la cooperación óptima de los trabajadores; puesto que, si bien se les paga por su tiempo, esfuerzo físico y por permanecer en cierto lugar realizando alguna acción; no es

posible comprar el entusiasmo y lealtad. Estos últimos son aspectos que se logran a través de una correcta administración del recurso humano.

Se abarcará el factor humano desde estos dos enfoques.

a. **Como persona, con los deseos y motivaciones propias del ser humano.**

Según Serpell, los aspectos con más relación al trabajador en la construcción son los siguientes:

- Su principal preocupación es cómo solucionar varios problemas técnicos que se van presentando durante la ejecución de su trabajo, y que generalmente se traduce en la selección y diseño de métodos en su mayoría de alta simpleza.
- Los planos y otros requerimientos de construcción representan en gran medida la limitación de gran parte de la flexibilidad en la toma de decisiones respecto a cómo hacer su trabajo.
- Para el trabajador, en el ambiente de la construcción, permanentemente existen cambios de los niveles de autoridad y responsabilidad.
- Las organizaciones a nivel del proyecto son de una vida corta y varían con el tiempo.
- El periodo de empleo es relativamente corto y depende de la duración del proyecto.
- La variabilidad que hay que superar introduce efectos importantes en las relaciones humanas en obra.

Estos aspectos deben estar en pleno conocimiento del administrador del recurso humano en la obra, a fin de evitar en la medida de lo posible que afecten negativamente en la comodidad y la motivación del trabajador. A esto cabe sumarle las condiciones ambientales, éstas se deben mantener en óptimas condiciones por presentar también una afectación en el comportamiento de las personas, sobre todo por la influencia en el rendimiento físico.

Dadas las condiciones es importante hablar sobre la motivación.

La motivación en la productividad

Según Maslow, la motivación es un impulso psicológico y fisiológico para satisfacer las necesidades propias de una persona, y se manifiesta a través del comportamiento, el que se adecúa para obtener los medios de satisfacer dichas necesidades. El hombre busca satisfacer en primer lugar sus necesidades básicas; luego de satisfechas, son sus necesidades superiores las que cobran mayor relevancia. Una vez satisfecha una necesidad esta deja de ser un motivador.

Se podría inferir lo siguiente:

Que el esfuerzo gastado por un trabajador es la manifestación física de la motivación. A mayor motivación, mayor será el esfuerzo aplicado. *El esfuerzo del trabajador interactúa con los recursos provistos por la organización*, resultando un cierto nivel de rendimiento. Si no existen restricciones en el rendimiento del trabajador debido a una administración deficiente, debería producirse un aumento de la productividad como resultado de un aumento del esfuerzo aplicado (Serpell, 1993). Por tanto se reitera la importancia de este aspecto.

Maslow clasifica las necesidades en 5 categorías:



Figura 3.18: pirámide de necesidades de Maslow.

A pesar de la jerarquización se puede presentar una necesidad de mayor jerarquía aun cuando una necesidad más básica no ha sido totalmente satisfecha; dado que estas necesidades varían con el tiempo y con las personas.

Según Frederick Herzberg (1968) las técnicas tradicionales de administración no son buenos motivadores; él encontró que la única forma de motivar a un trabajador es dándole un trabajo interesante en el cual pueda asumir algún tipo de responsabilidad adicional al de sus expectativas. Esta teoría es claramente más aplicable a los responsables de un proyecto, pero también se puede acondicionar a los niveles básicos, donde operan los obreros. También sostiene que si las necesidades básicas no están satisfechas existe una insatisfacción con el trabajo.

Motivación en la construcción

La base de esta parte de la tesis es que una alta productividad con una baja satisfacción laboral es una situación difícil de sostener, por ese motivo es que una de las cosas fundamentales a tener en cuenta en la construcción es sin duda la motivación de los trabajadores (de acuerdo con la bibliografía del Lean construction) a fin de que la falta de ésta no represente un freno en nuestros objetivos de productividad.

Es necesario tener pleno conocimiento de la realidad común de los trabajadores de construcción civil desde el enfoque de las necesidades. Aquí es que se hace una mención de las necesidades según Maslow, en función de una realidad bastante conocida:

- i. Las necesidades fisiológicas: los salarios que los obreros reciben permiten satisfacerlas pero en forma precaria, por tanto no se podría hablar en todos los casos de una satisfacción total, por lo que el trabajo para ellos se hace vital.

- ii. Las necesidades de seguridad: en general no están satisfechas en construcción. Trabajar en una obra les garantiza solo cierto tiempo de seguridad laboral. Hacia el término de ella, los obreros deben estar conscientes de conseguir otro lugar donde trabajar, lo cual afecta al rendimiento durante la etapa final de una obra.
- iii. Las necesidades sociales: mayormente son satisfechas en el trabajo lo que conlleva a una gran fuente de motivación aprovechable por la administración para afianzar el efecto favorable.
- iv. Las necesidades de ego o de estimación: se consideran como una gran fuente de motivación para la cual haría falta una importante tendencia de hacer sentir aprecio, estatus y satisfacción a los trabajadores y supervisores. Una medida a optar es el reconocimiento por el buen desempeño, que si es en público es mucho mejor.
- v. Las necesidades de realización personal: generalmente no son satisfechas por los trabajadores en este trabajo. Una fuente para llegar a cubrir estas necesidades se deriva del trabajo del cual son especialistas. Inducir a un alto rendimiento ayuda a mantener una mayor satisfacción (Serpell, 1993).

Recomendaciones Generales

Muchos estudios han demostrado que una alta productividad en el trabajo produce una mayor satisfacción; por consiguiente, todos los factores que afectan negativamente a la productividad y que no dependen del trabajador potencialmente pueden provocar una baja considerable en dicha satisfacción limitando así la motivación del trabajador.

Podemos concluir que se trata de un círculo que obliga a la mejora en ambos casos (motivación y productividad) para poder lograr niveles deseados de excelencia.

Para la mejora del tema de la motivación es necesaria la implementación de programas motivacionales, tema muy delicado debido a la variabilidad que dan las diferencias individuales entre los trabajadores, sin embargo se pueden aplicar ciertas medidas y principios que ya han sido probados de forma limitada.

Una herramienta, es conocer los aspectos del trabajo que los obreros consideran importantes. Serpell (1993) muestra, en un estudio donde se consulta a 849 trabajadores de construcción civil, los siguientes resultados:

Tabla 3.4: Aspectos del trabajo que resultan de importancia para los trabajadores

Orden de importancia	Descripción
1	Tener un trabajo estable
2	Tener oportunidad de especializarse y aprender más
3	Tener jefes abiertos que apoyen a sus trabajadores
4	Tener buenas condiciones de trabajo y seguridad
5	Tener jefes que organicen bien el trabajo
6	Tener responsabilidad en el trabajo.
7	Poder opinar y participar en las decisiones que afecten su trabajo
8	Tener información sobre lo que sucede en la obra
9	Sentirse con la "camiseta puesta" o comprometidos con la obra en que trabajan
10	Tener exigencias para trabajar más y mejor en menos tiempo

Bajo todo este análisis Serpell (1993) da las siguientes recomendaciones:

- Investigar los tipos de incentivos que tienen valor para los trabajadores mediante cuestionarios y la relación diaria entre directivos y trabajadores.
- Analizar las diversas necesidades y valores manifestados por el personal, y cómo pueden acomodarse estas en una solución general.
- Actuar sobre el desempeño del trabajador, tomando las siguientes medidas:
 - Informarle sobre su desempeño. Reconocimiento de sus logros y comunicación en general

- Otorgarle responsabilidad sobre una parte significativa del trabajo.
- Entregarle incentivos que ellos valoren adecuadamente.
- Hacer sentir al trabajador identificado con la empresa y con la obra, comunicándole todo lo que sea de interés al respecto.
- Establecer incentivos de acuerdo con el nivel de desempeño del trabajador o de su cuadrilla. Uso de mediciones apropiadas de la productividad.
- Aumentar convenientemente la participación del trabajador en diferentes actividades y decisiones que lo afecten directamente.
- Mantener la actitud positiva y preocupada en relación a la motivación del personal de obra.
- Administrar eficientemente la obra, dándole los recursos que necesita. Evitar que factores externos a él afecten su productividad.
- Mantener un ambiente adecuado de trabajo: limpio, seguro y ágil.

Como conclusión, de acuerdo a las investigaciones hechas por Elton Mayo, es productivo que el gerente o administrador de los recursos humanos preste especial, y sobretodo genuino, interés en el recurso humano y que el trabajador así lo sienta, puesto que tal acción genera en él un especial orgullo, sentido de pertenencia e importancia (E. Mayo, 1933).

b. Como organismo de carne y hueso, con capacidades y limitaciones físicas

Cabe además hablar de las capacidades físicas del recurso humano así como del cuidado que hay que poner en ellos a fin de transmitirles seguridad y evidencia de que la administración se preocupa también por su integridad física.

Existe una Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación del Riesgo Disergonómico. Dicha norma está aprobada desde el 2008 por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. Los objetivos de dicha norma son:

- Que las empresas pueda aplicarla en sus diferentes áreas, puestos y tareas.
- Adaptar las condiciones de trabajo a las características físicas y mentales del trabajador.
- Proporcionar mayor bienestar, seguridad y mayor eficiencia en el desempeño de los trabajadores

- Contribuir con el cumplimiento del reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Mejorar la productividad empresarial.

La norma habla ampliamente de 7 puntos que ayudaran a lograr los objetivos.

- Manipulación manual de cargas límites.
- Posturas en los puestos de trabajo.
- Equipos y herramientas en los puestos de trabajo de producción.
- Equipos en los puestos de trabajo informático.
- Condiciones ambientales de trabajo.
- Identificación de factores de riesgo disergonómico.

Esta norma rige para todas las industrias. En la construcción es poco conocida y menos aplicada, en nuestra industria los trabajos requieren de mucha actividad física, por tanto es un recurso que debemos cuidar. Es común ver en las obras que los trabajadores realizan malas prácticas y posturas a la hora de levantar objetos pesados o manipular algún tipo de maquinaria; por tanto dadas las circunstancias esta norma cobra una importancia enorme, por tal se recomienda que el contenido de la misma se introduzca de manera sistematizada en la charlas que se dictan a los trabajadores.

Existen muchas situaciones de riesgo en el desempeño diario del trabajo como:

- La aplicación de fuerzas intensas con brazos y manos. Es bastante habitual tener que realizar fuerzas elevadas e impulsivas con las manos para realizar tareas como:
 - Mezclar el mortero de cemento con la pala o paleta.
 - Partir ladrillos con la paleta
 - Golpear ladrillos para mejorar su asentado



Figura 3.19: esfuerzo en brazos y manos. Fuente internet.

- Manejo manual de cargas:
 - Levantamiento y transporte de bolsas de cemento para realizar mezclas. Normalmente los sacos se encuentran a nivel del suelo y son difíciles de agarrar, con lo que se empeoran las condiciones del levantamiento.



Figura 3.20: Las cargas deben permanecer pegadas al cuerpo.

Fuente: <http://www.lineaprevencion.com>

- Levantar y colocar grupos de ladrillos o bloques cerca de la zona de trabajo. Lo habitual es que se cojan bastantes ladrillos de una sola vez, con lo que el agarre es bastante deficiente.



Figura 3.21: Las cargas deben permanecer pegadas al cuerpo no deben ser excesivas. Fuente: <http://www.lineaprevencion.com>

- Posturas forzadas:
 - Flexión muy elevada de la espalda y los brazos al coger el cemento con la paleta (normalmente la batea con el mortero de cemento suele estar en el suelo).
 - Flexión elevada de la espalda y de los brazos cuando se están colocando ladrillos en la parte inferior de algún muro.



Figura 3.22: Flexión extrema y habitual. Fuente: internet.

- Torsión de espalda cuando se entregan objetos. Se muestra manera incorrecta (izquierda) y correcta (derecha).



Figura 3.23: Torsión extrema y habitual. Fuente:
<http://www.lineapreencion.com>

Una explicación más detallada y recomendaciones puntuales para los casos más frecuentes en la construcción se explican en el “manual de ergonomía en la construcción”, el cual ha sido realizado por técnicos e investigadores de la

Fundación Laboral de la Construcción y del Instituto de Biomecánica de Valencia (2009).

En Perú se han hecho algunas investigaciones sobre ergonomía y productividad en la construcción. Pablo Orihuela, en su artículo “*Manipulación de cargas en obras de construcción*” (2010), cita aplicativamente el método MAC (Manual Handling Assessment Chart) desarrollado por la dirección de seguridad y salud de Gran Bretaña, método que brinda información para comparar el riesgo entre varias tareas en las cuales se realiza manipulación manual de cargas.

Algunos alcances adicionales a tomar en cuenta

Además de lo ya expuesto existen otros conceptos que afectan al trabajador en todos los niveles jerárquicos de un proyecto, especialmente a los responsables de la gestión del mismo.

No solo se debe tomar en cuenta el factor humano en términos de la fuerza laboral de transformación, los planificadores y gestores de un proyecto pueden verse afectados por algunas situaciones como las que se explican a continuación:

- El síndrome del estudiante:
Es un concepto introducido por Goldratt en su libro *Cadena Crítica*. Se refiere al fenómeno por el cual las personas comienzan a dedicarse seriamente a un área que les fue asignada *solamente* cuando la fecha de entrega se acerca. Más específicamente: en los primeros dos tercios del período asignado para la tarea, avanzan un tercio del trabajo, y en el último tercio “aceleran” y finalizan los dos tercios restantes. Esto sucede típicamente cuando un estudiante está preparándose para un examen, de ahí la denominación.
- La ley de Parkinson:
Esta ley afirma que “el trabajo se expande hasta llenar el tiempo disponible para que termine”. Fue enunciada por primera vez por Cyril Northcote Parkinson en 1957. Para muchos, cuando más tiempo se tenga para hacer algo,

más divagará la mente y más problemas serán planteados. Este concepto está estrechamente ligado a la Procrastinación.

A manera de ejemplo podemos pensar en los responsables de una obra. Cuando estos problemas afectan a los planificadores y last planners de un proyecto, sin duda hay un efecto evidente sobre los procesos que se pueden traducir en desmedro de la calidad, retrasos, pérdidas, etc. debido a la falta de diligencia en la planificación y el control.



CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Sobre la implementación del LPDS y el Lean Construction como filosofía.

Dado que los numerosos especialistas en Lean Construction sostienen que para poder lograr objetivos en nuestros proyectos de construcción es necesario el desarrollo de una estrategia de LPDS que aborde en forma coherente cada una de las fases de un determinado proyecto; en consecuencia, la producción, la organización y los contratos tendrán un desarrollo más eficiente y eficaz; es importante alinear nuestra forma de pensar y construir a los objetivos Lean. La ruptura de paradigmas (a los que estamos atados gracias al CPM, PERT, etc.) es fundamental tanto como el entendimiento de que para obtener mejores resultados es necesario hacer las cosas de manera distinta.

Se recomienda materializar físicamente los compromisos; en otras palabras, estos principios se reafirmarían si hacemos que formen parte de una declaración de principios firmada por los miembros del equipo de desarrollo del proyecto y por la comunidad de contratistas y proyectistas que proveen sus servicios e insumos. De esta manera también creamos un ambiente de inclusión y sociedad estratégica entre los miembros de nuestro equipo, el cual es formado además por nuestros proveedores. Aunque pueda sonar lejano es necesario que todas las partes involucradas en un proyecto entiendan que el cometido Lean es hacer eficiente todo el proceso y que los acuerdos que se realizan alrededor de este objetivo son del tipo *ganar – ganar*.

Se ha podido observar que se han desarrollado muchas herramientas y técnicas de gran alcance para la gestión del LPDS. Entre éstas tenemos herramientas conceptuales, procedimientos, y herramientas de software; además varias de estas herramientas son simples y otras son más complejas. Por citar ejemplos, El sistema Last Planner es un sistema complejo, ya que incluye saber varias reglas y técnicas, la definición del modelo que se desarrolla, el LBS si se utiliza el complemento del LBMS, el análisis de las restricciones, la aplicación del PPC, etc. Por otro lado el manejo de materiales de un solo toque (one touch handling) es una herramienta conceptual y más simple, pero un ideal de resultados enormemente beneficiosos que se persigue con las normas que se deben cumplir durante su ejercicio.

Este variado conjunto de herramientas es muy poderoso en las manos de los directivos y/o gerentes comprometidos con la implementación de la filosofía Lean en la concepción de los proyectos y en la gestión de los mismos. Lo anterior es evidenciable en los reportes de diversos autores como Bertelsen (citado en el acápite 3.1.1) los cuales son alentadores pues nuestra realidad se asemeja en coyuntura a sus estudios de comienzos de la década pasada y nos sugiere que es posible que en muy poco tiempo el Perú consiga un gran nivel de desarrollo de proyectos usando la filosofía Lean.

De lo anterior, y teniendo en cuenta los precedentes de la filosofía Lean en nuestro país, podríamos decir que se gesta una verdadera revolución en la gestión de la construcción; sin embargo, ella está todavía lejos de alcanzar su máximo potencial. Quienes más se acercan a este cometido son empresas que unidas a instituciones académicas han tomado la iniciativa de consolidar estos conocimientos a favor de toda la industria de la construcción en el Perú, este esfuerzo se materializa en la formación del Capítulo Peruano de Lean Construction, que ya en el 2012 realizó su primera conferencia con los principales ponentes internacionales de la materia. Si bien es cierto, el ideal Lean sugiere que nunca se alcanzará "potencial definitivo", las nuevas herramientas y técnicas, sin duda, se desarrollarán en la búsqueda incesante de la perfección *en concordancia con la mejora continua*.

4.2 Sobre la fase de Ejecución Lean, la implementación del LPS y las mejoras.

Se han conocido los diferentes módulos del LPDS y posteriormente, a mayor profundidad, los de la triada de la fase Ejecución Lean. En ella reconocemos la importancia de la continuidad del flujo, por lo que debemos pensar que esto es lo que se debe asegurar primordialmente antes de proceder con las otras mejoras a nuestro sistema de producción.

Una manera de afianzar un flujo continuo es la reducción de la variabilidad, para lo que hace falta un excelente análisis de restricciones, pero muchas veces no es suficiente, es por eso que los estudios First run cobran un papel importante. Las operaciones de construcción usualmente inician con una significativa incertidumbre pero los estudios *first run* pueden reducirla, además ayudan a la identificación de un buen camino (no el mejor, aunque esta sea la finalidad del Lean) para realizar el trabajo, estableciendo así un estándar contra el cual todos los responsables del trabajo puedan comparar su desempeño

(Howell y Ballard, 1999). Aquí también se evidencia la importancia de las fases previas del LDPS pues además es necesario que los estudios First Run sean definidos en todo sentido antes del arranque de la ejecución, o mejor dicho, sean programadas en las etapas previas y en coordinación con los proveedores.

A propósito de los proveedores, la gestión de un estudio First Run se agilizaría tremendamente con una buena relación con los proveedores, por tal sumamos éste a los ya expuestos motivos para formar alianzas *ganar-ganar* en las que proveedor y contratista salgan beneficiados a corto, mediano y largo plazo. Del mismo modo no podemos pasar por alto el valor que tiene y otorga una adecuada administración de la logística y una adecuada gestión de la cadena del abastecimiento. En resumen a este tema, solo queda una cosa por hacer: planificar la logística en del proyecto.

Se ha podido conocer el sistema *Last Planner* a detalle y su aplicación durante la Ejecución Lean como herramienta fundamental de programación y control de la producción, quedando en evidencia la importancia de la formación de equipos multidisciplinarios en la planificación, la importancia de la recolección de datos para la mejora continua en proyectos futuros, la estandarización e industrialización de los procesos, la formación de trenes de trabajo y el reconocimiento de nuestros logros o en el efecto contrario las causas de incumplimiento (análisis del PPC). Sin embargo a pesar de su gran eficiencia, existe un método complementario que ayuda a mejorar y descubrir cabos sueltos de este sistema, este método es el de la programación *Basada en localizaciones*, el cual permite mejorar las etapas de Programación Maestra y Programación por Fases a través del método de la Línea de Balance.

Dado que Todavía existe en nuestros días el paradigma de construir una programación maestra muy al detalle se hace necesaria la revisión constante de las programaciones haciéndonos invertir grandes esfuerzos desperdiciados a este nivel. Así mismo, cada vez que se observa un leve retraso en la programación, el esfuerzo es dedicado a recuperar el retraso (generalmente sin éxito, pues no se incluye en esta programación un análisis de restricciones) mediante la producción Push, que es lo que hay que evitar en el Lean Construction, por las consecuencias que trae en el proyecto como un todo. Por este motivo la complementación del LPS con el LBMS enriquece al primero. La aplicación del

método de la Línea de Balance cumple con la filosofía Lean, esto se evidencia en lo siguiente:

- Permite elaborar una planificación maestra sin exceder el nivel de detalle requerido por el LPS.
- La representación gráfica de las LoB brinda mejor información y noción sobre el curso del proyecto que un diagrama de barras.
- Facilita la comunicación entre los diferentes involucrados del proyecto.
- Es una mejor herramienta de interacción entre el contratista y el propietario.
- En la programación de fase, se ahonda en los detalles importantes concernientes a la ejecución, la logística y el abastecimiento. Estos podrán ser fácilmente traducidos en los niveles más detallados de programación.

Es valioso adoptar el método de línea de balance en la programación maestra y programación por fases para tener un control más inmediato y aprovechar su característica de herramienta gráfica. Adicionalmente en la programación por fases, brinda un complemento importante al procedimiento original, esta propuesta es avalada por el mismo Ballard y es a todas luces recomendable, pues afina y expande el alcance de la programación al requerir de hitos bien definidos y un estudio más exhaustivo por parte los especialistas en las diferentes tareas.

Adicionalmente, como se ha mencionado antes, en Finlandia la línea de balance ha sido la herramienta principal en la programación de las grandes empresas constructoras desde 1980. Los clientes finlandeses exigen el uso de la programación de línea de balance tanto en proyectos especiales complejos como en la construcción de edificios residenciales (Soini, Leskela, Seppanen, 2004). En consecuencia podemos tentar en cortar con la programación maestra detallada, cuya ruta crítica está bajo constante vigilancia, en los contratos. La programación maestra es una herramienta contractual, por ende debe ser detallado *adecuadamente* a fin de agilizar y simplificar las gestiones en un contrato de construcción. Posteriormente es posible que en algún tiempo (en la medida de que nos acostumbremos a esta muy buena práctica) se cuente de manera indispensable con las línea de balance como herramienta contractual.

4.3 Reflexiones y recomendaciones finales.

La creciente demanda inmobiliaria ha ocasionado una proliferación de empresas inmobiliarias y constructoras de las cuales la mayoría (tal vez por ser pequeñas) tienen un bajo grado de formalidad, bajos estándares de calidad, una logística poco tecnificada y al maestro como líder de la fuerza constructora. Este es el común denominador de la gran cantidad de empresas en el sector construcción del Perú. Como hemos visto las herramientas expuestas son aplicables tanto a grandes proyectos como a pequeños proyectos. El Lean es una filosofía que incluso va más allá de las industrias, debemos empezar por romper con los paradigmas clásicos y entender que existe información valiosa y sencilla de aplicar, debemos comenzar a hacer nuestros trabajos empresariales e individuales con excelencia y vocación de servicio. Esta visión engrana perfectamente con “eliminar los desperdicios agilizar los procesos y aumentar el valor para el cliente”.

En mi experiencia me he topado con empresas no pequeñas que aplican herramientas del LPS y en varios casos de manera muy efectiva, pero en virtud a la característica filosófica del Lean Construction, esto no es suficiente pues la correcta aplicación del Sistema Last Planner, precisa de un ambiente de mejora continua que no se limite únicamente a aumentar la velocidad de la construcción propiamente dicha.

Es necesario hacer entonces esfuerzos por conocer nuestra situación actual como empresas y profesionales, debemos hacernos la incómoda pregunta: ¿dónde estamos?, a fin de tener un buen punto de partida y reconocer cuáles son los puntos que debemos de mejorar inmediatamente y los de mediano y largo plazo. Por su puesto debemos comenzar por nuestras propias responsabilidades, teniendo el análisis anterior además de comenzar a usar herramientas en apoyo de la producción, podemos también usar herramientas de control (que no es lo mismo que monitoreo) de la producción. Obviamente esto último debe dosificarse en correspondencia a nuestras necesidades, pues evidentemente demasiadas herramientas de control o mediciones pueden terminar distrayéndonos de nuestros objetivos principales.

La construcción de un proyecto requiere de un plan integrado por muchos otros planes. A nivel empresarial también debemos tener un plan de mejora de nuestras áreas y de nuestra empresa como un todo. Pero eso es materia de otro tema.

Finalmente, tomemos en cuenta que es importante la acumulación bibliográfica y registro de estas innovaciones para su uso posterior y perfeccionamiento. Es importante además prestar atención a las innovaciones provenientes del personal experimentado y nuestros proveedores que usualmente generan sus propias soluciones para enfrentarse a los problemas durante la ejecución.



BIBLIOGRAFÍA.

- Alarcón L.F. y Pellicer E. (2009) “Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas” *Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, ISSN 0034-8619, N°. 3496, 2009 , págs. 45-52.
- Alarcón, L.; Rodríguez, A. y Pellicer, E (2011) La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de Obras Públicas* (3,518).
- Alarcón, L. (2009) Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de obras públicas*, 3496.
- Ballard, G. (1999) *Improving Work Flow Reliability*. 7th IGLC Conference. California, USA.
- Ballard, G. (2000) Lean Project Delivery System. *Revista LCI*. 8.
- Ballard, G. (2000) Phase Scheduling. *Revista LCI*. 7.
- Ballard, G. and Zabelle, T. (2000) Lean Design: Process, Tools, & Techniques. *Revista LCI*. 10.
- Ballard, G. and Zabelle, T. (2000) Project Definition. *Revista LCI*. 9.
- Ballard, G. Koskela, L. Howell, G. and Zabelle, T. (2001) Production System Design: Work Structuring Revisited. *Revista LCI*. 11.
- Ballou, R (2004) *Logística: Administración de la cadena de suministro*, Pearson Educación. Recuperado el 11 de octubre de 2013 de: <http://books.google.com.mx/books?id=ii5xqLQ5VLgC&printsec=frontcover&dq=administracion+de+la+cadena+de+suministro#v=onepage&q&f=false>
- Bertelsen, Sven. 2001. *Lean Construction As An Integred Production*. Holte : s.n., 2001.
- Best, R. and De Valence, G. (2002) *Design and Construction: Building in Value*. Sydney-Australia: Editorial Butterworth-Heinemann.
- Botero, L y Acevedo, H. (2011) Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. *Revista de Ingeniería y Ciencia*, 13 (4): 29-45. Recuperado de: Construction. CIFE Technical. E.E.UU: Universidad de Standford.
- Campero, M.; Alarcón, L.F. (2008) “Administración de proyectos civiles” (3^a edición). Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

- El BIM como una nueva filosofía de gestión de la información. (2013) Revista Constructivo. Recuperado de : <http://www.excon.com.pe>
- Fontanini, P & Picchi, F “Value stream macro mapping- A case Study of aluminum Windows for construction supply chain”. Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-12), Elsinore, Denmark, 2004.
- Ghio, V. (2001) *Productividad en Obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica y Propuesta*. Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Herzberg, F. (1968). One more time: how do you motivate employees?. Harvard Business Review 46 (January – February).
- Kenley, R. and Seppänen, O. (2009) *Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies*. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.
- Knapp, S.; Charron, R. y Howell, G. (2006) “Phase planning today” 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Santiago, Chile; Págs. 157-162.
- Koskela , L. (1992) *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Stanford University.
- Koskela, L. (2000). *An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction*. Ph D Dissertation, VTT Building Technology, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- Leach, P. (2000) Critical Chain Project Management.
- Lichtig, W.A. (2006) “The integrated agreement for lean project delivery”. The Construction Lawyer, 26(3), disponible en: <http://www.mhalaw.com/mha/newsroom/articles>.
- Loría, J. (2006) Programación de obras con la técnica de la línea de balance. Tesis de Licenciatura de Ingeniería civil. México: Universidad Iberoamericana.
- Manual de Ergonomía en la construcción (2009). Instituto Biomecánico de Valencia.
- Mayo,E. (1933) Human problems of an industrial civilization. New York, Macmillan Co.
- Navarro, D (2005) *Gestión de Proyectos, Método de la Cadena Crítica*. Obtenida de: <http://www.direccion-proyectos.blogspot.com>
- Orihuela, P. (2008) Aplicación de la Teoría de Restricciones a un Proceso Constructivo. *Construcción Integral, Boletín N°01*.

- Orihuela, P. (2010) *La Manipulación de Cargas en Obras de construcción*. Construcción Integral, Boletín N° 11
- Orihuela, P. y Esteves, D. (2013) “Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra”. Encuentro latinoamericano de gestión y economía de la construcción. Cancún, México.
- Orihuela, P. y Orihuela J. (2003) *Constructabilidad en Pequeños Proyectos Inmobiliarios*. VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Lima, Perú.
- Orihuela, P. y Orihuela J. (2008) *Evaluación de la Estandarización en Proyectos de Vivienda*. II Encuentro Latino- Americano de Gestión y Economía de la Construcción. Santiago, Chile.
- Orihuela, P. y Ulloa, K. (2011) *La Planificación de las obras y el sistema Last Planner*. Construcción Integral, Boletín N° 12
- Samaniego, C. Granja, A. y Picchi, F. (2005) *Integración de la gestión de fabricación y montaje de elementos de concreto pre-fabricados in situ, utilizando conceptos de Lean Thinkin*. Brasil.
- Seppänen, O. Ballard, G. y Pesonen, S. (2010) *The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System*. págs. 43-54.
- Serpell, A. (1993) *Administración de Operaciones de Construcción*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Serpell, A. y Alarcón, F. (2000) *Planificación y Control de Proyectos*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Soini, M.; Leskela, L. and Seppanen, O. (2004) “Implementation of line of balance based scheduling and project control system in a large construction company”. 12th Annual conference of Lean Construction, Elsinore, Denmark.