



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL - CONSTRUCCIÓN

PRINCIPIOS Y HERRAMIENTAS PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA
PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

(LEAN CONSTRUCTION)

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
BLANCA GONZÁLEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESUS HUGO MEZA PUESTO
FACULTAD DE INGENIERIA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Noviembre 2018

AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional Autónoma de México,
Por brindarme la oportunidad de estudiar en esta
Institución de un nivel altamente competitivo.*

*Al Dr. Jesús Hugo Meza Puesto por el apoyo
Brindado para realizar este trabajo.*

*A mi familia, porque gracias a ustedes
Soy lo que soy. Y todos mis logros los he
Conseguido gracias a ustedes.*

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVO.....	8
OBJETIVOS PARTICULARES.....	8
HIPÓTESIS.....	9
ALCANCE	9
METODOLOGÍA.....	10
CAPÍTULO 1.- MARCO DE REFERENCIA.....	11
1.1.-Antecedentes.....	11
1.2.-La productividad en la Industria de la Construcción en México	13
1.3.-La necesidad de un cambio de modelo productivo	15
1.4.-Filosofía <i>Lean</i>	17
1.5.-Origen de <i>Lean Construction</i>	18
1.6.-Implementación de la Construcción <i>Lean</i> en México.....	20
CAPÍTULO 2.- SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE EDIFICACIÓN	22
2.1.-Dirección de proyectos en obras de edificación	22
2.1.1.-Liderazgo <i>Lean</i>	23
2.1.2.-Ciclo de vida del proyecto	24
2.2.-Planificación y control de proyectos tradicionales.....	25
2.2.1.-La Planificación tradicional.....	25
2.2.2.-Técnicas de programación	26
2.2.2.1.-Diagrama de barras (GANTT)	27
2.2.2.2.-Curvas de producción acumulada.....	27
2.2.2.3.-Método de la ruta crítica (CPM).....	28
2.2.2.4.-Método de diagramación por precedencias (PDM)	29
2.2.2.5.-PERT (Program Evaluation Review Technique).....	29

2.3.-Las pérdidas y la variabilidad en la construcción	30
2.3.1.-Causas de la variabilidad	30
2.3.2.-Factores de la variabilidad	31
2.4.-Perdidas en la construcción.....	32
2.6.-Herramientas de productividad y calidad tradicionales.	36
CAPÍTULO 3.- LEAN CONSTRUCTION	41
3.1.-Filosofía <i>Lean Construction</i>	41
3.1.1.-Objetivo de <i>Lean Construction</i>	43
3.1.2.- Características de <i>Lean Construction</i>	43
3.1.3.-Beneficios de <i>Lean construction</i>	44
3.2.-Aplicación de la filosofía <i>Lean Construction</i>	45
3.4.- Principios de <i>Lean Construction</i>	47
3.5.- Herramientas <i>Lean Construction</i>	52
3.5.1.-Mapas Cadena de Valor (VSM)	53
3.5.3.-Sectorización y tren de actividades de un proyecto.	55
3.5.4.-Las 5 S's y Control Visual.....	56
3.5.5.-Seis sigmas	57
3.5.6.-Metodología 8D.....	58
3.5.7.-Curva de aprendizaje	59
3.5.8.-Informe A3.....	59
3.5.9.-Justo a Tiempo (<i>JUST IN TIME</i>).....	62
3.5.10.- <i>Last Planner System</i>	63
3.5.10.1.-Plan Maestro	65
3.5.10.2.-Plan Intermedio	66
3.5.10.3.-Plan Semanal	67
3.5.11.- Mejora Continua (<i>Kaizen</i>).....	68
CAPÍTULO 4.- APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION EN LA GERENCIA DE PROYECTOS (IMPLEMENTACIÓN DE BIM COMO HERRAMIENTA LEAN).....	71
4.1.-Modelos <i>Lean</i> en la de ejecución de proyectos.....	71
4.2.- <i>Lean Project Delivery System</i> (LPDS).....	72

4.3.- <i>Integrated Project Delivery (IPD)</i>	75
4.4.- <i>Target Value Design (TVD)</i>	78
4.5.-BIM como herramienta de <i>Lean Construction</i>	79
4.5.1.- Características BIM	82
4.6.- Aplicación BIM en México.....	83
4.6.1.-Bim Fórum México	85
4.6.2.-Estándares y Normatividad de BIM en México.....	85
4.6.3.- BIM como herramienta Lean	87
CAPÍTULO 5.- APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO	90
5.1.-Descripción del proyecto	90
5.1.1.-Datos del proyecto.....	91
5.2.-Herramientas utilizadas en la ejecución del proyecto.	93
5.2.1.-Sectorización.....	93
5.2.2.-Tren de actividades.	94
5.2.3.- <i>Last Planner System</i>	96
5.2.4.-Las 5 S's y control visual.....	98
5.2.5.-Mejora continua (<i>KAIZEN</i>)	100
5.3.-Principales problemáticas que se presentaron durante el proyecto	101
5.4.-Herramientas de apoyo para la ejecución de la obra.	105
5.5.-Informe semanal de productividad.....	106
5.6.-Desafíos y barreras para la implementación de <i>Lean Construction</i>	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
Conclusiones.....	111
Recomendaciones.....	113
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXOS	119

INTRODUCCIÓN

La Industria de la Construcción en México es uno de los principales componentes de la economía; ya que es uno de los sectores que generan más empleo en México. En el año 2014 el crecimiento de la Industria de la Construcción ha sido impulsado por el sector de la edificación, el cual es promovido por una mayor inversión nacional, extranjera y por el crecimiento de las fibras inmobiliarias¹ en el desarrollo de proyectos comerciales, residenciales y de servicio.

Hoy, en varias ciudades del país, van edificando nuevos proyectos que confirman la buena situación del sector de la construcción. Existen proyectos de alta complejidad en los que no basta, con que el ingeniero responsable de la obra tenga en mente todos los procesos constructivos necesarios para realizar el proyecto, es necesario aplicar ciertas técnicas para poder llevar a cabo una planeación adecuada. Actualmente en la construcción se asocian los conceptos de productividad y competitividad a la optimización de los recursos y a la satisfacción del cliente en los resultados finales de la obra.

Diversos ingenieros han desarrollado varios métodos que buscan la eficiencia y la eficacia cuando de ejecutar una obra se trata, por ende la programación de obras han sido objetivo de estudio. La mayoría de los proyectos de construcción sufre una disminución de productividad provocando demoras y exceso de costos.

La planificación y el control de un proyecto de construcción es un proceso para definir, coordinar y determinar el orden en que se deben realizar las actividades con el fin de lograr la más eficiente y económica utilización de los equipos, elementos y recursos de los que se dispone, para ello se establece un sistema que permita medir el avance que se realiza y poder compararlo con lo que se planea. Actualmente existen varios métodos y técnicas que se utilizan para la programación de proyectos, como las redes de flechas

¹ **Fibras Inmobiliarias:** Es un fideicomiso que se encarga de rentar y administrar un portafolio de bienes inmuebles.

que se basan en la teoría de grafos², diagramas de tiempo, etc. Todas estas herramientas nos sirven para optimizar nuestros procesos dentro de la empresa, buscando mejores rendimientos y optimización de los recursos, y lo más importante, buscando ganancias económicas y satisfacción del cliente en el producto final.

Durante mucho tiempo se han aplicado métodos de planificación tradicional, los cuales sin duda han sido de gran ayuda, sin embargo, los grandes cambios que han experimentado los proyectos de construcción han generado cambios en los métodos constructivos, es por eso que nace la necesidad de seguir buscando nuevos métodos de planificación. Esta investigación se enfocará en el estudio de la filosofía conocida como **Lean Construction**, este novedoso sistema de gestión de proyectos de construcción persigue la mejora continua, minimiza los costes y maximiza el valor del producto final definido por el cliente.

Es importante implantar los procesos de mejora continua implementando una estandarización de éstos lo cual servirá para verificar y evaluar cómo se están ejecutando dichos procesos para obtener excelentes resultados en la ejecución de la obra.

² **Teoría de grafos:** también llamada teoría de gráficas, son diagramas que si se interpretan en forma adecuada proporcionan información.

JUSTIFICACIÓN

Gran parte del éxito en la ejecución de un proyecto se relaciona directamente con una adecuada gestión de proyectos que permita cumplir con el tiempo, costo y la calidad de la obra. Por lo tanto la implementación de nuevas técnicas y herramientas permitirán un mejoramiento en la gestión productiva, por medio de una mejor programación y planificación de la misma.

Normalmente las constructoras que están implantando “**Lean Construction**” tienen su grupo de expertos interno que ayuda en estas tareas a los equipos de obra de la constructora. Por tanto, el concepto no es nuevo en la construcción, ya existe. Sin embargo, son pocos los profesionistas que conocen la filosofía de *Lean Construction* y ejecutan de forma correcta estas herramientas.

OBJETIVO

El objetivo principal de esta investigación es difundir las herramientas y principios *Lean Construction*, con la finalidad de potenciar el interés de profesionistas involucrados en los procesos de planeación, supervisión y control de obras de edificación, interesados en mejorar los indicadores de desempeño en la productividad, calidad, costo y tiempos de la obra.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer el origen y los principios de *Lean Construction*.
- Difundir las principales herramientas utilizadas por *Lean Construction*.
- Lograr entender la forma operativa de cada una de las herramientas *Lean* y las ventajas de uso en la administración productiva de un proyecto

- Impulsar la filosofía de *Lean Construction* como herramienta de apoyo en la gerencia de proyectos con el fin de lograr la ejecución eficiente de estas.
- Identificar las principales causas de fallo de la aplicación *Lean Construction* en una obra de edificación.

HIPÓTESIS

La fase de ejecución, por su importancia en el ciclo de la vida de un proyecto es la que más pérdida genera, estas pérdidas podrían ser reducidas con la correcta ejecución de la metodología *Lean Construction*; ya que son pocos los profesionistas que la conocen y ejecutan de forma correcta estas herramientas.

ALCANCE

El alcance de esta investigación es abordar la teoría existente sobre la filosofía "*Lean Construction*" sus principios y herramientas que son utilizadas actualmente en la ejecución de proyectos de edificación que se desarrollan en la ciudad de México, así como el análisis de su correcta ejecución.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo de investigación es la siguiente:

- Se estudiarán conceptos claves relacionados con *Lean Construction*, planificación tradicional y productividad.
- Se recopilará y analizará la información existente (tesis, artículos), sobre la filosofía *Lean* y sus principios utilizados en la Industria de la Construcción.
- Se describirán de manera precisa y clara las principales herramientas *Lean* utilizadas para la mejora continua de los procesos y gestión de la productividad en obras construcción.
- Para identificar las herramientas *Lean* utilizadas en proyectos de edificación en la Ciudad de México se analizará el proyecto de centro comercial Mitikah como ejemplo de aplicación.
- Para la identificación de las fallas de ejecución de estas herramientas se analizará el ejemplo descrito y se expondrán las causas de origen.
- Para concluir se harán algunas recomendaciones sobre la correcta ejecución de las herramientas *Lean*; así como su implementación interna en las empresas del sector de la construcción en edificaciones de la Ciudad de México.

CAPÍTULO 1

MARCO DE REFERENCIA

1.1.-Antecedentes

Los proyectos de gran escala han existido desde tiempos antiguos, este hecho lo atestigua la construcción de las pirámides de Egipto, la gran muralla China, las pirámides de Teotihuacán entre muchas otras. A principios de los años sesenta del siglo pasado, las empresas y otras organizaciones comenzaron a observar las ventajas de organizar el trabajo en forma de proyectos.

Entre finales del siglo XIX y principios del XX, Frederick Taylor (1856–1915) comenzó a realizar estudios detallados del trabajo. Aplicó el razonamiento científico y demostró que el trabajo puede analizarse y mejorarse, si se centra en las partes fundamentales. Puso en práctica sus ideas en las tareas realizadas en las fundiciones de acero, como recoger arena con la pala, levantar y trasladar piezas. Anteriormente, la única manera de mejorar la productividad era exigir a los trabajadores más esfuerzo y más horas de trabajo. (Domínguez , 2004)

En 1956 Morgan Walker de la compañía Du Pont y James E. Kelly del grupo de planeación de la construcción interna de Remington Rand, crearon una nueva técnica de planeación y calendarización con la finalidad de mejorar la utilidad de la computadora Univac. De esta manera se creó un método racional, secuencial y simple, que podía ser interpretado por una computadora, esta técnica fue llamada como “el Método de Walker – Kelly” y posteriormente se le llamo “el método de la ruta crítica”. Sin embargo la necesidad de la administración de proyectos surgió con el proyecto de armamentos del polaris, empezada en 1958, con tantos componentes y subcomponentes juntos producido por diversos fabricantes, se necesitaba de una nueva herramienta para programar, controlar e integrar los proyectos. Si bien al principio PERT y CPM tenían algunas diferencias importantes, con el tiempo, ambas

técnicas se han fusionado, de modo que hoy día se habla de estos procedimientos como PERT/CPM (Domínguez , 2004).

El PERT supone que el tiempo para realizar cada una de las actividades es una variable aleatoria descrita por una distribución de probabilidad. El CPM por otra parte, infiere que los tiempos de las actividades se conocen en forma determinísticas y se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados. Ambos métodos aportaron los elementos necesarios para conformar el método del camino crítico, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costes de operación, para ejecutar un proyecto en el menor tiempo y coste posible. PERT/CPM se basan en diagramas de redes capaces de identificar las interrelaciones entre las tareas y establecen el momento adecuado para su realización. Además, permiten preparar el calendario del proyecto y determinar los caminos críticos. El camino crítico es, en esencia, la ruta que representa el cuello de botella de un proyecto. La reducción del plazo total de ejecución será sólo posible si se encuentra la forma de abreviar las actividades situadas en dicho camino, pues el tiempo necesario para ejecutar las actividades no críticas no incide en la duración total del proyecto. La principal diferencia entre PERT y CPM es la manera en que se realizan los estimados de tiempo (Guerrero, 2007).

Tanto la Ruta Crítica como el PERT han sido ampliamente utilizados en la Industria de la Construcción y su uso ha sido extendido a casi todo el mundo. En 1962 el Departamento de Defensa de los Estados Unidos ordena aplicar una estructura de desglose de trabajo (Work Breakdown Structure, WBS). La WBS es un componente fundamental para iniciar, planificar, ejecutar, monitorear y controlar los procesos que se utilizan para administrar los proyectos tal como se describen en el PMBOK. La WBS fue creada como parte del proyecto Polaris. Después de realizar el proyecto, el departamento de defensa publicó la estructura de desglose de trabajo, ordenando que este procedimiento sea seguido en proyectos futuros de gran alcance y tamaño. Una WBS mal construida puede resultar en resultados. (Domínguez , 2004)

Todas estas herramientas de control nos han permitido optimizar los recursos de una obra o un proyecto sin embargo, hoy en día para hacer frente a las nuevas exigencias del mercado es necesario el uso de nuevas herramientas que nos permitan producir de una forma más eficiente y a la vez con un menor consumo de recursos. Este novedoso método *Lean* tiene como objetivo la mejora continua, minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final.

Lean ha demostrado ser un método eficaz en muchos ámbitos productivos y se ha convertido en un nuevo paradigma en la gestión empresarial, no requiere de grandes inversiones, si no que afronta las modificaciones en los procesos buscando la constante mejora de las operaciones. Esto obliga a las constructoras a adoptar nuevas ideas, fijar nuevos rumbos y marcar nuevas estrategias de gestión, que les permitan estar preparadas para afrontar con éxito las nuevas exigencias.

1.2.-La productividad en la Industria de la Construcción en México

La Industria de la Construcción representa una de las mayores actividades económicas del mundo, y en México no es la excepción. Durante el primer bimestre del 2017, la Industria de la Construcción registró un crecimiento de 1.0% con relación al mismo periodo del año previo. El año pasado el sector de la construcción fue impulsado principalmente por la edificación (obra privada).

En los últimos años el mundo ha experimentado cambios tecnológicos, ambientales, sociales, entre otros, que obligan a las industrias a replantearse el modo en que desarrollan sus productos. La Industria de la Construcción, en particular, presenta un rezago en sus métodos constructivos, implementando muy pocos cambios al sistema tradicional exhibiendo muchas fallas, entre las cuales están: falta de calidad, falta de coordinación, fallas de seguridad, incumplimiento del plazo de entrega (Ramos, 2015).

La productividad ha sido objeto de estudio por parte de todo tipo de industrias y empresas, especialmente en esta época donde la competencia obliga a que los niveles de productividad sean cada vez más altos. Sin embargo en la Industria de la

Construcción en México son pocos los estudios de productividad que se han realizado (Alpuche S, 2004).

Por su parte, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción realizó una investigación en 2013 entre Pymes con una metodología del Instituto Americano de Arquitectos y encontró lo siguiente:

- **30%** de los costos en la construcción se deben a errores, demoras y falta de comunicación.
- **90%** de las construcciones se terminan con un sobrecosto de más de 10 %.
- **95%** de los proyectos no se terminan a tiempo
- **37%** de los materiales de construcción se convierten en desperdicio.

En cuanto al uso eficaz y eficiente de la información, el estudio reportó que:

- **20%** del tiempo de trabajo de los obreros se dedica a transportes y viajes
- **92%** de los proyectos consideran que la información del diseñador es insuficiente para construir sin demoras y despilfarro

Lean Construction identifica dos aspectos fundamentales en un sistema de producción: actividades de conversión y actividades de flujos; las primeras son las que agregan valor a la materia que será convertida en producto, mientras las segundas no generan valor, pero articulan las actividades de conversión. El objetivo principal es reducir o eliminar las actividades de flujos, con el fin de hacer más eficientes las actividades de conversión.

Lean Construction utiliza como herramientas: el trabajo en equipo, la comunicación permanente, el eficiente uso de recursos y el uso de diagramas causa-efecto, para la solución de problemas. Por sus ventajas, las metodologías como *Lean Construction* deben promoverse entre los técnicos de la construcción, para que las conozcan en su ambiente de trabajo, y se pueda generar un aumento en la productividad dentro de las empresas constructoras.

1.3.-La necesidad de un cambio de modelo productivo

La teoría de la administración de proyectos señala que una de las características fundamental es que todo proyecto tiene un principio y un fin, y considera que los componentes tradicionales de la administración de un proyecto es la planificación, ejecución y control, de este modo se entienden los procesos tradicionales como se muestra en el siguiente esquema.

ETAPAS EN LOS PROCESOS TRADICIONALES DE UN PROYECTO



Figura 1. Etapas en los procesos tradicionales de un proyecto. (Fuente: Blanca González Martínez, 2018).

Uno de los principales errores que se comenten a la hora de planificar y ejecutar un proyecto es ordenar de manera secuencial las distintas etapas en forma de vagones de tren y no sobrepuestas. Una de las maneras en que la administración de proyectos resuelve este tema es a través de la superposición de las actividades como se muestra en el siguiente esquema.

INTERRELACIÓN ENTRE PROCESOS

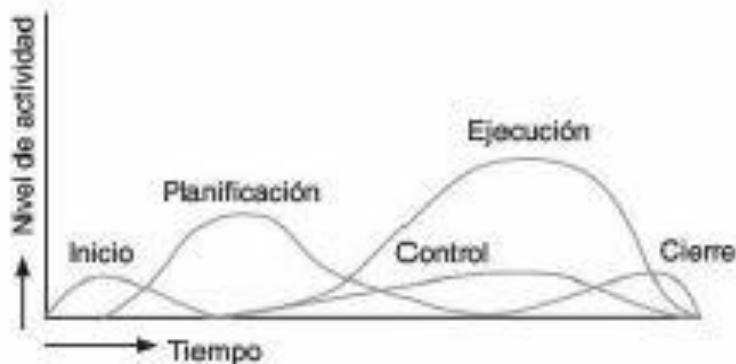


Figura 2. Interacción entre procesos. Fuente: (Valencia, 2013)

Otros problemas típicos que ocurren en el modelo tradicional de la gestión integral de un proyecto, desde su fase inicial hasta su ejecución, uso y mantenimiento incluye:

- Escasa formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de obras.
- Control de calidad ineficaz.
- Escaso rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.
- Errores y omisiones en proyectos.
- Falta de coordinación entre los actores intervinientes en las diferentes etapas del proyecto.
- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas.

Las principales consecuencias de todo ello son: la ejecución de obra fuera de plazo, sobrecostos, reclamaciones derivadas de la escasa calidad, accidentes laborales, incertidumbre (Pons Achell, 2014).

Por lo tanto, la filosofía Lean busca la optimización de procesos en la gestión de proyectos que involucran todas sus etapas. Tradicionalmente en la administración de proyectos se utilizan herramientas como diagrama de hitos o diagrama de redes PERT, CPM, diagrama de Gantt, y que a su vez se utilizan para la aplicación de estas herramientas programas de cómputo tales como el Microsoft Project o programas similares. Al utilizar estas herramientas, muchas veces no se distingue entre el tiempo programado y el realmente utilizado en el proyecto (Lledó, Rivarola, Mercau, Cucchi, & Esquembre, 2006).

Los propietarios, compradores y usuarios finales exigen cada vez una mayor entrega de valor son conscientes tanto de los problemas sobre desperdicio y falta de productividad en la construcción como de los avances tecnológicos y exigen un cambio. Este cambio empezó hace más de dos décadas, primero en el sector automovilístico y poco a poco se ha ido extendiendo a otras industrias. En la construcción los cambios van despacio pero se están produciendo grandes avances principalmente en EE.UU. y su aplicación está creciendo rápidamente en por todo el mundo. En América Latina hay un enorme

interés por la aplicación de esta filosofía (Lean Construction) que se aprecia de manera notable en países como Chile, Brasil o Perú (Pons Achell, 2014).

En la filosofía *Lean* las actividades que no agregan valor son atendidas antes de que ocasionen problemas, a través de esta aplicación es posible reducir los costos y las actividades que no agregan valor notablemente.

1.4.-Filosofía *Lean*

El término *Lean* es el nombre con el que se da a conocer en occidente al sistema de producción de Toyota. Su objetivo fundamental es la satisfacción del cliente, mediante la entrega de productos y servicios de calidad utilizando la cantidad mínima de materiales, equipamiento, espacio, trabajo y tiempo.

El pensamiento *Lean* es un proceso enfocado en el incremento del valor agregado en productos y servicios y en la reducción de desperdicios. Cuando se habla de valor, se refiere a todo aquello relacionado con el producto servicio y por lo cual los clientes están dispuestos a pagar de más, desperdicio contrariamente se refiere a todas aquellas actividades que no agregan valor ante los ojos del cliente.

El sistema *Lean* proporciona una herramienta que contribuye a una mayor integración entre los diferentes agentes que intervienen a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto. *Lean* no es una metodología tradicional de reducción de costos mediante disminución de servicios o recortes de personal. Los principios fundamentales de esta filosofía son: el respeto a las personas y la satisfacción del cliente. *Lean* es una filosofía de operación que se basa en el mejoramiento continuo a través de la eliminación de desperdicios.

Esta filosofía conduce a una visión integrada de la cultura y la estrategia para atender al cliente final produciendo exactamente lo que quiere, cuando lo quiere a un costo mínimo y justo. El pensamiento *Lean* descarta el enfoque tradicional de fijación de precios dado por la fórmula $\text{Precio} = \text{Costo} + \text{Ganancia}$. El pensamiento *Lean* se enfoca en incrementar el valor a favor del cliente y, de la misma manera, eliminar los desperdicios para incrementar las ganancias. Según el enfoque pensamiento, la

fórmula de fijación de precios debe reformularse a $\text{Ganancia} = \text{Precio} - \text{Costo}$, esto quiere decir, que la única forma de incrementar las ganancias es a través de la reducción de desperdicios o costos. (Quesada, Buehlmann, & Arias , 2012)

1.5.-Origen de *Lean Construction*

Según ITN³ de México *Lean* es la aplicación en la Industria de la Construcción de las ideas que revolucionaron la Industria de la Manufactura (*Lean Manufacturing*) originadas en Japón en los años de 1950. *Lean Construction* tiene como objetivos maximizar el valor al cliente, eliminar inventarios y desperdicios a través de diferentes técnicas como la producción en lotes pequeños, reducir los tiempos de ciclo, cooperar con proveedores y muchas otras.

Los primeros pensamientos de *Lean Construction* tienen sus orígenes en Japón cerca del año de 1950, los cuales fueron aplicados en el denominado sistema de producción de Toyota elaborado por los ingenieros Shigeo Shingoy Taiichi Ohmo. Los resultados del sistema hicieron que Toyota les quitara mercado a las empresas automotrices americanas, a finales de los 80" s una comitiva de investigadores del Massachusetts institute of Technology viajaron a Japón a investigar este modelo que a su regreso lo denominaron *Lean Manufacturing* o *Lean Production*.

Lean Construction o construcción sin pérdidas es un nuevo enfoque en la gestión de proyectos de construcción introducido por el profesor Lauri Koskela en el año de 1992, basándose en el modelo empleado por la industria automovilística en los 80, la Producción *Lean*. Koskela propone que la construcción es un sistema de producción que se funda en proyectos de gran incertidumbre en la planificación y una mala concepción de la producción.

Otros investigadores como Glenn Ballard aportaron herramientas para la adaptación de la producción *Lean* al sector de la construcción. Ballard fue el pionero en el desarrollo del sistema conocido como *Last planner* en 1992. *Lean Construction* o construcción sin

³ *ITN: International Technology Network, es una empresa dedicada a proveer soluciones de ingeniería industrial, arquitectura, diseño y construcción.*

pérdidas abarca la aplicación de los principios y herramientas de *Lean Manufacturing*, la cual persigue el aumento de la producción, eliminando pérdidas, minimizando los costos y maximizando el valor del producto final. Por lo tanto, *Lean* es una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, sus principios pueden aplicarse en todas las fases de un proyecto de edificación desde su diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing, administración de la empresa, logística y relación con cadena de suministro. Algunos ejemplos de pérdidas en los procesos de construcción son las esperas ocasionadas por la falta de instrucción, de materiales, equipos y obreros, por la mala distribución de los recursos o ausencia de planificación.

La gestión de la construcción con el *Lean* es diferente de la práctica típica de la construcción, porque tiene un conjunto claro de objetivos para el proceso de entrega, está orientada a maximizar el rendimiento para el cliente a nivel de proyecto. *Lean construction* es un nuevo pensamiento en la gestión de proyectos de construcción que desafía a la guía de gestión actual de *Project Management Institute PMBOK*. *Lean Construction* ha sido implementada con éxito en algunos países del mundo desde 1993, algunos de los países que han implementado esta filosofía son Colombia, Chile, Brasil, España, Estados Unidos, México entre otros.

Muchos empresarios de la Industria de la Construcción han manifestado su preocupación y también desconocimiento sobre la dificultad y el costo de implementar *Lean Construction*. Esta metodología de trabajo no está basada en inversiones caras de tecnología, ni software; ya que las herramientas que se emplean no son más que la aplicación de principios teóricos a la práctica profesional. Algunos de los principios que se aplican son:

- *Justo A Tiempo (Just In Time - JIT)*.
- Control de Calidad Total (*Total Quality Control - TQC*).
- Estrategia basada en el valor.
- Mejora continua.
- Evaluación comparativa (*Benchmarking*).

1.6.-Implementación de la Construcción *Lean* en México

Más allá de la manufactura, la Industria de la Construcción ha iniciado su camino hacia la implementación de sistemas *Lean* en un mundo donde, ya no son los grandes quienes se comen a los chicos, sino los rápidos a los lentos. Aunque la construcción ha evolucionado en los últimos 30 años en términos de nuevas formas de construir, mejores materiales, etc. Hay aún situaciones que hacen a la construcción, una de las industrias más desperdiciadoras que existen.

En México son muy pocas las empresas dedicadas a proveer servicios de soluciones de ingeniería utilizando la filosofía *Lean*. *Lean Construction* es una combinación entre la investigación habitual en la gestión de proyectos de construcción y la aplicación de los principios y prácticas del *Lean Manufacturing*. En México empresas como *C&C Consulting Construction Group*, *ITN México* entre otras. Trabajan implementando la filosofía de *Lean Construction* siguiendo el esquema y parámetros del *Project Management Institute*.

Las mejores universidades del mundo en materia de gestión de proyectos de construcción centran gran parte de su capacidad investigadora en el *Lean Construction*. Tanto Berkeley como Stanford en EE.UU., Nottingham-Trent y Salford en el Reino Unido, la Universidad Católica de Chile y la UFRGS de Brasil, la Universidad Politécnica de Valencia en España son unos ejemplos.

Sin embargo, en México el termino *Lean Construction* es poco conocido, son muy pocas las instituciones y universidades que se dedican a la implementación de esta filosofía y pocos profesionistas, Ingenieros civiles, Proyectistas, Arquitectos conocen las estrategias, tácticas y herramientas que *Lean* ofrece. Conocer esta herramienta nos ayuda a incrementar nuestra capacidad para coordinar los elementos que intervienen en los procesos constructivos.

Conclusión Capitular

La productividad ha sido objeto de estudio por parte de todo tipo de industrias y empresas, especialmente en esta época donde la competencia obliga a que los niveles de productividad sean cada vez más altos. De acuerdo en los últimos años, se han experimentado grandes avances en el aspecto tecnológico, ambiental, social, entre otros, que obligan a la construcción a replantear el modo en la forma de gestionar el avance de cada uno de los proyectos.

Hablar de *Lean* en la Industria de la Construcción mexicana puede parecer extraño, pues este término es un vocablo inglés que significa “esbelto o delgado” que, junto con la fabricación de bienes, se acuñó el término *Lean Manufacturing* o Manufactura Esbelta, filosofía industrial creada en Japón a principios de 1950.

En 1992 el profesor Lauri Koskela del Laboratorio de planeación urbana y diseño constructivo del centro de investigación técnica de Finlandia tuvo la idea de comenzar a transferir esta filosofía a la Industria de la Construcción, La cual denominó *Lean Construction*.

Lean es una filosofía que ha venido a innovar de manera sustancial la construcción de grandes obras, trayendo resultados satisfactorios en la aplicación de los diferentes tipos de proyectos. En México empresas como *C&C Consulting Construction Group*, *ITN México* entre otras, trabajan en la implementación de la filosofía *Lean Construction*.

CAPÍTULO 2

SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

2.1.-Dirección de proyectos en obras de edificación

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definido (Project Management Institute, 2013). En ingeniería un proyecto se define como un conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar idea de cómo ha de ser y lo que ha de constar una obra de arquitectura o ingeniería, lo que significa un conjunto de documentos ordenados para proceder con precisión a ejecutar una obra o poner en explotación un servicio (Pellicer & Serón Gañez, 2016).

La dirección de proyectos es la aplicación de los conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. El director del proyecto es la persona asignada por la organización ejecutora para liderar al equipo responsable de alcanzar los objetivos del proyecto (Project Management Institute, 2013). Dirigir una obra de edificación consiste en la coordinación de todas las partes que la constituyen de acuerdo con el proyecto, emitiendo instrucciones para el adelanto de la misma y su correcta ejecución con la finalidad de controlar el cumplimiento del contrato de construcción durante su ejecución.

Los directores de proyecto llevan a cabo el trabajo a través del equipo del proyecto y de otros interesados. Algunas de las características que un director de proyecto debe cumplir son:

- Liderazgo.
- Trabajo en equipo.
- Motivación.

- Comunicación.
- Toma de decisiones.
- Conocimientos de política y cultura.
- Negociación.
- Generar confianza.
- Gestión de Conflictos.
- Proporcionar orientación.

Los objetivos de la gestión de proyectos es administrar, planificar, coordinar el seguimiento y control de todas las actividades y los recursos asignados para la ejecución del proyecto de una forma que se pueda cumplir con el alcance en el tiempo establecido y con los costos presupuestados.

2.1.1.-Liderazgo *Lean*

Se puede definir como liderazgo el proceso de influir en otras personas y apoyarlas para que trabajen con entusiasmo en el logro de objetivos comunes, se entiende como la capacidad de tomar la iniciativa, gestionar, convocar, motivar e impulsar a un grupo para el desempeño de una acción orientada a un trabajo (Rico Nieto, 2016).

El liderazgo es un factor importante para motivar a todos los que forman parte de la organización a romper con paradigmas sobre la forma de hacer las cosas, el labor de un líder del siglo XXI es lograr sacar el talento de las personas, porque son las aportaciones de las personas las que van a marcar la diferencia y las que van a determinar el éxito de cualquier proyecto (LeanSis Productividad, 2018)

Un líder en cualquier posición que se encuentre dentro de la empresa, sea directivo, responsable de equipos, supervisor o como coordinador debe saber, por tanto, cómo liderar a su equipo, qué es lo que motiva a las personas, para que éstas se involucren al máximo y desplieguen todo su potencial.

La filosofía *Lean Construction*, no solo aporta en mejorar la productividad de un proyecto, exige del gerente de proyecto una coherencia impecable, trabajo colaborativo y acciones basadas en el valor. En cuanto a las cualidades que debe tener un líder *Lean* son:

- Saber escuchar a los trabajadores.
- Comunicación clara y eficiente para evitar los malos entendidos.
- Saber corregir a tiempo los comportamientos no conformes con las medidas a aplicar.
- Hacer con frecuencia *feedback* (retroalimentación).
- Saber potenciar de manera positiva a los miembros del equipo mediante el *coaching*.
- Tener iniciativa e ir por delante aplicando él, en primer lugar dichas medidas.

Estas son algunas de las habilidades que debe tener un líder en *Lean* para poder gestionar y dirigir equipos de trabajadores en una organización.

2.1.2.-Ciclo de vida del proyecto

El ciclo de vida de un proyecto es la serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre. Las fases son generalmente secuenciales y sus nombres y números se determinan en función de las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación, cada proyecto varían de acuerdo a su tamaño y complejidad (Project Management Institute, 2013).

El ciclo de vida de un proyecto de edificación podría definirse como el período de tiempo transcurrido desde la primera idea de proyecto hasta la eliminación total de la construcción. Al igual que cualquier tipo de proyecto, durante su vida útil, el proyecto de edificación pasa por diversas fases como: Inicio del proyecto, Planificación y Diseño, Ejecución y Control, Cierre del proyecto.

2.2.-Planificación y control de proyectos tradicionales

2.2.1.-La Planificación tradicional

La planeación en la Industria de la Construcción se puede definir como: *la fase inicial cuyo objetivo es obtener una distribución de las actividades en el tiempo y una utilización de los recursos que minimice el costo del proyecto, cumpliendo con los condicionantes exigidos (plazo de ejecución, tecnología a utilizar, recursos disponibles etc.) por el cliente.* Por lo tanto la planificación de proyectos es una programación de actividades. Los programas de construcción en un proyecto son la clave para su éxito, pues determinan la secuencia de los procesos de producción o actividades del proyecto, definen su ritmo o tasa de producción y además determinan la duración completa del proyecto (González & Alarcón, 2003).

La planificación se basa en elaborar un programa general de toda la obra, con un gran detalle desde su inicio hasta su fin, usando técnicas como PERT, CPM, etc., que por lo general, al estar hechas desde el escritorio, representan lo que debería hacerse, sin embargo, todos sabemos que por diversos motivos, conforme la obra avanza, se van generando grandes diferencias con lo que realmente se hizo (Orihuela & Ullua, La planificación de las obras y el Last Planner , 2011). El problema de la planificación que tradicionalmente se realiza en el rubro de la construcción es que a pesar de que se sabe que las actividades no se cumplen, se planifica como si todas las actividades se fueran a cumplir, por lo que la productividad colapsa en cadena cuando alguna de ellas no se cumplen. Los problemas típicos del modelo tradicional de la gestión integral de proyectos, desde su fase inicial de diseño hasta su ejecución, uso y mantenimiento, incluye:

- Escasa formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de obras.
- Control de calidad ineficaz basado en métodos estadísticos.
- Escaso rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.

- Errores y omisiones en el proyecto.
- Falta de interés en la formación y capacitación de los trabajadores.
- Falta de comunicación y transparencia entre las partes interesadas.

Una de las maneras de optimizar los proyectos es tener una eficiente administración del tiempo, tradicionalmente, en la administración se utilizan herramientas como diagramas de hitos o diagramas de redes PERT, CPM o diagramas de Gantt. A su vez, se utilizan para la aplicación de estas herramientas programas de computación tales como el Microsoft Project o programas similares (Lledó, Rivarola, Mercau, Cucchi, & Esquembre, 2006).

2.2.2.-Técnicas de programación

Existen diversos tipos de técnicas de programación, unas son muy sencillas en su elaboración y fáciles de interpretar, pero tienen ciertas limitantes, otras son bastantes útiles pero complejas en su elaboración. Algunas de las técnicas más usadas en la programación de una obra son:

- Diagramas de barras (GANTT).
- Curvas de producción acumulada.
- Método de la Ruta Crítica (CPM).
- Método de diagramación por dependencias (PDM).
- PERT.

Sin embargo, al utilizar estas herramientas, muchas veces no se distingue entre el tiempo programado o previsto y el realmente utilizado en el proyecto y por ende se tiene una falta de cumplimiento y de acuerdos establecidos durante reuniones con el cliente. A continuación y de forma breve se hará un repaso de la historia de las técnicas de planificación más usadas en una obra de construcción (Domínguez , 2004).

2.2.2.1.-Diagrama de barras (GANTT)

El diagrama de Gantt es una herramienta para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado. Fue Henry Laurence Gantt quien, entre 1910 y 1915, desarrolló y popularizó este tipo de diagrama en Occidente. Desde su introducción los diagramas de Gantt se han convertido en una herramienta básica en la gestión de proyectos de todo tipo, con la finalidad de representar las diferentes fases, tareas y actividades programadas como parte de un proyecto o para mostrar una línea de tiempo en las diferentes actividades haciendo el método más eficiente.

La realización de un diagrama de Gantt exige conocer las actividades principales del proyecto y sus precedencias; así como una estimación de tiempo necesario para cada una de ellas, aunque es una técnica que permite una clara visualización, no es aconsejable en proyectos complejos pues, entre otras limitaciones, no permite identificar conexiones cruzadas que muestren como la duración de una actividad depende de otra, ni visualizar el efecto de posibles acciones correctoras aplicadas en una cierta actividad en el conjunto de la programación.

Por lo tanto el diagrama de Gantt es una visión general del proyecto, algunas de sus desventajas son que la longitud de las barras no indica la cantidad de trabajo, los imprevistos pueden modificar el cronograma entero, por lo que es necesario actualizarlo periódicamente, para que cumpla con su fin.

2.2.2.2.-Curvas de producción acumulada

La curva de producción acumulada o curva S nos permite determinar la tasa de producción o la velocidad del avance del proyecto. Esta herramienta nos permite visualizar de forma gráfica el avance físico real y el avance físico planificado en el período, ya acumulado a la fecha del proyecto. La curva S se construye a partir del Diagrama de Gantt. El porcentaje de ejecución físico, se puede expresar en

función del tiempo de ejecución de las actividades, costo, horas-hombre o de cualquier otra variable que se juzgue significativa para la planificación del proyecto.

Las curvas S básica de costo/utilidad son común para el cliente y el contratista. Para el cliente representa la tarifa en la cual incurrirá el costo de proyecto, la cantidad y la sincronización de los pagos de efectivo. Al contratista representa la tarifa en la cual, el trabajo traerá utilidades a la compañía y también por supuesto, la sincronización y la cantidad de recibos de efectivo. Por lo tanto esta herramienta es muy usada para el control de avance de una obra. (Fagundez , 2015)

2.2.2.3.-Método de la ruta crítica (CPM)

Esta metodología fue desarrollada en 1956 por la compañía DuPont y los consultores Remington Rand, con el propósito de controlar y optimizar los costos, mediante la planeación y programación adecuada de las actividades del proyecto. Este es un algoritmo utilizado para el cálculo de tiempos y plazos en la planificación de proyectos. El objetivo principal es determinar la duración de un proyecto, donde cada una de las actividades del mismo tiene una duración estimada.

Frecuentemente para la programación de proyectos de construcción se utiliza la red CPM. Esta técnica utiliza duraciones únicas (más probables) en cada actividad para calcular la duración total de los programas que genera, siendo por tanto, de carácter eminentemente determinístico. Esto limita la capacidad de los programas para representar la variabilidad de los procesos productivos involucrado (González & Alarcón, 2003).

Por lo tanto, se le denomina ruta crítica a la serie de actividades que determinan la ruta más larga para terminar el proyecto. Un beneficio primordial que nos brinda el método de la ruta crítica es que resume en un sólo documento la imagen general de todo el proyecto. En la práctica el error que se comete más a menudo es que la

técnica se utiliza únicamente al principio del proyecto, es decir, al desarrollar un plan y su programación y después se cuelga en la pared el diagrama resultante, olvidándose durante el resto de la vida del proyecto. El verdadero valor de la técnica resulta más cuando se aplica en forma dinámica (Rodríguez Solórzano , 2012).

2.2.2.4.-Método de diagramación por precedencias (PDM)

El PDM es un método para crear un diagrama de red del cronograma del proyecto que utiliza casillas o rectángulos, denominados nodos, para representar actividades, que se conectan con flechas que muestran las dependencias. Este método es utilizado por la mayoría de programas de software para la gestión de proyectos.

2.2.2.5.-PERT (Program Evaluation Review Technique)

Este método fue desarrollado en 1957 por la marina de Estados Unidos, es un método similar a CPM basado es en un análisis de probabilidades. Es una técnica que permite dirigir la programación de un proyecto. Consiste en la representación gráfica de una red de tareas, que, cuando se colocan en una cadena, permiten alcanzar los objetivos de un proyecto. En el mundo de la gestión y dirección de proyectos, la técnica de PERT es muy popular y se aplica para conocer las rutas de trabajo óptimas.

La Técnica de la red PERT es una variación de la técnica CPM. Esta introduce incertidumbre a las duraciones de las actividades de los programas que genera (duración pesimista, optimista y más probable), sin embargo, aunque los procedimientos de cálculo se repitan numerosas veces considerando los mismos datos de entrada, se produce siempre el mismo resultado para la duración esperada. Por tanto, es una técnica estática para representar la variabilidad de un proceso (González & Alarcón, 2003).

2.3.-Las pérdidas y la variabilidad en la construcción

2.3.1.-Causas de la variabilidad

La variabilidad se define como todo lo que aleja al sistema de producción de un comportamiento regular y predecible. En la construcción, los proyectos son únicos en su tipo y están sometidos a distintos factores que los hacen especiales. La existencia de la variabilidad es la raíz de la mayoría de las filosofías de productividad que se han venido implementado a lo largo de las últimas décadas (Mondragón Véliz, 2003).

Al realizar la planificación de costos y plazos para los proyectos de construcción, se está definiendo las expectativas acerca de la cantidad de recursos y dinero que se emplearan para llevarlo a cabo y por supuesto el tiempo que tomara en hacerlo. La variabilidad es inherente a los proceso constructivos, dada su naturaleza, por ello nos damos cuenta que se podría planificar al detalle cierta cantidad de procesos y sin embargo al momento de ejecutarlos, dado que no se encuentran bajo un ambiente controlado, siempre va existir variabilidad (Loayza Saravia & Velarde Coloma, 2009).

Algunas causas de variabilidad más común en la construcción de obras de edificación son:

- Cambios de ingeniería durante la ejecución del proyecto.
- Cambios del cliente durante la ejecución del proyecto.
- Diferentes tipos de productos en el proyecto.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Fallas mecánicas.
- Falta de materiales.
- Re-trabajos.

Los efectos de la variabilidad en la construcción se traducen finalmente en el incumplimiento de plazo, debido a la presencia de factores no previstos; así como

en los incrementos de costos respecto a las estimaciones iniciales, debido a la variación de metrados. El hecho de tratar de apresurar el inicio de la construcción de una obra sin tener claramente definida la ingeniería del proyecto, en la búsqueda de poner cuanto antes en operación la nueva infraestructura, al final lo perjudica. Como consecuencia el plazo real de ejecución es mayor al planeado debido a la activación de riesgos o las consecuencias de los factores de variabilidad (Gálvez Huamán, s/f).

2.3.2.-Factores de la variabilidad

Los proyectos de construcción e infraestructura de edificaciones, son riesgosos y complejos por naturaleza. La complejidad de un proyecto genera incertidumbre. Todos los proyectos tienen un cierto grado de incertidumbre en su ejecución. Es imposible saber con certeza y por adelantado cuales factores van a conjugarse para determinar la duración de un proyecto. Las fuentes de origen de la variabilidad de un proyecto pueden ser tanto internas como externas (Gálvez Huamán, s/f).

Tabla 1: Origen externo de la variabilidad

ORIGEN EXTRENO AL PROYECTO		
FUERZA MAYOR	POLÍTICOS	FINANCIERO Y ECONÓMICO
Inundación	Cambios leyes y reglamentos	Inflación
Terremoto	Huelgas y desorden	Disponibilidad de fondos
Incendio	Permisos y autorizaciones	
Viento	Normas ambientales, seguridad	
	Embargos	

Tabla 1. Variabilidad externa en proyectos. Fuente: (Gálvez, s/f)

Tabla 2: Origen interno de la variabilidad

ORIGEN INTERNO AL PROYECTO (CAMBIOS DE DISEÑO O DE EJECUCIÓN)		
RELACIONADO CON LA ORGANIZACIÓN	RELACIONADO CON EL DISEÑO	RELACIONADO CON LA CONSTRUCCIÓN
Atraso en permisos para iniciar	Diseño incompleto	Trabajos adicionales
Atraso de suministros	Diseño defectuoso	Cambios de diseño
Deficiencias del contrato	Errores y omisiones	Condiciones de terreno
Deficiencias de coordinación	Especificaciones inadecuadas	Modificación de programas
Deficiencias de control		Atraso en soluciones

Tabla 2. Variabilidad interna de proyectos. Fuente: (Gálvez, s/f)

2.4.-Perdidas en la construcción

En general, se define como “perdida” a aquellas actividades que produciendo un costo, ya sea directo o indirecto, no agregan valor ni avance a un proyecto. Estas pérdidas son medidas en función de sus costos (Abarca, 2015). Las pérdidas en construcción son todos aquellos procesos que demandan cantidades mayores a los recursos mínimos de materiales, maquinaria, mano de obra, tiempo y espacio establecido para la producción y que por tanto, sin agregar valor al producto final generando costos mayores en los procesos de construcción de una obra (Corredor Aguilera, 2009). Algunas causas que generan pérdidas en el proceso de producción de la construcción son:

- **Problemas de diseño:** Los problemas en los diseños se presentan principalmente por la costumbre de iniciar la construcción con diseños incompletos; así como con diseños que no han sido coordinados y presentan inconsistencias entre los mismos.
- **Deficiencias en la administración:** La logística de la construcción requiere de planeación, control de la planeación, lo cual se logra bajo un estricto

seguimiento del proceso de producción. La organización de personal para los proyectos de construcción se enfoca hacia la experiencia técnica y no hacia la capacitación de gestión del personal que estará a cargo de los proyectos.

- **Métodos de trabajo inadecuado:** En la construcción no hay una cultura arraigada de medición, que permita controlar y mejorar los diferentes procesos de producción. La planeación y control de la misma, permitirá detectar métodos más eficientes para realizar las actividades de construcción, al analizar y optimizar los diferentes recursos.
- **Problemas del recurso humano:** El rendimiento de la construcción depende principalmente del recurso humano, sin embargo las organizaciones no cuentan con políticas enfocadas hacia la gestión del recurso humano. La alta rotación no permite que haya un aprendizaje de las actividades que permita mejorar el rendimiento de la misma.
- **Sistema de control:** El control de la producción en la construcción se enfoca principalmente en la medición de las desviaciones del costo y el tiempo. No existe una cultura proactiva que permita controlar anticipadamente las diferentes actividades o tomar acciones correctivas en el momento adecuado.

El arquitecto Luis Fernando Botero (2006), clasifica de la siguiente manera las causas que determinan las pérdidas.

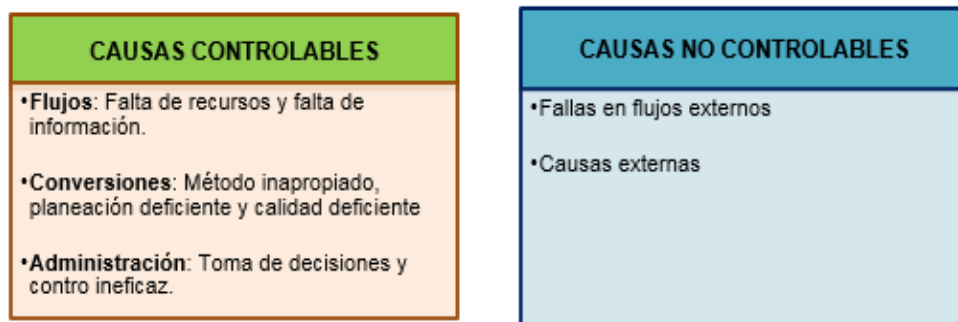


Figura 3. Clasificación de las causas de pérdidas. (Fuente: Martínez, 2011).

2.5. –La productividad en las edificaciones

En la Industria de la Construcción podemos definir como productividad a la “medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado”. El logro de la productividad involucra entonces la eficiencia y la efectividad; ya que no tiene sentido producir una cantidad de obra, si esta presenta problemas de calidad (Villamizar Roa & Ortiz Contreras, 2016).

En el sector de la construcción el sistema productivo, se caracteriza por la transformación de insumos y recursos en productos deseados, los cuales se presentan en diferentes clases de productividad en función de los recursos de intervención (Mamany ayma, 2016). Tomando en cuenta estos recursos que son utilizados, es posible exponer sobre los siguientes tipos de productividades.

- **Productividad de los materiales:** En la construcción es clave una buena utilización de los materiales, evitando todo tipo de pérdidas.
- **Productividad de la mano de obra:** Es un factor crítico; ya que es el recurso que generalmente fija el ritmo de trabajo en la construcción y el cual depende, en gran medida, la productividad de los otros recursos.
- **Productividad de las maquinarias:** Un factor igualmente importante puesto que los equipos son de alto costo y por lo tanto, es clave evitar las pérdidas en la utilización de este tipo de recurso

Es importante señalar que todos los participantes de un proyecto constructivo, aparte de beneficiarse debido a una mejora en la productividad, son responsables de lograr la misma ya que estos son los que aportan los distintos componentes del trabajo a realizar (Mora Valverde, 2012).

2.5.1.-Causas de pérdida de productividad

En la construcción se han detectado diferentes factores que afectan la productividad de una obra. La baja productividad se debe, principalmente, a las características tan distintas y particulares que se encuentran dentro de cada proyecto constructivo, al poco aprovechamiento del desarrollo tecnológico actual para resolver los problemas comunes del día a día de una manera eficiente y eficaz, y a la gran cantidad de eventos inciertos que se presentan diariamente en el desarrollo de una obra de construcción. (Mora Valverde, 2012)

La productividad tiene aumentar cuando los procesos son repetitivos y el tiempo empleado para la realización de los mismos disminuye, lo anterior se debe al fenómeno de aprendizaje y generación del conocimiento. Existen muchos factores que afectan negativamente la productividad de los proyectos de construcción tales como:

- Errores en el diseño y falta de especificaciones.
- Modificaciones de los diseños en plena ejecución del proyecto.
- Ejecución de obras con diseños incompletos.
- Falta de supervisión de los trabajos.
- Rotación alta de los trabajadores.
- Agrupamiento de trabajadores en espacios muy reducido.
- Ausentismo de los trabajadores.
- Distribución inadecuada de las cuadrillas de trabajo.
- Disputas entre cuadrillas.
- Falta de materiales requeridos.
- Falta de suministro de equipo y herramientas.
- Mantenimiento pobre de equipo.
- Instrucciones no planificadas ni controladas.
- Trabajos rehechos.
- Métodos inadecuados de trabajo.

Es importante resaltar que el aprendizaje en un proceso constructivo es más productivo a medida que se repiten las actividades o ciclos de esta; ya que se adquiere mayor práctica en los trabajos, por lo tanto, los tiempos de realización disminuyen y se muestra un crecimiento en la producción (Castro & Pajares, 2014).

Para lograr una alta productividad en un proyecto de edificación, es necesario que todas las personas involucradas estén comprometidas en ello. Es decir, el administrador del proyecto debe asegurarse de que todo el personal, desde el gerente hasta el último trabajador, asuma la responsabilidad de lograr una alta productividad global (Loayza Saravia & Velarde Coloma, 2009).

La metodología de *Lean* construction busca que el sector de la construcción adopte una secuencia de pasos que los conduzca a planificar, programar, estandarizar procesos y a realizar seguimientos en sus proyectos, que permitan mejoras en el proceso de producción los desperdicios en obra. (Villamizar Roa & Ortiz Contreras, 2016)

2.6.-Herramientas de productividad y calidad tradicionales.

La mayoría de expertos en Gestión de Calidad coinciden en que gran parte de los problemas relacionados con la calidad y la productividad (defectos, fallos), pueden ser solucionados mediante herramientas de fácil utilización y comprensión que permite mantener y mejorar el estándar de trabajo mediante mejoras pequeñas y graduales, cuyo objetivo final es la **Mejora** de los procesos para conseguir optimizar todos los recursos de que dispone una empresa (Union Europea, 2012).

Las herramientas más importantes son:

- Árbol de problemas.
- Árbol de Objetivos.
- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de Causa-Efecto.

- Diagrama de Spaghetti.
- Diagrama de Dispersión.
- Histogramas.
- Círculos de Calidad.

El éxito de estas técnicas radica en la capacidad que han demostrado para ser aplicadas en un amplio rango de problemas, desde el control de calidad hasta las áreas de producción. A continuación, se describen de manera breve cada una de estas herramientas.

- **Árbol de Problemas:** Es una ayuda importante para entender la problemática que debe resolverse. En este esquema tipo árbol se expresan las condiciones negativas detectadas por los involucrados relacionadas con un problema concreto. Una vez realizado, se ordenan los problemas principales sobre los cuales se van a encaminar los esfuerzos en forma de objetivos del proyecto.
- **Árbol de Objetivos:** Los problemas de desarrollo que fueron identificados en el árbol de problemas se convierten en objetivos del proyecto como la fase inicial para elaborar una respuesta como solución. Los objetivos en forma de componentes o productos de un proyecto son ahora los medios para afrontar el problema identificado y determinar su impacto.
- **Diagrama de Pareto:** Consiste en un gráfico de barras similar al histograma que incluye además una curva de tipo creciente que representa el grado de importancia o peso que tienen los diferentes factores determinados que afectan a un proceso, actividad o resultado. En el gráfico de barras se enumeran las categorías en orden descendente de izquierda a derecha, el cual puede ser utilizado por un equipo para analizar las causas, para estudiar los resultados, y para planificar una mejora continua.
- **Diagrama Causa - Efecto:** Es una técnica que permite apreciar con claridad las relaciones entre un efecto o problema y las posibles causas que puedan

estar contribuyendo para que tenga lugar. Construido con la apariencia de una espina de pescado (de ahí que también se conozca como Diagrama Espina de Pescado). Esta técnica Ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de efectos deseados.

- **Diagrama de Espagueti:** es una herramienta muy fácil de usar que intenta reproducir visualmente la movilización de personas o equipos en un área determinada. Esto se realiza con el propósito de entender y documentar el desperdicio que ocurre de forma recurrente. Muy probablemente las personas que están directamente relacionados con el proceso no se dan cuenta de los múltiples movimientos hasta que éste es documentado debidamente.
- **Diagrama de Dispersión:** Es una herramienta utilizada cuando se desea realizar un análisis gráfico de datos. Tiene el propósito de controlar mejor el proceso y mejorarlo, resulta indispensable conocer cómo se comportan algunas variables o características de calidad entre sí, esto es, descubrir si el comportamiento de unas depende del comportamiento de otras, o no, y en qué grado.
- **Histograma:** Gráfico de barras verticales que representa la distribución de frecuencias de un conjunto de datos.
- **Círculos de Calidad:** La idea de los círculos de calidad consiste en crear conciencia de calidad y productividad en todos y cada uno de los miembros de una organización, a través del trabajo en equipo y el intercambio de experiencias y conocimiento; así como el apoyo recíproco. Todo ello para el estudio y resolución de problemas que afectan el adecuado desempeño y la calidad de un área de trabajo, proponiendo ideas y alternativas con un enfoque de mejora continua.

Con el paso del tiempo en la Industria de la Construcción van surgiendo nuevas técnicas, nuevos materiales, nuevas exigencias, aparecen nuevas estructuras de

trabajo con características deferentes a las tradicionales. Por lo tanto esto exige una serie de mejoras en la planificación de una obra, sistematizando y organizando, todo esto con la finalidad de reducir al máximo las improvisaciones que pueden dar lugar en la planeación y ejecución tradicional, además de perseguir los recursos: materiales, maquinaria y mano de obra (Esperanza & Martínez, 1997).

Conclusión Capitular

Como se han estudiado en otros trabajos de investigación, los factores que afectan la productividad en la construcción son muchos, entre estos se encuentran las modificaciones de los diseños en pleno desarrollo del proyecto, la rotación frecuente de los trabajadores así como la variabilidad que se puede presentar durante la ejecución de los trabajos de la obra.

Para poder incrementar la mejora continua en una empresa constructora es indispensable tres factores que son: tener una base organizacional sólida, donde todos los miembros estén comprometidos con la misión y visión de la empresa, el segundo factor es el liderazgo ya que de éste depende el rumbo de la organización y en tercer lugar se encuentran las herramientas que utilizemos para el mejoramiento de la productividad, con la finalidad de generar una industria cada vez más confiable y rentable.

Como se ha mencionado anteriormente, algunos de los problemas del modelo tradicional en la construcción es la falta de cumplimiento en los plazos de entrega, generando principalmente sobrecosto así como reclamaciones derivadas de la escasa calidad entre muchos otros. Desde el siglo pasado se han venido desarrollando herramientas y técnicas que nos permiten llevar un mayor control de la productividad de un proyecto tanto para su ejecución como para la gestión de la misma.

CAPÍTULO 3

LEAN CONSTRUCTION

3.1.-Filosofía *Lean Construction*

Según el *Lean Construction Institute* (ILC), *Lean Construction* es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos. Entendiéndose por residuos todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Se adopta la filosofía de producción para la construcción basada en *Lean Production*, uno de los elementos centrales de *Lean Construction* es la reinterpretación de la forma en que se entiende la producción en construcción, modificando el conocido modelo de conversión. El modelo de conversión básicamente representa un proceso de producción donde los insumos o entradas son transformados en productos o salidas, donde el cambio de las entradas es tratado como un una caja como se muestra en la (figura 4) (Valencia Venegas, 2013).

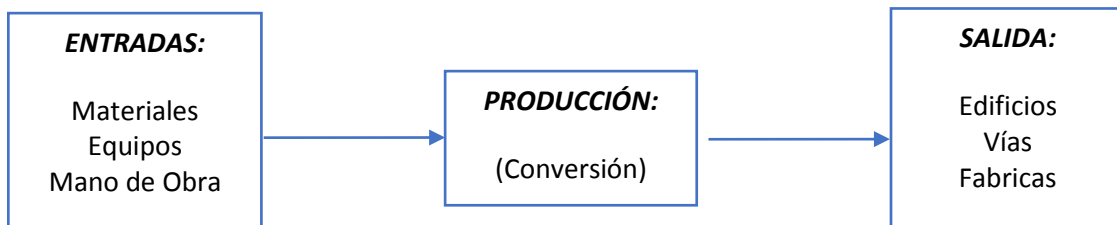


Figura 4. Modelo convencional de producción. (Fuente: Martínez, 2011).

Koskela y Ballard afirman que los proyectos constructivos que poseen alto grado de incertidumbre no pueden ser gestionados con la guía *PMBOK* establecida por el *Project Management Institute* (PMI); ya que según los investigadores, estas técnicas fallan en su base teórica y en los métodos usados para la planificación.

La principal falla en la base teórica radica en que se fundamenta en dos teorías, la de los proyectos que plantea la construcción como una teoría de transformación, y la teoría de gestión igual a planeación, donde el enfoque del PMI centra toda la atención en la planificación, poco en el control y casi nada en la ejecución. En cuanto a los métodos de ruta crítica para la planificación, el CPM no es muy útil porque controla la variabilidad después de que se han presentado las desviaciones. Una de las maneras más efectivas para aumentar la eficiencia en la construcción es mejorando el proceso de planificación y control. En la filosofía *Lean Construction* la planificación y el control son procesos complementarios y dinámicos, en donde la planificación define los criterios y crea las estrategias necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto y el control se asegura de que cada evento se producirá después de la secuencia prevista. Para controlar la variabilidad en la planificación la filosofía *Lean Construction* propone el Sistema del Último Planificador (SUP) o *Last Planner System* (LPS), una de las herramientas más útiles en la aplicación de *Lean Construction* (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Lean Construction es una nueva forma de ver la producción, no unos pasos establecidos que se deban seguir; lo que se pretende es entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas “*Lean*” para la gestión de los proyectos constructivos, en donde las herramientas son la aplicación de los principios teóricos a la práctica profesional.

3.1.1.-Objetivo de *Lean Construction*

Tiene como objetivo minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final a partir de la aplicación de técnicas que incrementan la productividad de los procesos de construcción, con la finalidad de mejorar la rentabilidad total del proyecto y eliminar "todo aquello que no agrega valor al producto final" (Progressa Lean, s/f) Los resultados del *Lean Construction* se reflejan en la (figura 5).



Figura 5. Resultados Lean. (Fuente: Blanca González Martínez, 2018).

Lean Construction trata de alcanzar sus objetivos en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción, contando con todos los agentes sociales que intervienen en el proceso de diseño, construcción y con todas las personas y empresas que participan en la cadena entera de suministro. *Lean* es una filosofía que lleva hacia la mejora continua a toda la organización a través de la focalización en las necesidades de los clientes, potenciando las aptitudes de los trabajadores y la mejora de los procesos.

3.1.2.- Características de *Lean Construction*

Las características principales de *Lean Construction* son:

- 1.-Trabajo en equipo.
- 2.-Comunicación permanente.
- 3.-Eficiente uso de recursos.
- 4.-Mejoramiento continuo (*kaizen*).
- 5.-Constructabilidad.
- 6.-Mejoramiento de la productividad apoyándose en la Ingeniería de Métodos como las cartas de balance.
- 7.-Reducción de los trabajos no contributivos (tiempos muertos), aumento del trabajo productivo y un manejo racional de los trabajos contributivos.
- 8.-Utilización del diagrama causa-efecto de Ishikawa (espina de pescado).
- 9.-Reducción de los costos de equipos, materiales y servicios.
- 10.-Reducción de los costos de construcción.
- 11.-Reducción de la duración de la obra.
- 12.-Las actividades base son críticas y toda holgura es pérdida de costo y tiempo.

3.1.3.-Beneficios de *Lean construction*

El uso de la filosofía *Lean Construction* en una obra de edificación nos ayuda a tener una mayor visualización y control en la programación de la obra. Este sistema ayuda a que el Gerente, Residentes, Jefes de frente; así como a los subcontratistas tengan una visión de conjunto de todo el proceso, ayuda a la identificación temprana de errores y omisiones en los proyectos. Pero sobre todo este sistema busca la mejora continua de los procesos reduciendo la incertidumbre de los trabajos.

Esta filosofía se puede aplicar tanto en grandes como en pequeños proyectos de edificación. Por lo tanto algunos de los beneficios de utilizar la filosofía *Lean Construction* son:

- Mayor calidad en la construcción.
- Mayor satisfacción del cliente.
- Mayor productividad.

- Mayor control de los recursos empleados.
- Mejoramiento de la logística interna de la obra.
- Fomento de la comunicación y del trabajo en equipo entre subcontratistas.
- Cumplimiento de plazos.

3.2.-Aplicación de la filosofía *Lean Construction*

La aplicación de esta filosofía en la construcción se fundamenta en la mejora de aspectos que inciden negativamente sobre la productividad en proyectos de construcción, estos aspectos pueden ser:

- Errores en los diseños y falta de especificaciones.
- Modificaciones a los diseños durante la ejecución del proyecto.
- Falta de supervisión de los trabajadores.
- Agrupamiento de trabajadores en espacios muy reducidos (sobrepoblación en el trabajo).
- Alta rotación de trabajadores.
- Condiciones deficientes de seguridad industrial que generan altas tasas de accidentes.
- Composición inadecuada de cuadrillas de trabajo.
- Distribución inadecuada de los materiales en obra.
- Falta de materiales requeridos.
- Falta de suministro de equipos y herramientas.
- Lotes con condiciones difíciles para su desarrollo.
- Excesivo control de calidad.
- Clima y condiciones adversas en la obra.

Lean ha demostrado en otros sectores que su correcta aplicación permite hacer frente a las nuevas exigencias del mercado.

3.3.-Los *buffers* en la construcción

En la metodología de *Lean Construction* se le denomina *Buffer* a la herramienta del módulo del trabajo estructurado que ayuda a neutralizar los efectos de aquella variabilidad que no es posible de controlar con el *Last Planner System*, el *buffer* opera como amortiguador o colchón que protege a la planificación del proyecto de la incertidumbre y procura hacer que el flujo de trabajo no se detenga, sea más confiable y rápido mientras se genera valor al cliente (Sávez Sueldo, 2016).

Debido a la gran variabilidad de la construcción, los *buffers* son colchones que se planifican, para que ante cualquier eventualidad, este no genere pérdidas (Chávez & De la Cruz, 2014). Se debe tener presente que los *buffers* no protegen cada tarea individualmente, como en el enfoque tradicional de gestión de riesgos, sino que buscan que protejan el proyecto. Los *buffers* se pueden clasificar en tres tipos:

- **Buffer de inventario:** Son aquellos recursos extras que se tienen en el proyecto para asegurar que el flujo no pare, si es que los recursos no se entregan a tiempo.
- **Buffer de tiempo:** Constituye las holguras de tiempo que durante la ejecución de las partidas se puedan utilizar en caso de que se presenten complicaciones o imprevistos y no excederse del plazo que se establezca.
- **Buffer de Capacidad:** Son principalmente partes o partidas no críticas de la obra que se dejan de programar o realizar según el curso normal del proyecto para que se realicen cuando sea necesario un lugar de trabajo, para el personal debido a la falta de frente o para colocar los materiales excedentes.

Para gestionar la incertidumbre en los proyectos de construcción, la gestión del *buffer* se utiliza para contrarrestar los efectos de la variabilidad, proporciona una

visión clara del impacto acumulativo del riesgo en el proyecto. Los *buffers* absorben perturbaciones y problemas, con la finalidad de aprovechar los tiempos muertos y las actividades de flujo, logrando de esta manera una planificación más realista respecto a la ejecutada (Guzmán Tejeda, 2014).

3.4.- Principios de *Lean Construction*.

La filosofía *Lean* es una herramienta que nos permitirá invertir mejor los recursos, tener información y poder tomar decisiones antes del inicio de cualquier proceso. Para que *Lean Construction* funcione se requiere del aprendizaje de los principios, conceptos y herramientas que nos ayudaran a lograr con éxito los objetivos que se tengan para el cumplimiento de producto final.

Los principios propuestos por Lauri Koskela son:

1. Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor.
2. Incremento del valor del producto.
3. Reducción de la variabilidad.
4. Reducción del tiempo del ciclo.
5. Simplificación de proceso.
6. Incremento de la flexibilidad de la producción.
7. Transparencia del proceso.
8. Enfoque del control al proceso completo.
9. Mejoramiento continuo del proceso.
10. Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión.
11. Realizar *Benchmarking*.

Uno de los objetivos particulares de este trabajo de investigación es dar a conocer los principios en los que se basa la filosofía *Lean* enfocados a la Industria de la Construcción. A continuación se describe cada uno de los principios de *Lean* propuestos por Lauri Koskela.

1.- Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor.

Las actividades que no agregan valor se denominan Muda⁴. La identificación de estas actividades nos permiten el ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo son actividades, por la que el cliente no está dispuesto a pagar. Algunas de las actividades que no agregan valor en la construcción de una obra de edificación son los tiempos de espera, ya sea por la falta de equipo, herramientas o materiales. En muchas ocasiones la falta de una correcta instrucción, para la realización de un trabajo o los desplazamientos innecesarios debido a la falta de recursos e inadecuada planeación nos pueden generar atrasos significativos afectando principalmente a nuestra programación general de la obra.

2.- Aumentar el Valor del Producto.

Este principio es una característica extra que un producto ofrece con la finalidad de generar mayor valor. Esta actividad podría considerarse como una estrategia para la empresa constructora. Una manera de agregar el valor de los productos en la construcción es en la implementación de nuevas tecnologías o herramientas que permitan gestionar los procesos de una manera eficiente y sencilla, con la finalidad de contribuir al cumplimiento de los requisitos y expectativas del cliente.

Se define como valor agregado del producto a todos aquellos procesos, operaciones o actividades productivas que cambian la forma, ajuste o función del producto para cumplir con las especificaciones del cliente y por ende el cliente esté dispuesto a pagar.

3.- Reducción de la Variabilidad.

La variabilidad son cambios inevitables que modifican el proceso (ya sean pequeños o casi imperceptibles), la complejidad e incertidumbre de un proyecto produce variabilidad en los flujos de producción, por lo cual es importante la

⁴ **Muda:** Se define como muda o desperdicio cualquier actividad en un proceso que consume recursos y que no agrega valor al producto o servicio desde el punto de vista del cliente.

reducción de la variabilidad con el propósito de evitar problemas en la programación del proyectos.

En la construcción de edificaciones, al realizar mediciones de rendimientos de cada proceso, se puede observar la variabilidad que existe en cada uno de estos. Dicha variabilidad puede ser grande o pequeña pero, sin importar su tamaño, generalmente se transfiere a los procesos siguientes aumentando progresivamente y afectando negativamente el cumplimiento de los plazos (Loayza Saravia & Velarde Coloma, 2009).

4.- Reducción del Tiempo del Ciclo.

Este principio se relaciona con la optimización de los tiempos involucrados para la realización de un proceso en obra, estos tiempos pueden variar; ya que los ritmos de trabajo en una obra de edificación pueden ser diferentes uno de otros o que las actividades a realizar sean más complejas, todo dependerá de la magnitud del proyecto; así como de los recursos con los que se cuenten en la obra.

Dentro de la filosofía Lean Construction se pretende comprimir los tiempos en los ciclos estimados para la ejecución de las diferentes actividades; así como de los movimientos necesarios, para la realización de un producto, todo esto con la finalidad de mejorar el sistema de planificación y la logística interna de la obra.

5.- Simplificación de los Procesos

Para la simplificación de procesos en una obra de edificación es necesario tener el conocimiento de las actividades e identificar aquellas prácticas que no generen valor agregado al producto como los desplazamientos innecesarios provocados por recursos insuficientes o por una falta adecuada de una buena planeación del proyecto. La simplificación de los procesos no solo permite tener un mayor avance y una mejor eficiencia, sino que también nos permite reducir los costos y mejorar el margen de la empresa. Una forma de simplificar los procesos es con el uso e

implementación de herramientas y tecnología, con la finalidad de mejorar la productividad en la obra.

6.- Incrementar la Flexibilidad de la Producción.

La flexibilidad productiva es uno de los objetivos prioritarios actuales de la dirección de operaciones, la línea de producción tienen que ser lo suficientemente flexible como para enfrentar la variabilidad. En la construcción una forma de incrementar la flexibilidad es minimizar y sectorizar el proyecto obteniendo pequeños lotes de producción. Un diseño flexible nos permitirá realizar las modificaciones necesarias con el menor esfuerzo posible y con el menor gasto de recursos.

7.- Aumentar la Transparencia del Proceso.

La carencia de transparencia del proceso aumenta la posibilidad de cometer más errores, mientras mayor sea la transparencia de un proceso mayor serán las posibilidades de inspeccionarlo. Aumentar la transparencia facilita a que los encargados del proyecto puedan tomar decisiones de una manera más rápida y descubrir mejores metodologías para la creación de valor. Este principio busca que la transparencia sea un factor importante en todas las etapas del proyecto con el objetivo de que la productividad sean más ágiles y así evitar posibles retazos o contratiempos en las entregas programadas del proyecto.

8.- Enfoque del Control al Proceso Completo.

Este principio tiene como propósito conocer el proceso en su totalidad para hacer posible el reconocimiento de los resultados globales de la empresa y probar soluciones mucho más eficaces. Por ejemplo: supervisar el desempeño de la producción en las diferentes fases de la construcción para evaluar y corregir el desempeño de las actividades y poder asegurar que los objetivos y planes se estén llevando a cabo.

9.- Mejoramiento Continuo del Proceso.

Uno de los principales objetivos de la filosofía *Lean*, es el mejoramiento continuo de los procesos. *Lean* basa este principio en la filosofía japonesa denominada *Kaizen*, el cual tiene la finalidad de identificar las causas de no cumplimiento de las actividades y buscar las posibles soluciones de mejoramiento con el propósito de aplicar estas mejoras en los siguientes procesos o en futuros proyectos.

Tener presente este principio en una obra de edificación nos ayudara a tener una mejor calidad en los procesos, por lo tanto habrá menos fallos y errores, se tendrán mejoras en los costos como en la productividad de la obra.

10.- Balance de Mejoramiento de Flujo con Mejoramiento de Conversión.

Este principio Lean es importante para la eliminación de desperdicios en este caso los desperdicios de tiempo que se generan en cada una de las actividades y procesos constructivos de las diferentes partidas de un proyecto generando gran cantidad de tiempos contributorios y no contributorios. Para poder entender de manera más clara este principio Lean propone los siguientes puntos.

- A mayor complejidad del proceso, mayor es el impacto del mejoramiento del flujo.
- A mayor desperdicio inherente a los procesos de producción, mayor es el provecho en la mejora de flujo en comparación a la mejora de conversión.

En la construcción donde el flujo de los procesos ha sido casi siempre olvidado, el potencial para el mejoramiento del flujo es mayor que el mejoramiento de la conversión, los mejores flujos requieren capacidad de conversión y por lo tanto menor inversión de equipamiento, tener flujos controlados hace más fácil la implementación de nuevas tecnologías de conversión de los procesos y así poder tener variabilidades más pequeñas.

11.- Benchmarking.

Este principio se define como el proceso por el cual se obtiene información útil que ayuda a una organización a mejorar sus procesos. Su objetivo es conseguir la máxima eficacia en el ejercicio de aprender de los mejores, ayudando a la organización a moverse desde donde está hacia dónde quiere llegar. Por ejemplo en una obra de edificación este concepto se puede aplicar cuando se busca utilizar equipamiento de procesos constructivos innovadores utilizados por empresas líderes en el mercado.

n

3.5.- Herramientas *Lean Construction*

Actualmente el enfoque *Lean Construction* ha progresado significativamente en algunos países como, Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Dinamarca, Finlandia, Japón, Brasil, Chile y Perú. Se imparten cursos, se enseña *Lean Construction* en muchas universidades y existen consultoras centrando su actividad en este ámbito. Evidentemente, la filosofía *Lean* es el presente y el futuro. Sin embargo en México esta filosofía aun es poco conocida y aplicada, esto no quiere decir que no existan proyectos de edificación y empresas que hayan utilizado o estén implementado la filosofía *Lean Construction*.

Para poder implementar esta filosofía en México y en especial en la Industria de la Construcción es necesario conocer las herramientas que emplea *Lean Construction*. Estas herramientas permiten visualizar las tareas a realizar de una forma muy sencilla, gracias a esta herramienta de trabajo, todo el equipo puede participar en la planificación detallada del trabajo a corto y medio plazo. Entre las herramientas más importantes y más empleadas son:

- Mapas cadena de valor (VSM).
- Líneas de balance (LDB).
- Sectorización y Tren de actividades.
- Las 5'Ss y Control visual.
- Seis Sigma.

- Metodología 8D.
- Curva de aprendizaje.
- Informe A3.
- Justo a Tiempo (Just in time).
- Last Planner System.
- Mejora continua.

3.5.1.-Mapas Cadena de Valor (VSM)

Los mapas de valor, también conocidos como gráficas del flujo de valor **VSM (Value Stream Map)**. Es una técnica utilizada para representar gráficamente las operaciones de una empresa se representan los procesos necesarios para la transformación de materias primas en producto terminado y el modo en que se transmite la información entre estos procesos, para indicar que cantidad de producto se debe producir o suministrar y cuándo debe empezar a fabricarse o solicitarse a los proveedores internos o externos. De este modo, el mapa de la cadena de valor puede utilizarse como una herramienta de planificación y control de la empresa, o como una herramienta de diagnóstico o de comunicación que facilita la gestión del cambio en la empresa a través de estrategias de mejora continua (González D. , 2013).

Sin embargo en la construcción no se puede elaborar una cadena de valor de todo el proyecto en general debido a su complejidad y al gran número de actividades diferentes que se necesitan para poder ejecutar un proyecto (Ibarra Gómez, 2011). Para el aprovechamiento de esta herramienta en la construcción se ha dividido en 4 grupos diferentes: administrativo, diseño, trabajo en obra y aprovisionamiento.

Para la elaboración de la cadena de valor es necesario identificar las diferentes etapas de las cuales estará conformado el VMS; así como los desperdicios y las actividades que agregan valor al producto final. El objetivo de esta herramienta es localizar las actividades que no agregan valor al proceso, del mismo modo

permiten conocer el tiempo asociado a dichas actividades, para ello es necesario registrar información como:

- Tiempos de ciclo para cada operación del proceso.
- Disponibilidad de cada equipo del proceso.
- Tiempo de cambio de producto en cada operación (alistamiento).
- Inventarios en cada etapa del proceso.
- Conocer la demanda del cliente y cantidad de los pedidos.

3.5.2.-Líneas De Balance (LDB)

Es una técnica de planificación que nos permite mostrar cada actividad a realizar en un proyecto de construcción como una sola línea en vez de una serie de actividades como se haría en un diagrama de barras, resultante de CPM, PDM o PERT. Este método es recomendable para el caso de proyectos repetitivos, ya sea un edificio o varias unidades de vivienda, que requieren el mismo tipo de trabajo a lo largo de todo el proceso de producción (Guzmán Tejeda, 2014).

El objetivo fundamental de un balanceo de línea corresponde a igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones del proceso. Su propósito es balancear la velocidad del avance de todas las actividades involucradas en el proyecto y programarlas, eliminando la interferencia entre ellas. Esta técnica se utiliza principalmente para:

- **Planificación:** establece los plazos del cronograma, las fechas hitos y la ruta crítica.
- **Reprogramación:** Acotar la duración del cronograma de un proyecto en base a una fecha tope.
- **Control:** Para eliminar o reducir las actividades que generan excesos en tiempo y costo, esto es fundamental cuando existen retrasos en el proyecto.

A diferencia de otras herramientas de programación, una gráfica de LDB muestra el ritmo de trabajo al cual deben ser realizadas todas las actividades que conforman el proyecto para concluirlo de acuerdo a lo programado (Loría Arcila, s/f).

3.5.3.-Sectorización y tren de actividades de un proyecto.

Esta es una herramienta que consiste en la división de una actividad. Para poder realizar la sectorización se debe tener definido el método constructivo a utilizar, el metraje de las actividades generales (unidades de m^3 , m^2 , metros lineales), se debe tomar en cuenta que los sectores tengan una cantidad de elementos similares a ejecutar, con la finalidad de que no se produzcan atrasos o un desbalance en la producción de la obra, siempre teniendo cuidado de los criterios constructivos y estructurales que puedan afectar la calidad de la obra.

El objetivo de utilizar la sectorización en la construcción es para dividir el trabajo en partes más manejables, para tener un mejor control y rendimiento de las cuadrillas de trabajo. Una vez realizada la sectorización se tendrá que dar a conocer la información al personal involucrado de forma clara, para la correcta ejecución de los trabajos en obra. Una vez teniendo la sectorización del proyecto se puede utilizar un sistema que nos ayude a tener un mejor control en las cuadrillas de trabajo, esta metodología se denomina tren de actividades, la cual consiste en el movimiento de las cuadrillas de trabajo de acuerdo a su especialización y al proceso constructivo a ejecutar; así cada cuadrilla irá avanzando una tras otra a través de los sectores establecidos en la sectorización del proyecto esto con la finalidad de tener un proceso continuo y ordenado de trabajo.

3.5.4.-Las 5 S's y Control Visual

El método de las 5 S's es una técnica de trabajo ligada a la filosofía de calidad total. El objetivo de esta técnica es eliminar los obstáculos que impidiesen una producción eficiente y a una mejora sustantiva de la higiene y seguridad. Se le denomina estrategia de las 5 S's por que representa acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas (figura 6).



Figura 6. Estrategia de las 5S's. (Fuente: Blanca González Martínez, 2018).

Descripción de las 5 S's

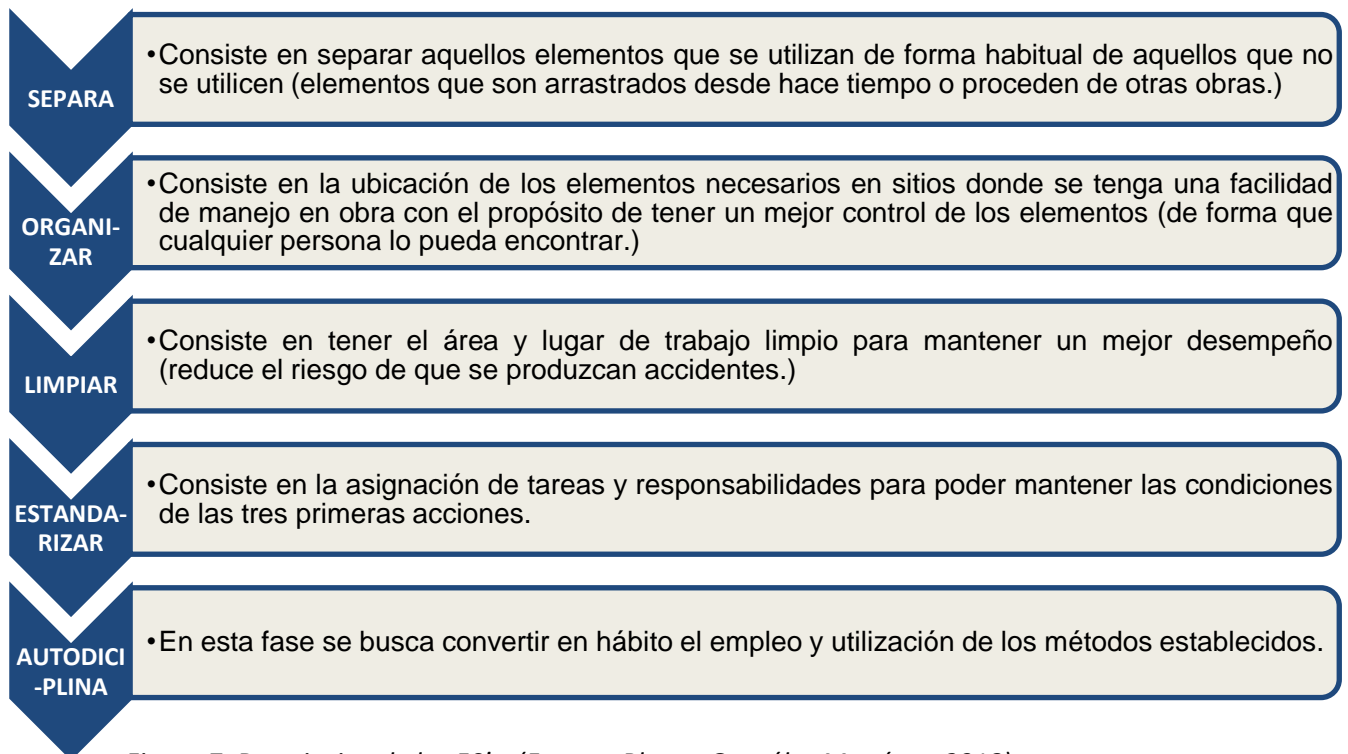


Figura 7. Descripción de las 5S's. (Fuente: Blanca González Martínez, 2018).

Algunas de las ventajas de utilizar esta técnica son: la reducción en la pérdida de materiales, mejora la calidad, seguridad, contribuye a evitar accidentes, optimizar espacios y generar una cultura organizacional. Su vinculación con las técnicas Lean se debe principalmente a la aportación de un mejor control visual del entorno de trabajo. Se trata de un método para conseguir áreas de trabajo organizadas sobre las que pueda establecer un sistemas de gestión visual, característica fundamental de los sistemas Lean (González D. , 2013).

3.5.5.-Seis sigmas

Es una metodología de calidad de clase mundial (iniciada por Motorola en 1986) que se aplicada para ofrecer un mejor producto o servicio de la forma más rápida y al costo más bajo posible. Esta herramienta se utiliza para eliminar los costos de no calidad (desperdicios, reprocesos, etc.). Su objetivo es reducir la variabilidad en un proceso, acortar los tiempos de respuesta a las peticiones de los clientes, mejorar la productividad y acortar los tiempos de ciclo de cualquier tipo de proceso. La metodología *Six Sigma* se basa en cinco fases bien diferenciadas (figura 8).



Figura 8. Metodología six sigma.(Fuente: Blanca González Martínez, 2018).

El éxito de esta metodología depende también en gran medida de las personas que participan en los proyectos de mejora, las cuales deben ser entrenadas. Su entrenamiento está enfocado a darles el conocimiento necesario y la capacidad técnica, para que se puedan lograr las metas de mejora propuestas dentro de los proyectos (Union Europea, 2012).

Esta herramienta no es muy utilizada en la Industria de la Construcción sin embargo sea estado implementado, algunas de las publicaciones e investigaciones sobre esta metodología son descritas por Carlos Almudéver Marí en su investigación llamada "*Implementación de la filosofía six sigma en la construcción*".

3.5.6.-Metodología 8D

8D es una metodología sistemática para identificar, corregir y eliminar problemas. 8D significa 8 Disciplinas, que permiten desarrollar ventajas competitivas al solucionar rápida y efectivamente los problemas, mantener a los clientes, por el buen servicio y la calidad en los productos que se proveen, disminuir la cantidad de problemas dentro de la organización.

Las 8 disciplinas definidas por esta metodología son:

D1: Establecer un grupo para solución del problema.

D2: Crear la descripción del problema.

D3: Desarrollar una solución temporal.

D4: Analizar la causa.

D5: Desarrollar soluciones permanentes.

D6: Implementar y validar soluciones.

D7: Prevenir posibles problemas.

D8: Cerrar el problema y reconocer contribuciones.

Esta metodología es de gran utilidad en la mejora de productos y procesos, establece una práctica estándar basada en hechos. Se concentra en el origen del problema mediante la determinación de la causa raíz.

3.5.7.-Curva de aprendizaje

La curva de aprendizaje es un concepto que se utiliza para medir la rapidez con que una habilidad se puede dominar. Esta es considerada como una herramienta analítica que puede utilizarse para estimar la tasa a la cual la experiencia acumulada permite a los trabajadores hacer las tareas más rápido y al menor costo. En la administración de proyectos se emplean las curvas de aprendizaje para estimar cuántas repeticiones de una tarea permitirá reducir la cantidad de recursos requeridos para una tarea en especial (Grajales, Alonso, Samayoa, & Castellanos, 2014).

Una curva de aprendizaje es una línea que muestra la relación existente (función) entre el tiempo (o costo) de producción por unidad y el número de unidades de producción consecutivas. La curva de aprendizaje es literalmente un registro gráfico de las mejoras que se producen en los costos a medida que los productores ganan experiencia. En la Industria de la Construcción, la aplicación de esta herramienta permite una continua reducción de los costos y mucho más, aún si se trata de su aplicación sobre obras iguales o del mismo tipo, pues en estos casos se puede mejorar de manera continua el aprendizaje a través de su aplicación tanto en la planificación como en la dirección y operatividad de la obra (Lefcovich, 2003).

3.5.8.-Informe A3

El Informe A3 es una herramienta de gestión de toma de decisiones y a la vez es el proceso de resolución de problemas, está fundamentado en el Ciclo de Deming (PDCA). Se denomina A3 porque se recoge en una hoja tamaño A3 y su uso permite desarrollar e implantar dentro de la organización la cultura y filosofía de

mejora continua *Lean*. La estructura de un informe A3 es simple: Se trata de un modelo estándar que se estructura en una serie de apartados. Se lee de arriba abajo, primero la columna de la izquierda y después la de la derecha (figura 9)⁵.

El informe A3 debe contener los siguientes puntos:

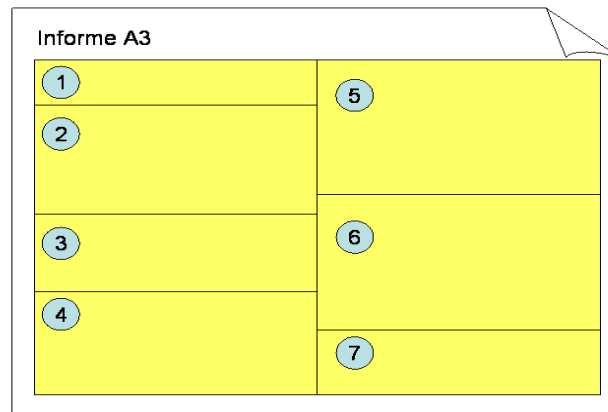


Figura 9. Estructura del Informe A3.

1. Antecedentes.

¿Cuál es el contexto estratégico y operacional para entender el problema?

¿Cuál es el motivo para la elección de este problema?

¿Qué indicador específico necesita ser mejorado?

2. Situación Actual.

¿Dónde estamos?

¿Dónde necesitamos estar?

¿Dónde deseamos estar?

3. El análisis de las causas.

⁵ Fuente: <http://www.leanroots.com/wordpress/2017/10/04/el-informe-a3-de-toyota/>

- Realiza el análisis detallado de los problemas y sus causas empleando la técnica de los 5 Por qué.
- Genera el diagrama causa efecto asociado a ese análisis.
- Pondera los problemas principales.

4. Objetivos de mejora

- Establece los objetivos concretos de mejora que deberán estar alineados con la estrategia operativa de la compañía.

5. Acciones de mejora.

- Involucra a las personas afectadas, recoge sus ideas.
- Desarrolla las posibles medidas a aplicar.
- Genera un consenso sobre cuáles son las mejores soluciones.
- Diseña las medidas específicas a aplicar:
- Documentar una condición de destino.
- Estimar los resultados deseados a nivel cuantitativo.

6. El plan de acción.

- Desarrolla el plan de acción con las contramedidas detalladas, determinando responsables, que se espera obtener con cada medida y la fecha prevista de inicio y fin.
- Determina los indicadores de evaluación de la implantación del evento de mejora.

7. Seguimiento de los resultados.

- Desarrolla el plan de acción tal cual se ha diseñado.
- En la fecha especificada en el plan de seguimiento, mide los resultados de la ejecución y documéntalo.

- Si los resultados obtenidos difieren de los esperados investiga por qué.
- Aplica las contramedidas que permitan obtener los resultados previstos.

3.5.9.-Justo a Tiempo (*JUST IN TIME*)

El método justo a tiempo (traducción del inglés *Just in Time*) es un sistema de organización de la producción que tiene como propósito la excelencia o calidad necesaria en la industria y se basa en la eliminación continua de todo lo que implique desperdicio, es decir todo aquello que no agrega valor al producto. Por lo tanto esta metodología se define como:

Justo a tiempo es una filosofía industrial que consiste en la reducción de desperdicios (actividades que no agregan valor) es decir todo lo que implique subutilización en un sistema, desde la adquisición de materia prima, hasta la entrega del producto final a la siguiente célula de producción (Pérez, 2014).

Los principales objetivos de esta metodología son: atacar las causas de los principales problemas, eliminar despilfarros, buscar la simplicidad y diseñar sistemas para identificar problemas.

El *Just in time* es la filosofía japonesa en la cual se requiere que la producción necesaria sea realizada en la cantidad y tiempo establecido, es decir, variación cero al tiempo programado (no producir ni de más ni de menos). Esta metodología se aplica sobre todo en procesos de fabricación repetitiva e industrializada, la idea general es establecer procesos del flujo ligando centros de trabajo de modo que haya un flujo de materiales uniforme, equilibrado a través de todo el proceso de producción (Cisneros, 2011).

En la Industria de la Construcción esta filosofía se puede utilizar principalmente en el control de procesos constructivos que utilicen elementos prefabricados. De esta

manera, se ha llegado a utilizar estos elementos de manera industrializada con el fin de reducir los tiempos de construcción, transporte, costo de material y mano de obra; así como de reducir la cantidad de desperdicios que se produce o genera durante la construcción de una obra (Pérez, 2014).

3.5.10.-Last Planner System

Last Planner es un sistema de control que mejora sustancialmente el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos de los proyectos de construcción. Fue desarrollado originalmente por Ballard y Howell, fundadores del *Lean Construction Institute*. Actualmente, está siendo utilizado por cientos de constructoras alrededor del mundo. En Latinoamérica especialmente en Chile y Brasil su implementación ha sido exitosa. En Colombia, un grupo de empresas constructoras lo ha implementado recientemente. Gracias a sus resultados, su utilización se ha incluido como un sistema de control imprescindible en los proyectos de construcción (LCE, 2012).

Alan Mosmman define el *Last Planner* como un sistema para la gestión colaborativa de la red de relaciones y conversaciones requeridas para la coordinación de la programación, producción, planificación y ejecución de los proyectos (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

El propósito de esta herramienta es controlar la producción, con la finalidad de mejorar la variabilidad que hay en las obras de construcción y tener una menor incertidumbre de las actividades programadas. Este sistema tiene un enfoque práctico, ayuda a tener una mejor preparación de planes de trabajo y ejecutarlos con un alto grado de fiabilidad. Este sistema define como last planner a la persona que tiene como función asignar el trabajo y transmitirlo a los trabajadores de campo.

Luis F. Alarcón establece tres estados teóricos de planificación que son: lo que se debe hacer, lo que se hará y finalmente lo que se puede hacer en obra y lo representa gráficamente como se muestra en la (figura 10)⁶.



Figura 10. Estados teóricos de planeación .

La herramienta de *Last Planner System* limita a la planeación a corto plazo con la finalidad de asignar trabajos que garanticen una seguridad de que serán cumplidos y a través del cumplimiento de las programaciones cortas se pueda cumplir la programación a largo plazo. Está demostrado que las planeaciones con un horizonte muy grande generalmente no se cumplen y existe desconfianza sobre esta; ya que los trabajos en obra tiende a desviarse de la programación a unos días de haber empezado. Ballard buscaba que este sistema no sea solo una herramienta de programación sino también de control, por lo cual también adjunta un porcentaje para conocer el cumplimiento de las programaciones semanales y medir la eficiencia de la programación (Guzmán Tejeda, 2014).

La implementación de *Last Planner* es muy sencilla pero se requiere de un estricto cumplimiento. Un paso de estricto cumplimiento es el desarrollo de cada uno de los planes, la revisión de las restricciones para su realización. Cada plan debe estudiarse cuidadosamente con el fin de determinar, si existe restricción para su cumplimiento. Cada proyecto tiene restricciones particulares; no obstante, las principales son: Falta de diseños, materiales, mano de obra, equipos y actividades previas sin realizar.

⁶ Fuente <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/last-planner>

Este sistema parte de la tradicional programación maestra de toda la obra, la cual usa como referencia de hitos: luego baja a una programación por fases (lo que **DEBERÍA** hacerse), después abre una ventana de programación de 4 a 6 semanas (analizando lo que realmente se **PUEDE** hacer), denominado Lookahead o programación intermedia, donde se aplica un análisis de restricciones; y finalmente, se pasa a una programación semanal (lo que finalmente se **HARÁ**), la cual será más confiable por haber sido liberada de sus restricciones. Una vez realizados los trabajos (lo que se **HIZO**), los planificadores son retroalimentados con el porcentaje de planificación cumplida y con las razones de no cumplimiento (Orihuela & Ullua, La planificación de las obras y el Last Planner , 2011).

3.5.10.1.-Plan Maestro

La planificación maestra es la programación de todas las actividades necesarias para realizar la construcción de los elementos estructurales, arquitectónicos entre otros que hacen parte del proyecto. La planificación maestra se hace en forma de diagrama de Gantt, estableciendo los tiempos de todas las tareas necesarias para culminar las etapas de construcción en los proyectos (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

El programa maestro debe ser desarrollado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra. Es la secuencia general del proyecto, en todo su plazo con un nivel de detalle adecuado para el control, muestra la viabilidad de los plazos y las fases del proyecto, por lo tanto el plan maestro define las tareas que se **DEBERIAN** hacer e incorpora la planificación de todas y cada una de las actividades del proyecto (Figura 11)⁷.

⁷ Fuente:<http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/last-planner>



Figura 11. Estructura del Last Planner System.

3.5.10.2.-Plan Intermedio

La planificación intermedia es el segundo nivel en la aplicación del *Last Planner System* y consiste en desglosar la programación general para evitar perder tiempo y material; se destacan aquellas actividades que deberían hacerse en un futuro cercano. Aquí se controlan la coordinación de diseño, los proveedores, los recursos humanos y la información, para que las cuadrillas de trabajo cumplan con sus objetivos e obra (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

En este tipo de planificación se usa la técnica del *Pull Planning*. Esta técnica consiste en una planificación colaborativa, transparente y flexible, que ayuda a eliminar la sobreproducción. Esta técnica tiene como finalidad realizar una planificación desde el término de una actividad hacia atrás, con la participación de todos los involucrados en el proyecto. Esta herramienta requiere que los participantes tengan varias reuniones en la etapa de planificación de la obra, de tal forma que los trabajos se encuentren equilibrados y puedan ser repetitivos, la finalidad es poder controlar, ajustar y mejorar cada actividad de tal forma que exista una mayor eficiencia durante la ejecución de los trabajos (Corilla, 2016).

En esta etapa los *last Planners* seleccionan y disgregan las actividades en asignaciones para posteriormente hacer un análisis de restricciones, con el objetivo producir asignaciones liberadas y listas para poder programarse semanalmente. Para el análisis de las restricciones es necesario dividir el proceso en dos partes:

- A. Identificar las restricciones, adelantándose a seleccionar las posibles causas que pudieran causar que una actividad no se realice.
- B. Analizar las estricciones: esto consiste en ver si, se cuenta con la información suficiente; ya que solo pueden avanzar en la semana y entrar a la programación semanal todas aquellas asignaciones que se encuentren listas y sin restricciones.

Es muy importante mantener un grupo de asignaciones como trabajo de reserva, el cual denominado como *Buffer*, con la finalidad de mantener la eficiencia de la producción si las actividades planeadas no se puedan ejecutar o si el personal termina antes de lo previsto (Orihuela & Ullua, La planificación de las obras y el Last Planner , 2011).

3.5.10.3.-Plan Semanal

Es la última fase de planificación del *Last Planner System* y presenta el mayor nivel de detalle antes de la ejecución de los trabajos: esta planeación es realizada por los administradores de la obra, jefes de frente, maestros de obra, cabos y todos aquellos que supervisan directamente la ejecución de la obra. Para la selección de las actividades que se ejecutaran en la programación semanal se debe tener en cuenta la prioridad, la secuencia de los trabajos, si se tiene en campo todos los recursos para la correcta ejecución de las actividades.

Una vez realizada la planeación semanal el *last planner system* mide el cumplimiento de lo programado en el plan mediante el porcentaje de programa cumplido, el cual compara lo que se planteó hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho en obra (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014) El porcentaje de programa cumplido se obtiene calculando:

$$PAC = \frac{\text{Número de actividades cumplidas}}{\text{Número de actividades programadas}} \times 100\%$$

Se recomienda que antes de dar inicio a cada semana de trabajo, se deba realizar una reunión en la que asistan todos los involucrados en la ejecución de los trabajos en obra, con el objetivo de revisar y discutir el porcentaje de programa cumplido de la semana anterior, analizar las causas y posibles soluciones al incumplimiento de las tareas programadas. Algunas de las ventajas que se tiene al utilizar esta herramienta son:

- Aumenta la seguridad de cumplimiento de las actividades programadas,
- Ayuda a estabilizar la producción en obra.
- Reduce los tiempos de espera.

Etapas de planeación Según Last Planner System.

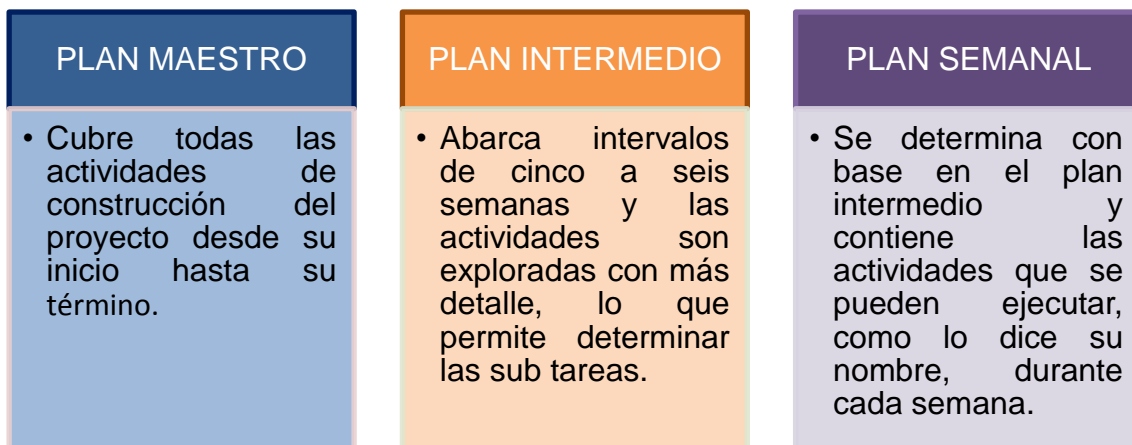


Figura 12. Etapas de planeación Last planner system. (Fuente Blanca González Martínez, 2018).

3.5.11.- Mejora Continua (**Kaizen**)

La metodología *Kaizen* o mejora continua fue desarrollada en Japón. *Kaizen* viene de las palabras japonesas “*Ka*” y “*Zen*”, que hacen referencia a la acción del cambio y la mejora continua. Esta filosofía lo que pretende es tener una mejor calidad y reducción de costos de producción con simples modificaciones diarias. Los fundamentos importantes en la realización de esta filosofía son compromiso y disciplina a todo nivel de la organización.

La administración es la coordinación de todos los recursos a través de los procesos de planeación, dirección, control, a fin de lograr los objetivos establecidos, si logramos mejorar los procesos de estas funciones cada día, la empresa lograría más eficiencia con igual o menores recursos y menores costos.

Los administradores deben comprender y aceptar completamente, que por más que ellos mismos y sus trabajadores piensen que su labor está en el punto más alto de excelencia, siempre existirá una nueva propuesta, un nuevo método, un nuevo proceso, una nueva máquina, una diferente forma de hacer las cosas que puedan hacer ver a esta excelencia como imperfecta, siempre debe haber un mejoramiento continuo para seguir creciendo y desarrollando mejores técnicas de producción. El sistema *kaizen* se enfoca a la simplificación de procesos, conocimiento del comportamiento humano y la mejora de las personas, creatividad aplicada, calidad como primer objetivo y la eliminación de desperdicios (Gallegos, 2007).

Conclusión Capitular

En definitiva los principios de *Lean Construction* así como su objetivo, es buscar la optimización de los desperdicios que se generan durante los procesos de producción, eliminando las actividades que no agregan valor al proyecto así como la variabilidad que se presenta durante su ejecución, con la finalidad de maximizar el valor del producto final.

El beneficio que se tienen por la implementación de esta filosofía en el sector de la edificación es grande y significativa ya que al aplicar las herramientas que engloba Lean de manera correcta traerá consigo mayor productividad, mejor control de los recursos empleados así como de una mejor logística interna de la obra, todo esto con el objetivo de cumplir con los plazos de entrega estipulados en el proyecto.

Las herramientas *Lean* son muchas y cada una de ellas tiene una función diferente durante la ejecución del proyecto sin embargo todas buscan cumplir con el objetivo mencionado anteriormente. Actualmente esta filosofía se está implementado en todo el mundo y cada vez se están sumando nuevas herramientas tales como el *Six Sigma*, que enfoca sus esfuerzos en la reducción de la variabilidad de los procesos.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DE *LEAN CONSTRUCTION* EN LA GERENCIA DE PROYECTOS **(IMPLEMENTACIÓN DE BIM COMO HERRAMIENTA *LEAN*)**

4.1.-Modelos *Lean* en la de ejecución de proyectos

El concepto de **LEAN** (esbelto) y todas sus variantes: *Lean Thinking*, *Lean manufacturing*, *Lean Management*, *ErgoLean*, etc., va más allá de una metodología o de un conjunto de herramientas que se apliquen de forma aislada. Se trata más bien de una filosofía o forma de pensar para la mejora continua. El objetivo de *Lean* no es sólo posicionarse como un modelo puntual de ejecución de tareas y proyectos, la idea es que una vez adoptada la estrategia por la compañía, se convierta en una filosofía corporativa que permita mejorar la eficiencia y la productividad (OBS, 2016).

Los modelos de ejecución de proyectos son diversos y se emplean para facilitar la construcción de edificaciones. La elección del modelo depende del propietario del proyecto y los entes que conocen lo que se ejecutara en la obra. En los Estados Unidos hacia la década de 1980, los expertos e interesados por organizar mejor los proyectos constructivos trataron de que las partes tuvieran objetivos comunes de cooperación en la ejecución de los proyectos, pero sin gran éxito, los intereses personales primaban y se generaban conflictos que perjudicaban al proyecto (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Los proyectos de construcción suelen tener relaciones adversarias entre colaboradores, bajos resultados de productividad, alto grado de ineficiencia y re-trabajo, frecuentes disputas y poca innovación. Como resultado, se tienen proyectos que son muy costosos y que no cumplen con los plazos especificados. Este panorama puede ser visto desde enfoques diversos de solución, empezando por la mejora de la productividad, la tecnología, entre otros. Sin embargo, es

necesario revisar las bases mismas de la relación entre las empresas que forman parte de un proyecto, y a partir de ello, presentar un modo de trabajo colaborativo. (Pila, s/f)

Lean Construction (adaptado del sistema de producción de Toyota) no es solo otro modelo de entrega de proyectos: es una forma de transformar toda su organización en una forma segura y de alta calidad, es un sistema de entrega de proyectos de alto rendimiento. La entrega del proyecto *Lean* depende de la construcción de una confianza profunda en todo el equipo, la confianza no solo sucede sino que debe construirse conscientemente. (UHS, s/f).

Podemos entender mejor la implementación de *Lean Construction* gracias al *Lean Project Delivery System (LPDS)* o *Integrated Project Delivery (IPD)*, ya que son herramientas integradoras que nos ofrecen una visión de conjunto de todas las fases del proyecto desde un punto de vista Lean. (Pons Achell, 2014)

4.2.-Lean Project Delivery System (LPDS)

Lean Construction Institute (LCI) define al (LPDS) o Sistema de Entrega de Proyectos *Lean* como “una implementación organizada de principios y herramientas lean combinadas para permitir a un equipo operar un proyecto”. El LCI desarrollo el *Lean Project delivery system* como una nueva y mejor metodología para desarrollar proyectos de construcción (Guzmán Tejeda, 2014).

El modelo (LPDS) toma las fases importantes de la definición del proyecto y las adecua a la metodología de *Lean Construction*, la cual sugiere que el cliente sostenga conversaciones con los diseñadores e ingenieros para evitar futuros conflictos en el planteamiento de los diseños del proyecto, con la ayuda de las herramientas BIM para comprender mejor la infraestructura del proyecto y corregir posibles errores de diseño (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Lean Project delivery system (Sistema de Entrega de Proyectos *Lean*) se define como un proceso colaborativo para la gestión integral del Proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida. Se logra mediante la creación de un equipo de trabajo

durante todo el proceso para alinear fines, recursos y eliminar restricciones (Fajardo, 2016). Este sistema contempla que todos los proyectos de construcción deben tener 5 etapas: definición del proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio (Figura 13)

Lean Project Delivery System

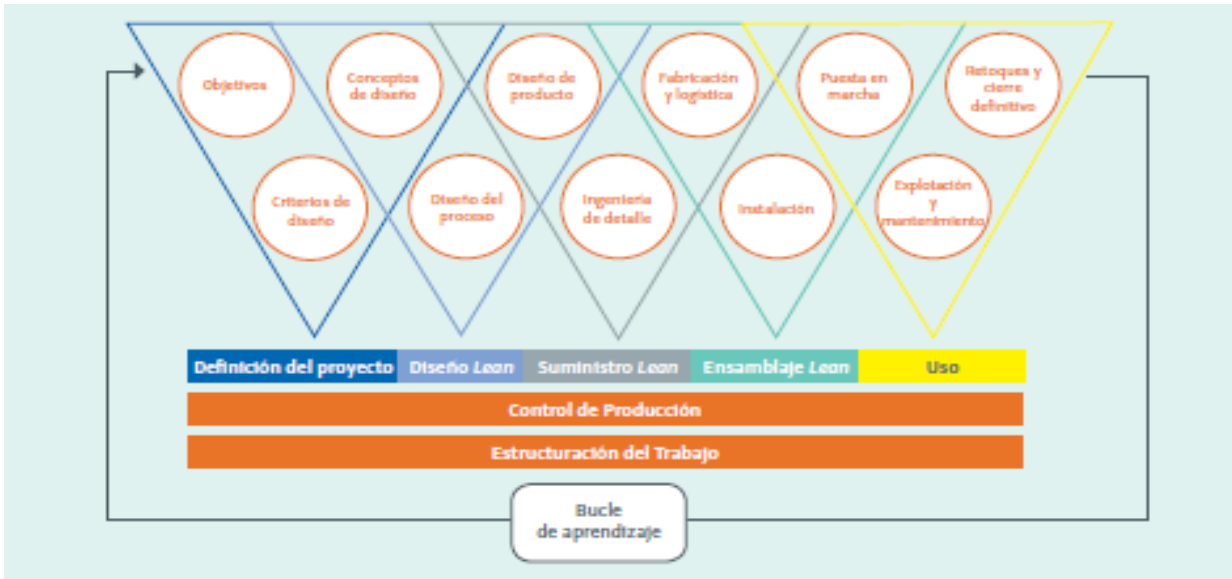


Figura 13. Sistema de entrega de proyectos Lean. (Fuente: (Pons Achell, 2014)).

El *Lean Project Delivery System* es la propuesta que desde hace varios años Lean Construction viene experimentando en proyectos complejos con alta incertidumbre. A continuación se describen cada fase según LPDS:

- **Definición del proyecto:** En esta fase, los colaboradores son clave, se reúne todo el equipo que va a participar en el proyecto: arquitectos, ingenieros y constructores, se trabaja con el dueño o promotor del proyecto para definir los objetivos y el propósito del proyecto y poder así sacar los requisitos específicos del mismo. Esta fase incluye las propuestas y valores del cliente y las partes interesadas el cual cada uno de los elementos de esta fase puede influir uno sobre el otro, por lo que se hace necesario un

encuentro o reunión entre los diferentes actores para alcanzar una mejor comprensión de los objetivos y valores que motivan a cada uno.

- **Fase de diseño:** El equipo crea múltiples alternativas basadas en requisitos y solicitudes de diseño, las limitantes del proyecto, costo y objetivos definidos en la fase previa de definición del proyecto. El objetivo de esta fase, es encontrar la alternativa de diseño que mejor cumpla con los propósitos del propietario y entregarle el máximo valor al cliente. En esta fase, el diseño se completa con el desarrollo del programa maestro y el diseño de procesos. En este punto el propietario puede revidar los modelos físicos o virtuales del proyecto para eliminar los errores, realizar modificaciones etc.,
- **Fase de suministro:** Consiste en la ingeniería de detalle, fabricación y entrega, lo que requiere como prerrequisito indispensable el diseño del producto y del proceso, para que el sisme conozca con detalle lo que debe producir y cuando entregar esos componentes. Para facilitar la entrega, se crean planes de la cadena de suministro de materiales a la obra y se denomina *Just in Time* (Justo a tiempo). Esto significa el suministro de solo los materiales necesarios en el tiempo requerido y en la cantidad necesaria para ejecutar la obra.
- **Fase de montaje o ejecución:** Se inicia con la entrega de información, materiales, mano de obra, herramientas entre otros componentes del proyecto necesarios para la ejecución de la obra. Esta fase se termina cuando se ha entregado la construcción o se ha puesto en funcionamiento el proyecto. En cuanto a los encargados de esta fase de ejecución (jefes de obra, encargados, etc.,) deben de conocer de qué se trata esta filosofía de producción ejerciendo un papel de líderes y guías, más que de jefes. Además deben de saber y conocer las herramientas y técnicas de los nuevos modelos productivos, fomentar el trabajo en equipo, participar de

manera proactiva en la mejora continua de la empresa y los procesos y tener la habilidad para resolver problemas y conflictos de la manera más eficiente y en el menor tiempo.

- **Fase de uso y mantenimiento:** La culminación del proyecto se da cuando se cumple con las especificaciones iniciales pactadas por el cliente y el constructor y una vez entregado al cliente, este es aprobado a entera satisfacción. Esta fase termina con el cierre de la obra, y en su defecto el mantenimiento o explotación de las instalaciones si es el caso y fue lo que el cliente solicito desde su inicio (Fajardo, 2016).

Las ventajas de utilizar este sistema son que sus objetivos están basados en la transformación, flujo continuo y generación de valor, se focaliza en el sistema de producción, todas las etapas del ciclo de vida del producto se tienen en cuenta en la fase de diseño.

4.3.-*Integrated Project Delivery (IPD)*

Entrega Integrada del Proyecto en ingles *Integrated Project Delivery (IPD)* es una evolución del (LPDS) que además incorpora los diferentes niveles de colaboración y modelos de contrato entre múltiples partes. La gestión y ejecución del proyecto o (IPD) es un enfoque de la ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha colaborativamente el talento y los puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el cliente, reducir el desperdicio y maximizar la eficiencia en todas las fases de diseño, fabricación y construcción (Pons Achell, 2014).

La clave para el éxito de *Integrated Project Delivery (IPD)* es la colaboración, el compromiso y la capacidad de trabajar de forma eficiente en equipo por parte de los colaboradores (Figura 15). Mediante la implementación del (IPD), los miembros del equipo trabajan juntos y están comunicados durante todo el proceso de diseño

y construcción. El (IPD) tiene como finalidad eliminar los impedimentos y estimular la comunicación, crear la colaboración y creatividad, alinear a los participantes en objetivos bien definidos y entendidos, motivar y recompensar el comportamientos que incremente el valor del proyecto (Pila, s/f).



Figura 14. Actores sociales que integran el IPD. Fuente: (Pons Achell, 2014).

Con base en las especialidades de cada uno de los miembros del equipo de trabajo, el (IPD) busca conseguir sus objetivos ya que la especialización es una forma de dominar un área de trabajo en donde se consiguen diferentes ventajas como una mayor organización y capacidad de trabajo, eficiencia y perfección de habilidades en el cual se tendrá un éxito compartido (Fajardo, 2016).

El (IPD) se utiliza generalmente en grandes proyectos de inversión, uno de sus propósitos es obtener resultados más efectivos, desarrollar los proyectos en un plazo de tiempo más acotado, con un menor costo de inversión y con una disminución de posibles conflictos en el ciclo de vida del proyecto (Vio, 2017). De acuerdo a lo mencionado, el modelo (IPD) busca establecer ciertos principios que se espera sean llevados a la práctica a lo largo de todo el proyecto y son:

- Organización y liderazgo.
- Respeto mutuo y confianza.
- Beneficio mutuo y recompensas.
- Innovación y toma de decisiones.
- Inclusión de participantes claves en fases iniciales de proyecto.
- Definición de objetivos lo antes posible.
- Énfasis en la planificación del proyecto.
- Comunicaciones abiertas.
- Sustentos tecnológicos.

La gran diferencia de los proyectos (IPD) con el resto de los proyectos gestionados con metodologías tradicionales radica en la colaboración eficaz entre los interesados que se vinculan desde el inicio del diseño y continúan a través del proceso de ejecución hasta la entrega del producto con la misma dinámica (Fajardo, 2016). Para la ejecución del proyecto (IPD) propone una microestructura compuesta por el diseño del trabajo, del equipo y de la información.

- **Diseño del trabajo:** El (IPD) utiliza herramientas Lean para llevar a cabo esta etapa, herramientas como el análisis A3, gestión visual, last planner system entre otras con el propósito de lograr la efectividad del trabajo.
- **Diseño del equipo:** Dado que la mayor parte de las veces el trabajo con el (IPD) se hace en equipos, es preciso encontrar a las personas adecuadas para el trabajo colaborativo. De esta manera, el (IPD) busca para proyectos grandes y complejos equipos interdisciplinarios que sean capaces de resolver situaciones por su cuenta, de innovar, aprender y crear valor.
- **Diseño de la información:** El manejo apropiado de la información genera mejor comprensión del proyecto y posibilita la toma rápida y óptima de decisiones. Por ello, es necesario desarrollar 4 áreas principales para la gestión de la información (Pila, s/f). Estas áreas son: flujo de la

comunicación, infraestructura de la comunicación, BIM, modelación financiera.

El (IPD), por tanto, es una plataforma completa, una estructura que permite integrar de modo directo a los especialistas de cada proyecto; en este sentido, los alinea, optimiza y hermana en una mini sociedad que trabaja unida por el éxito común. La ganancia, en esta línea, está determinada por la confianza absoluta que el sistema ofrece: el *Integrated Project Delivery* es la base perfecta de aplicación del *Lean Construction* y del BIM (Pila, s/f).

4.4.- Target Value Design (TVD)

El *Target Costing* (TC) es una herramienta de gestión que permite ordenar, adecuar y ensamblar las actividades de la organización y sus consecuentes costos para lograr un nivel de utilidad acorde con los objetivos fijados por la dirección, entender el TC es un paso importante en el entendimiento del *Target Value Design* (diseño del valor objetivo) ya que el TVD se origina a partir de la adaptación del TC a la construcción (Orihuela, Orihuela, & Pacheco, 2015).

El TVD es definido por Ballard como una práctica de gestión cuyo objetivo es generar el máximo valor bajo un costo objetivo fijado por debajo del precio del mercado y a la vez un método de mejora continua y reducción de desperdicios (Orihuela, Orihuela, & Pacheco, 2015)

El objetivo del TVD es ayudar a agregar valor, lo cual es muy factible de hacer especialmente durante la fase de la definición del proyecto y la fase de diseño. (Macomber & Barberio, 2007). Proponen nueve prácticas fundamentales para ofrecer un valor sorprendente al cliente utilizando el TVD los cuales son:

- Comprometerse profundamente con el cliente para establecer el valor objetivo.
- Liderar el esfuerzo de diseño para el aprendizaje y la innovación.

- Diseñar a una estimación detallada.
- Planifique y vuelva a planear el proyecto en colaboración.
- Al mismo tiempo, diseñe el producto y el proceso en conjuntos de diseño.
- Diseño y detalle en la secuencia del cliente que lo usará.
- Trabaja en grupos pequeños y diversos.
- Trabaja en una habitación grande.
- Llevar a cabo retrospectivas durante todo el proceso

La filosofía *Lean Construction* tiene como uno de sus principales objetivos la generación de valor para todos los involucrados en un proyecto de construcción, esta generación de valor se puede dar reduciendo el costo de los productos o servicios se entregan y mejorar la función o la satisfacción de los involucrados. El *Target Value Design* (TVD) es una herramienta *Lean* que ayuda a que el diseño cumpla con tan importante propósito.

4.5.-BIM como herramienta de *Lean Construction*

BIM consiste en la gestión completa del ciclo de vida de un proyecto en todas sus partes mediante el uso de un software y base de datos específicos, con información paramétrica de cada uno de los elementos y componentes que conforman el proyecto. Es una plataforma tecnológica que integra arquitectura, ingeniería y construcción (Figura 16). Los beneficios que se han obtenido en los proyectos que han aplicado BIM son bastante significativos (Fajardo, 2016).

Los sistemas BIM (*Building Information Modeling*) o modelado de información del edificio, tiene cada vez mayor peso en la gestión integral del proyecto. BIM sirve como fuente de conocimiento compartido para obtener información sobre el un edificio o instalación, que forma una base fiable para tomar decisiones durante el ciclo de vida desde el inicio en adelante (Pons Achell, 2014).

Es una tecnología innovadora la cual facilita la comunicación entre todos los actores de proyecto permitiéndoles crear y realizar información coordinada y coherente, permite tener una visualización de los diseños en su contexto, analizar el comportamiento estructural en situaciones reales y toma de decisiones sobre el diseño en la fase más temprana del proceso, lo que evita los reprocesos en la construcción, disminuye costos e interferencias entre los sistemas constructivos (Fajardo, 2016).



Figura 15. Elementos BIM. Fuente: (Pons Achell, 2014).

BIM es también una herramienta y un proceso que aumenta la productividad y precisión en el diseño y construcción de edificaciones. Esta herramienta es vista como un enfoque emergente que ayudara a la Industria de la Construcción en la obtención de los objetivos de *Lean Construction*, eliminación de perdidas, mejora de la productividad de los equipos de trabajo y resultados positivos para el proyecto. Un ejemplo de los principios de *Lean Construction* que se ve afectado por el Bim es la variabilidad de los tiempos de ejecución, con la filosofía *Lean* el objetivo es reducirlos y el BIM ayuda con las funcionalidades de visualización de formas y rápida generación de diseños alternativos (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

La Filosofía *Lean Construction* propone la formación de equipos multidisciplinarios de diseño que concurren en el momento de la toma de decisiones de los productos en cuestión. La Constructabilidad se vuelve un elemento importante en esta etapa, pues los constructores pueden incorporarse a estos equipos y añadir al diseño del producto, el diseño del proceso de construcción. De esta manera, se evitará en etapas futuras problemas por cambios o modificaciones que limiten el flujo continuo de las actividades (Murguía, 2014).

Además de pensar en el costo de implementar estas tecnologías, se debe pensar en el costo que la industria está incurriendo por no implementarlas, y el valor que se está dejando de otorgar al cliente. Es fundamental tener una real comprensión de los procesos de producción para que la sinergia⁸ *Lean Construction & BIM*, genere mejoras reales en la Industria de la Construcción (Murguía, 2014)

¿Por qué implementar *Lean* y BIM?

Es bien sabido que la Industria de la Construcción es más receptiva a las soluciones prácticas comprobadas, más que a los conceptos. Incluso con su corto período de tiempo en la implementación, han surgido beneficios significativos de los proyectos que utilizan en colaboración *Lean / BIM* (Dave, Koskela, Kiviniemi, Tzortzopoulos, & Owen, 2013). En el artículo *Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM*, se exponen los principales beneficios en la implementación de estas dos herramientas utilizadas en el proyecto Sutter Health Castro Valley (Hospital ubicado en California, EE.UU) y los resultados obtenidos fueron:

- Sobrecosto del 0% (después de la finalización del diseño).
- Fecha prevista de finalización seis semanas antes.

⁸ **Sinergia:** procede de un vocablo griego que significa “**cooperación**”. El concepto es utilizado para nombrar a la acción de dos o más causas que generan un efecto superior al que se conseguiría con la suma de los efectos individuales.

- Re-trabajo un promedio de 15 por ciento (en comparación con el punto de referencia de experiencia similar con California).
- casi no compromete el programa espacial del propietario.

En todo el mundo la Industria de la Construcción está atravesando importantes transformaciones, siendo la gestión de la producción una de estas transformaciones. La evolución hacia nuevas tecnologías, que soporten entornos de trabajo más colaborativos, pasa a ser un importante diferencial en la generación de valor (Badano, 2016).

4.5.1.- Características BIM

Las características de BIM más representativas descritas por la Arq. Carla Monfort Pitarch en su investigación *“Impacto del BIM en la gestión del proyectos y la obra de arquitectura”* son:

- Contenedor Único.
- Diseño Paramétrico.
- Interoperatividad.

Contenedor Único: Es un modelo único en 3D accesible a todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo que incorpora toda la información relativa al proyecto, que queda almacenada en una única base de datos, pudiendo ser modificada y consultada en cualquier momento.

Diseño Paramétrico: Para que el modelo se controlable y rápido, los elementos se definen como objetos paramétricos cuyas características vienen preestablecidos. Gracias a esto, al hacer cualquier modificación en el modelo, automáticamente todas las vistas se actualizan eliminando posibles incoherencias.

Interoperatividad: La interoperabilidad se define como la capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y usar la información que se ha intercambiado.

Ventajas de BIM en las edificaciones

Algunas de las ventajas principales en la implementación de BIM son la reducción de la pérdida de tiempo y recurso, así como la facilidad de comprensión gracias a la visualización en 3D. Esta tecnología genera un modelo de información del edificio el cual engloba relaciones espaciales como su geometría, características y cantidades de los componentes. Otras de sus ventajas son: la rápida ejecución de proyectos, reducción de riesgos y mayor transparencia de los procesos.

4.6.- Aplicación BIM en México

La metodología BIM ofrece una manera más organizada de colaboración durante las distintas etapas de un proyecto, también ayuda a tener una mejor comunicación con los involucrados en el mismo. Por lo tanto, los resultados de su implementación generan mayor transparencia y precisión en los costos y tiempos de los proyectos.

Algunos de los países que han implementado esta metodología y que cuentan con una mayor calidad en su infraestructura son: Hong Kong, Singapur, Holanda, Emiratos Árabes, Japón, Suiza, Alemania, Francia, Inglaterra, España y Estados Unidos. Si comparamos BIM en estos países con el estado de BIM en Latinoamérica y México en específico, aún existe una brecha de desarrollo e implementación de esta metodología. Entre más rápido nos adaptemos a los cambios en la industria y tomemos liderazgo en las mejores prácticas, la construcción en México tendrá los beneficios en rentabilidad y sustentabilidad (Fong, 2017).

Para el Arquitecto Eddy Slim la implementación y conocimiento de BIM no es nada nuevo, pues en México hoy en día ya es una metodología probada y

aprobada por las compañías constructoras debido a que estas empresas saben por qué la necesitan, para qué la necesitan y cuáles son sus ventajas. Afirma que “México creció rápidamente en la implementación del proceso BIM y el siguiente paso es la estandarización del mismo a nivel nacional. Una de las desventajas de BIM localmente, es que existen muchas empresas en el mercado que no tienen el conocimiento completo de cómo implementar BIM” (Erika, 2017).

Hoy en día en México se han desarrollado proyectos con el apoyo de esta metodología y cada vez más clientes están solicitando que sus proyectos se realicen en base a modelos digitales por ejemplo: el nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México (figura 16). Así como otros proyectos de edificación. En el ámbito académico se está introduciendo BIM como materia obligatoria en las Universidades como el Tecnológico de Monterrey, Universidad Iberoamericana, Universidad La Salle, UNAM y las Universidades Autónomas de Yucatán, Chihuahua y Nuevo León.

Actualmente la Fundación de la Industria de la Construcción (FIC) está coordinando trabajos a fin de tener una norma **NMXBIM**, la primera en Latinoamérica y dio origen al grupo interdisciplinario Bim Fórum México, un grupo de trabajo que integra los principales grupos del sector construcción a fin de desarrollar una industria más competitiva (Revista ENLACE Arquitectura, 2017)



A) Edificio chapultepec



B) Nuevo Aeropuerto CDMX

Figura 16. Edificaciones en México a base de BIM. Fuente: (<http://www.aeropuerto.gob.mx/>)

4.6.1.-Bim Fórum México

Bim Fórum México es un grupo de trabajo, integrado por los diferentes grupos de interés que integran la Industria de la Construcción y que desean acelerar el proceso de la adopción de BIM (*Building Information Modeling*), este grupo fue creado por la Fundación de la Industria de la Construcción el 26 de marzo del 2014. Algunos de sus participantes son:

- CIMC/FIC
- ICA BIM
- Grupo Paramétrico
- Rizoma
- IMCYC
- Facultad de Ingeniería UNAM
- Lend Lease
- Autodesk
- IMSS
- Instituto de Ingeniería UNAM.
- IC

4.6.2.-Estándares y Normatividad de BIM en México

En 2014 se realizó el 1er Congreso Latinoamericano de BIM, en Santiago Chile, evento que tuvo su segunda versión en 2015. Asimismo, durante la LXXIV reunión del Consejo Directivo de la FIIC (Federación Interamericana de la Industria de la Construcción), en el cual países como Chile, Brasil y México, expusieron sus experiencias en el uso de la tecnología y los pasos que se están siguiendo para su implementación.

La Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) está trabajando activamente en normativas para el uso del BIM, mientras la Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción ha realizado para sus miembros, en varias oportunidades, su Academia BIM, entre otras iniciativas, entre las que se cuenta también la publicación del libro 10 razones para evolucionar con BIM. Chile, por su parte, de mano de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (perteneciente a la Cámara Chilena de la Construcción) estaría trabajando en la Librería Nacional BIM, que

pretende generar un estándar para la creación de objetos BIM en Chile, los que serán publicados en una vitrina online, gratuita y de libre acceso, permitiendo mejorar la productividad de toda la cadena de valor de la industria de la construcción.

México, en tanto, también está trabajando en su primera Norma BIM. La cual se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 12 de Julio del 2017 hizo una declaratoria de la Norma Mexicana clave: NMX-X-527-1-ONNCCE-2017 con título Industria de la Construcción- modelado de información de la Construcción- Especificaciones-Parte 1: Plan de ejecución para proyectos. Esta norma Mexicana establece las especificaciones para implementar el modelado de información en proyectos a través de la elaboración y seguimiento de un plan de ejecución. (Carrillo, 2017).

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción tiene tres instituciones que apoyan a las empresas para la implementación de procesos BIM: el Instituto de Capacitación de la Industria de la Construcción (que capacita en el uso de software BIM), el Instituto Tecnológico de la Construcción (que ya va en la novena generación de su diplomado BIM) y la Fundación de la Industria de la Construcción, dedicada principalmente a niveles directivos y gerenciales.

De acuerdo al análisis de Arcadis, estas son algunas de las recomendaciones para el desarrollo de estrategia del BIM en México:

- Se debería considerar el uso de normatividad y soluciones preexistentes para acelerar el proceso, posibilitando así un enfoque en el desarrollo de la concienciación y capacidad local.
- Se requiere promocionar la creación y adopción de normatividad similar en una etapa temprana de la puesta en práctica para así garantizar un abordaje consistente de las prácticas de BIM en el país.
- La inversión temprana en normatividad permitirá que México se asegure de obtener los beneficios a largo plazo del BIM y que ocupe una posición líder en la puesta en práctica del BIM en Latinoamérica.

- Establecer una base sólida para la adopción de soluciones de BIM antes de mandar requisitos para el sector público.
- Es necesario instrumentar la adopción de estándares del proceso y de formas consistentes de trabajar como forma de potenciar la productividad, puesto que son un precursor básico para BIM.
- Se debe dar suficiente tiempo primero para que la estrategia del BIM se enfoque inicialmente en las capacidades de los proveedores antes de desarrollar la habilidad del cliente para usar los datos y soluciones del BIM.

Normalización a nivel internacional (ISO)

A falta de una norma como tal en México se toma la normalización del modelo BIM a nivel internacional y esto recae en el subcomité ISO/TC759/SC 13, *Edificaciones y obra civil. Organización de los trabajos de construcción*. El objetivo de este subcomité es principalmente la normalización de BIM para tener el intercambio de información de todo tipo, a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto y entre todos los miembros que participan en el proceso (Carrillo, 2017).

4.6.3.- BIM como herramienta Lean

Gran parte de los sistemas de gestión incorporados en los últimos años, apuntan a la mejora de los procesos de producción, siendo la interacción entre *Lean Construction* y BIM, un espacio de trabajo de vital importancia en la evolución de la industria y sus desafíos. El *Lean Construction* está ampliamente difundido y es utilizado en todo el mundo como un eficaz sistema, que genera procesos de producción más eficientes y mejoras de desempeño (Badano, 2016).

La metodología BIM y la Lean construction van unidas y no se entiende una sin la otra, puesto que ambas persiguen hacer de la construcción un sector mucho más eficiente en todo el mundo. Como se ha mencionado las ventajas de unir estas dos herramientas son muchas entre ellas destacan:

- Transparencia en los procesos de construcción.
- Aumento de la eficiencia de tiempo.
- Detalle mejorado.
- Mayor logística en la obra.
- Diminución de pérdidas.
- Disminución de la variabilidad.
- Prevención de errores constructivos.
- Simplificación de proceso.

Son muchas las ventajas que existen en la utilización de estas dos herramientas. La metodología BIM facilita la pre-construcción virtual de cualquier edificación anticipando la detección de interferencias, colisiones e incoherencias. La utilización de BIM supone un aumento en nuestra productividad y, por tanto, una reducción de costos.

Conclusión Capitular

En el campo de la construcción civil, el *Lean Construction* está fuertemente vinculado a la gestión de calidad y productividad, adoptando procesos y métodos que tienen por objetivo eliminar los desvíos de costo, tiempo y productividad. Sin embargo Lean no solo busca posicionarse como un modelo puntual de ejecución de tareas y proyectos, la idea es que una vez adoptada la estrategia por la compañía, se convierta en una filosofía corporativa que permita mejorar la eficiencia y la productividad de la misma.

Una forma de mejorar la eficiencia y productividad es con la aplicación de las herramientas y técnicas que engloba Lean, apoyándose de la tecnología existente como el sistema BIM (*Building Information Modeling*), la cual facilita la comunicación entre todos los actores de proyecto permitiéndoles crear y realizar información coordinada y coherente.

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO

5.1.-Descripción del proyecto

MITIKAH es un desarrollo integral con un concepto contemporáneo que integra vivienda, comercio, servicios y áreas verdes en un solo espacio al sur de la CDMX. Este proyecto está compuesto de tres componentes principales que son: oficinas, residencias y un centro comercial. Su construcción se inició en el año 2008 y se encuentra ubicado la calle Real de Mayorazgo 130 dentro del pueblo de Xoco en la Delegación Benito Juárez de la CDMX. Colindando directamente con la Colonia Del Valle y la zona cultural de Coyoacán.

Inicialmente el proyecto fue diseñado por los arquitectos César Pelli, Gregorio Vázquez Architecture y Grupo Ingeniería Arquitectura y Asociados (GIA), mientras que los desarrolladores fueron Prudential Financial, Prudential Realstate Investors, sin embargo, el proyecto presentó dificultades y se pausó por algunos años. En el año 2015 el proyecto fue comprado por Fibra Uno (Figura 17)⁹.



Figura 17. Proyecto Mitikah.

⁹ Fuente: <http://bowerbirding.com/torre-mitikah-2>

El proyecto de tesis se centra en el estudio y análisis de la aplicación de las herramientas *Lean Construction* en edificaciones y para ejemplo de esta, se tomara el proyecto del centro comercial Mitikah, en el cual se detallaran las problemáticas de la misma, centrándose principalmente en aquellas actividades que generaron mayor impacto negativo en la productividad.

5.1.1.-Datos del proyecto

- Nombre del proyecto: Centro Comercial Mitikah.
- Ubicación: Entre las calle Real de Mayorazgo #130 y Av. Rio Churubusco de la Colonia Xoco, Delegación Benito Juárez, CDMX (Figura 18)¹⁰.

La empresa contratista tomó el mando del proyecto Mitikah en el año 2016, esta empresa está encargada de la construcción del centro comercial, este proyecto consta de ocho sótanos y cinco niveles todos de estructura de concreto pos-tensado.

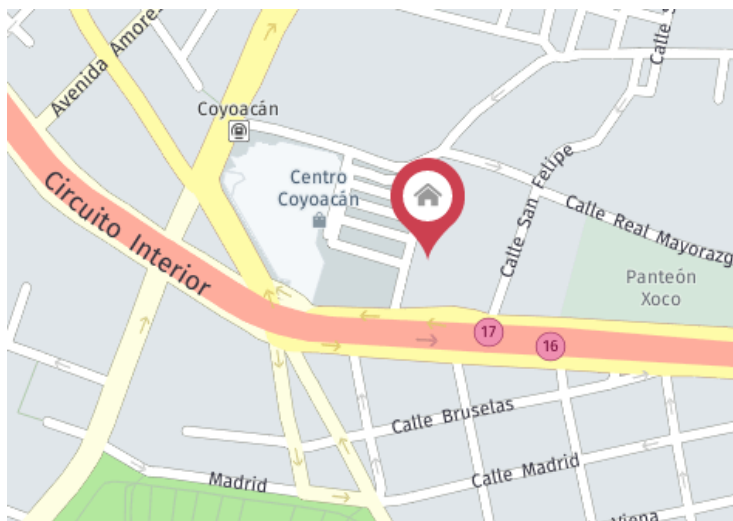


Figura 18. Ubicación del Proyecto Mitikah.

A continuación se detallan las herramientas utilizadas, así como su proceso de desarrollo, implementación y uso en el proyecto.

¹⁰ Fuente: [Ubicacionhttps://www.lamudi.com.mx/mitikah-654099-29.html](https://www.lamudi.com.mx/mitikah-654099-29.html)

ORGANIGRAMA DE OBRA

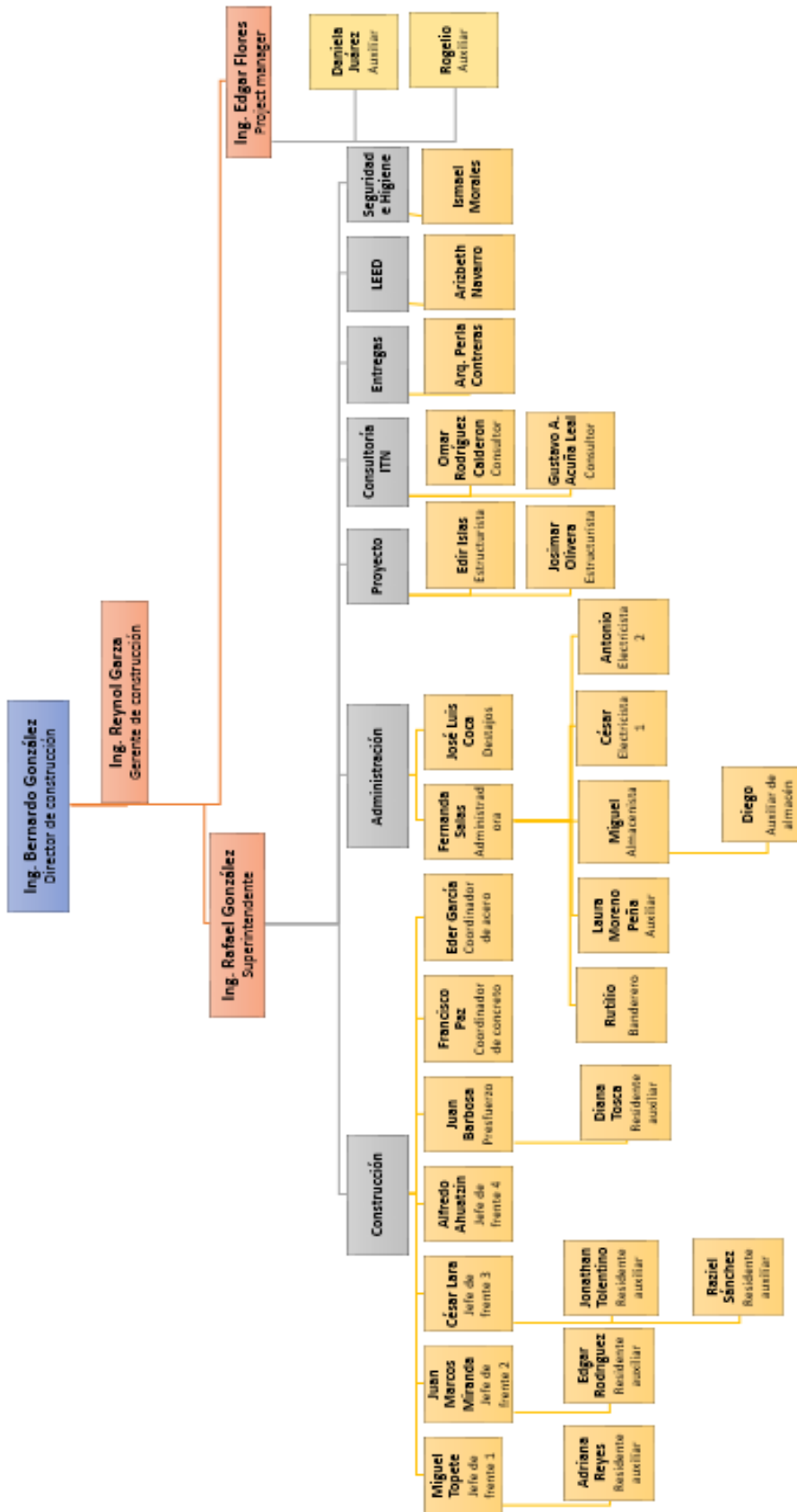


Figura 19. Organigrama de la Obra. (Fuente: ITN México,2018)

5.2.-Herramientas utilizadas en la ejecución del proyecto.

5.2.1.-Sectorización

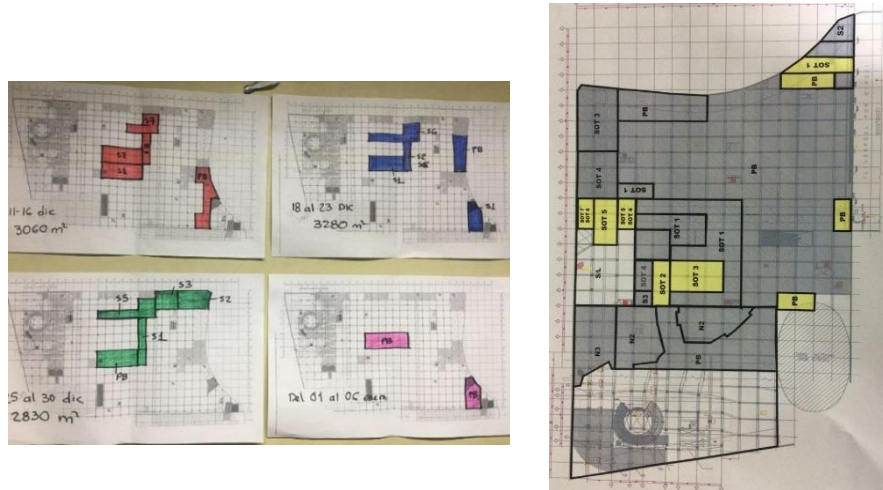


Figura 20. Sectorización del proyecto. (Fuente: ITN México, 2018)

Una de las principales herramientas que se utilizaron fue la sectorización del proyecto, esta herramienta es un proceso de división de una actividad o tarea en proporciones más pequeñas llamadas sectores; En este proyecto se utilizó la sectorización con la finalidad de tener un mejor control, dividir el trabajo en partes más manejables y tener un mayor rendimiento en las cuadrillas de trabajo. Por lo tanto, al sectorizar el trabajo se está optimizando los flujos de recursos en la obra lo que genera un beneficio para todo el sistema de producción.

Una vez dividido el trabajo y teniendo definidos los sectores que se trabajaran durante la semana, se da a conocer la información mediante una junta al inicio de cada semana laboral donde se reúne el gerente de construcción y los jefes de frente con la finalidad de que cada jefe de frente se enfoque al estudio de su sector y poder identificar los posibles problemas o restricciones que pudiesen presentarse en el transcurso de los trabajos y así poder evitar retrasos de los mismos.

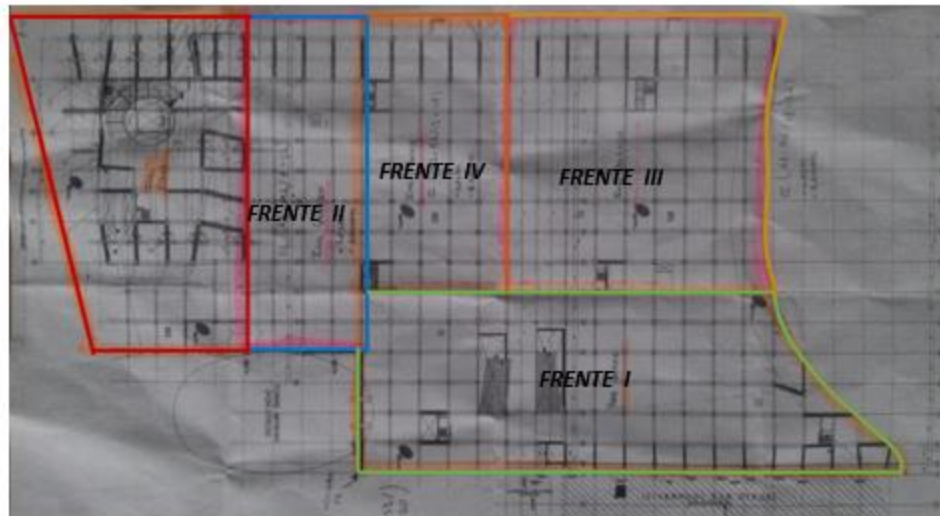


Figura 21. Frentes del proyecto. (Fuente: Fotografía tomada por Blanca González Martínez. 2017)

Cabe señalar que el número de sectores dependerá de la extensión del proyecto y de la cantidad de gente que se espera tener en obra. Dependiendo de estos factores se propone el número de sectores. Además se busca balancear los metrados para que sean lo más parecidos posibles entre si ya que es imposible que en cada sector se obtenga el metrado idéntico a los demás. En este proyecto se inició con 4 sectores por lo tanto se tuvieron cuatro jefes de frente cada uno con un residente de obra y su auxiliar.

Al inicio de los trabajos la empresa contratista contrata a la empresa ITN de México para la implementación de la metodología *Lean Construction*, los cuales son los encargados de apoyar en la organización del personal, planeación, cultura organizacional y ofrecer consultoría para la mejora en procesos constructivos.

5.2.2.-Tren de actividades.

Otra herramienta de apoyo que se utilizó en este proyecto, fue el uso de la metodología denominada tren de actividades, este método consiste en el movimiento de las cuadrillas de trabajo de acuerdo a su especialización y al proceso constructivo a ejecutar. En este caso el producto era la construcción de una losa de concreto post-tensado. Para la elaboración del tren de actividades es necesario conocer el proceso

5.2.3.-Last Planner System.

Como se mencionó en el capítulo tercero el *Last Planners System* es un sistema de control que mejora sustancialmente el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de los recursos de los proyectos de construcción. En este proyecto fue la herramienta que más se utilizó pues desde sus inicios se trató de implementar este sistema por medio de juntas diarias impartidas por los *Last Planners* (personal de ITN), en las cuales tendrían que estar presentes los interesados del proyecto, es decir los Jefes de frente, Residentes, Maestros de obra y Cabos.



Figura 23. Reuniones diarias. (Fuente: ITN México,2018)

Este sistema se basa de la programación general de la obra, de acuerdo al *Last Planner System*, se le denomina programación maestra. El plan semanal se determina con base en el plan intermedio, este plan contiene las actividades que se ejecutarán cada semana. Para que la programación semanal salga como se tiene planeado es importen llevar un registro de las posible restricciones que pudiesen presentarse en la semana a trabajar, en la (tabla 3)¹¹ se muestra un ejemplos de un tabla de restricciones.

Esto con la finalidad de prevenir retrasos en los procesos productivos, evitar pérdidas de tiempo, equipo, materiales y mano de obra. Sin embargo para este proyecto no se llevaba a cabo este registro de las posibles restricciones que pudiesen presentarse y se planeaban sectores que al final terminaban abandonados.

¹¹ Fuente: <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/last-planner>

ACTIVIDADES (SE DEBEN HACER)	DISEÑO	MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPOS	PRE-REQUISITOS	SE PUEDEN HACER
Actividad No. 1	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Actividad No. 2	SI	NO	NO	SI	SI	NO
Actividad No. 3	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Actividad No. 4	SI	SI	NO	SI	NO	NO

Tabla 3. Tabla de restricciones .



Figura 24: Localización de tramos abandonados en obra . (Fuente:ITN México, 2018)

La programación diaria al ser una programación que va de la oficina técnica de la obra al campo tiene que tener características a las anteriores (plan maestro, plan intermedia), ya que se necesita que todos los involucrados en el proceso de construcción entiendan la información que se trata de transmitir, por consiguiente se puede realizar de manera gráfica, separando las actividades para que puedan identificar con facilidad y evitar confusiones al momento de asignar tareas en campo (Guzmán Tejeda, 2014).

Un paso clave en la implementación del *Last Planner system*, es llevar un registro detallado de los problemas que se presentan para cumplir las actividades planeadas. Para esto, se construye semanalmente el indicador de porcentaje de actividades cumplidas.

5.2.4.-Las 5 S's y control visual.

La 5 S's (separar, organizar, limpieza, estandarizar y autodisciplina) es una técnica que se encarga de eliminar los obstáculos que impidiesen una producción eficiente, esta técnica permite tener una mejora sustantiva de la higiene y seguridad de la obra. Esta herramienta va acompañada de la gestión visual que tiene como objetivo facilitar la ubicación así como la identificación de los elementos (materiales, herramientas, etc.) que se utilizarán para la construcción de la obra. Al comienzo de este proyecto se construyó una plataforma en la cual se tenía planeado la colocación de los materiales que se emplearían para la construcción de las losas como se muestra en la (Figura 25). Sin embargo aún que los materiales estaban ubicados en la plataforma no se encontraban identificados.

La falta de clasificación, orden y limpieza ocasiona pérdidas de eficacia y también propicia a tener escenarios en los que se puedan presentarse accidentes.



Figura 25: Falta de orden de materiales en obra . (Fuente:Blanca González , 2017)

De forma básica, la finalidad de las 5S es simplemente reducir el despilfarro, asegurar el rendimiento, mejorar los tiempos de trabajo y mejorar la productividad de la obra, con el objetivo de lograr una mayor calidad del espacio en el que trabajamos. El sistema 5S es fácil de entender y llevar a cabo. Además, debido a la metodología de aplicación toda la organización quedará involucrada en su implantación.

Beneficios de implantar la metodología 5S:

- Involucrar a todos los empleados en una herramienta eficaz y sencilla.
- Ayudar en la eliminación de desperdicios.
- Reducir los riesgos de accidentes.
- Reducir el estrés de los empleados al no tener que hacer tareas frustrantes.
- Mejora de los procesos de comunicación interna.
- Reducir el tiempo de búsqueda de los elementos que se necesitan.
- Suavizar el flujo de trabajo.
- Mejorar nuestra disposición ante el trabajo.
- Proveer un proceso sistemático para la mejora continua.
- Menos movimientos y traslados inútiles.
- Aumentar la fiabilidad de las entregas debido a los retrasos.
- Mejorar nuestra imagen ante los clientes.
- Menor nivel de existencias almacenadas.
- Contribuir a desarrollar buenos hábitos.

Con el avance de la obra, esta técnica se fue implementando, primero se definió una zona donde pudiesen colocarse los materiales de una forma que no bloquearan los espacios de tránsito ni de trabajo, con la finalidad de reducir los movimientos y mejorar la logística interna de la obra.



Figura 26: Ubicación del acero en obra . (Fuente: Blanca González Martínez, 2018)

5.2.5.-Mejora continua (**KAIZEN**)

KAIZEN es un sistema que tiene como objetivo la mejora continua de los trabajos implicando mejoras graduales, esta técnica es considerada como una estrategia para desarrollar una nueva cultura de trabajo que incorpora a toda la organización involucrada en la realización de un proyecto. La mejora continua no es para que se resuelvan algunos problemas por algunos grupos o equipo de mejora, sino para desarrollar el hábito de la mejora en todo el personal.

En este proyecto la mejora continua se trató de implementar con el apoyo de las otras herramientas descritas anteriormente, con la finalidad de aumentar la seguridad de la obra, eliminar los defectos, eliminar el tiempo improductivo y reducir los ciclos operativos. Algunas de las estrategias que se utilizaron para buscar la mejora de los trabajos fue la identificación de restricciones y buscar las causas básicas del problema.

Para hacer posible la mejora continua se necesita de compromiso y disciplina por parte de los involucrados en la realización del proyecto. La utilización de *Kaizen* conduce a la calidad mejorada y a la mayor productividad. La mejora continua es un proceso continuo de análisis de situación para la adopción proactiva de decisiones creativas e innovadoras, tendientes a incrementar de manera consistente la competitividad de la empresa mediante la mejora continua de los productos, servicios y procesos (tanto productivos, como de apoyo y planificación).

El mejoramiento continuo se logra a través de acciones diarias por pequeñas que éstas sean, la velocidad del cambio dependerá del número de acciones de mejoramiento que se realicen día a día y de la efectividad con que éstas se realicen, por lo que es importante que el mejoramiento continuo sea una idea internalizada por completo en la conducta de todos los miembros involucrados. La idea no es utilizar todas estas metodologías, si no implementarlas gradualmente.

5.3.-Principales problemáticas que se presentaron durante el proyecto

Rotación del personal.

La rotación puede definirse como *"el número de trabajadores que salen y vuelven a entrar, en relación con el total de una empresa, sector, nivel jerárquico, departamento o puesto"* (Rubio, 2003) Los principales problemas que se presentaron durante el desarrollo de esta obra, fue que desde sus inicios no se contó con una buena organización, planeación ni control de la misma, ya que a los pocos meses de iniciar con los trabajos el organigrama de la empresa había cambiado alrededor de cinco veces en los seis primeros meses, lo cual refleja un problema no solo de la cultura de la empresa si no en la forma en la cual se toman las decisiones cambiando el organigrama tan continuamente, así como en los frecuentes despidos de personal (De Jesús , 2017).

Según Roberto Estrada, al momento de reemplazar a un colaborador se consideran dos costos directos: la selección y los días de entrenamiento o inducción, así también la salida de alguien en un puesto clave, trae una disminución del costo laboral, finalmente y el último punto a considerar es el nivel de productividad, cuando un colaborador se ha desvinculado y contaba con cierto nivel de experiencia, el reemplazo no tendrá la misma productividad desde el primer día, pues las curvas de aprendizaje pueden ser distintas dependiendo del perfil de la persona y su madurez profesional (Estrada, s/f) Algunas causas de la rotación del personal se debían a la supervisión encargada de los trabajos, al clima laboral, a la falta de comunicación e información.

Disponibilidad de mano de obra.

La mano de obra es uno de los principales componentes en un proceso productivo. Al inicio de los trabajos de esta obra, la empresa contratista contaba con unos 720 trabajadores (carpinteros, fierros, albañiles, tensoristas), sin embargo no se llevaba a cabo un registro formal del total de los trabajadores que realmente estuviesen en la obra, esta información era proporcionada a la administración por cada uno de los maestros, lo que trajo como consecuencia un incremento en el presupuesto (Se pagaba más de lo que realmente se producía), aunque se les asignaba una credencial a cada trabajador en ocasiones muchos trabajadores entraban a la obra con identificaciones falsas o prestadas, incluso se presentaron ocasiones donde la gente que se tenía disponible para la obra de centro comercial era movida a otras obras de la misma empresa contratista afectando significativamente el avance de la obra.

Una de las medidas que se llevaron a cabo para el mejoramiento del control de la mano de obra fue que la empresa ITN apoyara con el registro diario de la gente que realmente estaba en la obra y que la información fuera comparada con la que los maestros presentaban ante la administración (Figura 27).

CATEGORÍA	PRESENTE	AUSENTE	TOTAL	OTRO	
MAESTRO	76	-	76	14	90
ALBAÑIL	105	-	105	15	120
MAESTRO	20	-	20	10	30
ALBAÑIL	16	-	16	7	23
ALBAÑIL	6	-	6	-	6
ALBAÑIL	6	-	6	-	6
ALBAÑIL	140	-	140	10	150
ALBAÑIL	50	-	50	-	50
ALBAÑIL	8	-	8	1	9
ALBAÑIL	55	-	55	2	57
ALBAÑIL	14	-	14	6	20
ALBAÑIL	4	-	4	-	4

A) Registro del personal

CATEGORÍA	PRESENTE	AUSENTE	TOTAL	OTRO	
MAESTRO	25	-	25	-	25
ALBAÑIL	61	29	90	4	94
ALBAÑIL	19	1	20	1	21
ALBAÑIL	6	-	6	3	9
ALBAÑIL	4	-	4	-	4
ALBAÑIL	7	-	7	-	7
ALBAÑIL	71	28	99	1	100
ALBAÑIL	34	13	47	12	59
ALBAÑIL	7	-	7	1	8
ALBAÑIL	26	7	33	9	42
ALBAÑIL	10	2	12	-	12
ALBAÑIL	4	-	4	-	4



B) Conteo del personal

Figura 27 (A) Y (B): Registro y Conteo del personal en obra . (Fuente:ITN México, 2018)

Cambios De Diseño Durante La Ejecución De Trabajos

La Fase de Diseño es fundamental para llevar a buen término el proyecto. Desde en el momento en que se concibe la idea de un proyecto de construcción, se han tenido riesgos, los cuales hacen parte del proyecto, estos puedan afectar su alcance, costo y tiempo previsto inicialmente. En muchos casos es posible evitar estos hechos, identificando posibles eventos, valorando su probabilidad e impacto, asignar un responsable y planear métodos de contingencia y tratamiento (Narváez, s/f).

A pesar de que en este proyecto se utilizaron herramientas que ayudaran a controlar la producción de la obra, se presentaron problemas de cambios estructurales y de diseño del proyecto, incluso durante la construcción de los elemento afectando principalmente la productividad y avance de la obra.



*Figura 28. Cambios de diseño en la obra.
Fuente: Blanca Gonzalez Martínez, 2017)*

Re-trabajos

Se considera re-trabajo al trabajo que se hace a causa de no haber realizado el trabajo correctamente la primera vez, también se considera re-trabajo a los cambios continuos que se hacen. Esto obliga a ejecutar actividades innecesariamente más de una vez o bien deshacer un trabajo ya ejecutado. Según lo identifica el Instituto de la Industria de

la Construcción de los EE.UU. (Construction Industry Institute, CII), el re-trabajo es uno de los factores más preponderantes en el aumento de los costos y atrasos de proyectos en construcción (Rojas, s/f).

En la (figura 29) se puede apreciar como el re-trabajo es uno de los problemas que se presentaron durante la ejecución de los procesos constructivos de las losas post-tensadas, algunas de las causas que originaron estos re-trabajos son:

- Falta de comunicación.
- Ausencia de residentes y jefes de frente.
- Cambios del personal (Jefes de frente)
- Disputas entre cuadrillas de trabajo.
- Mala gestión y entrenamiento del personal.

Deficiencia en la Calidad de los trabajos.

Una definición objetiva y universal de calidad, es la de Phill Crosby: “*Calidad es cumplir con los requerimientos o también el grado de satisfacción que ofrecen las características del producto o servicio, en relación con las exigencias del consumidor*” (Peña & Grandoso, 2002). En esta obra de edificación la calidad de los trabajos era deficiente lo que originaba retrasos en la entrega de trabajos perjudicando el avance diario de la obra. En muchas ocasiones la falta de calidad en una edificación se debe a una falta de supervisión por parte de los residentes de frente, a la falta de comprensión de los procesos, falta de capacitación, a la presión en los tiempos de entrega, etc.

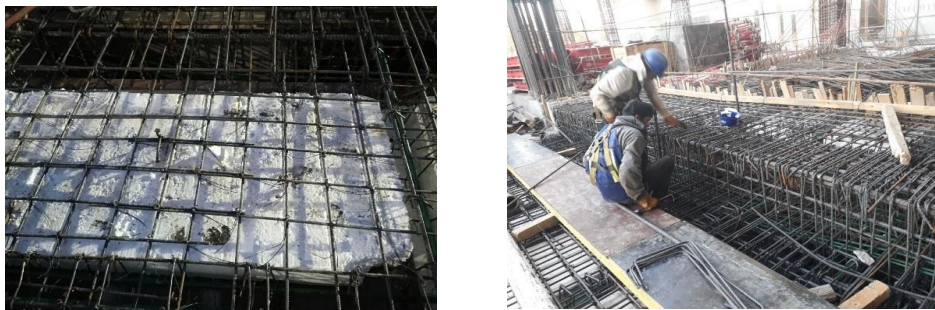


Figura 29. Falta de calidad de los trabajos. Fuente: Blanca Gonzalez Martinez, 2017)

5.4.-Herramientas de apoyo para la ejecución de la obra.

Es importante destacar que para la ejecución de este proyecto, se utilizó maquinaria que ayudo de manera potencial la productividad de la obra. Para el desarrollo de este proyecto se emplearon equipos como: grúas torre, placing boom así como la instalación de una planta de concreto. Estas herramientas permiten ahorrar tiempos, fuerza humana, trabajos desgastantes, facilitan los trayectos de sus cargas ya sea para subir material a cierto nivel o hacer desplazamientos horizontales y agilizan de manera significativa el flujo de los procesos constructivos.



Figura 30. Herramientas de apoyo para incrementar la productividad. (Fuente: Blanca Gonzalez Martinez, 2017)

Grúa torre: Es un equipo que esta creado y destinado para la carga y descarga de diferentes materiales en obras de edificación. Ventajas: agiliza el traslado y acarreo de materiales, minimiza la variabilidad y asegura que el flujo de los procesos no se detenga con la finalidad de reducir los tiempos y costos en el proyecto.

Placing boom: Es un paquete compuesto por una torre auto trepadora, tuberías, bomba y soporte de personal especializado. Ventajas: permite mayor eficiencia y velocidad en los proyectos, minimizando tiempos de llegada, armado y desarmado de tuberías, asegurando la operación.

Planta de concreto en obra: Es una instalación utilizada para la fabricación de concreto. Ventajas: disponibilidad de concreto y aumenta la velocidad de colado.

Sin embargo aún que se contaba con estos equipos, en algunas ocasiones se llegó a tener fallas mecánicas en las grúas, saturación en los tiempos de uso para el traslado de materiales, los placing boom estuvieron detenidos por falta de uso, en ocasiones obstruyeron el avance de la obra por falta de elevación, por tanto, esta falta de atención hacia los equipos origina una afectación negativa en los procesos constructivos afectando principalmente el avance diario de la obra.

5.5.-Informe semanal de productividad.

De acuerdo a la planeación semanal definitiva se determina la producción de cada frente de trabajo (tabla 4). Se muestra un ejemplo del avance de los colados en donde se registra el frente, los días que se tiene planeado colar así como los metros cuadrados planeados y los realmente colados, esto con el objetivo de tener una clara visualización y registro de la producción por frente y sector de trabajo.

FRETE	AVANCE COLADOS (METROS CUADRADOS)													
	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		TOTAL	
	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real
F1 Topete						153			344.25	153			650.25	153
							PB (grúa) ejes 25-28, M1-P1		S1 (triángulo) ejes 28-28, M1-P1	PB (grúa) ejes 25-28, M1-P1	PB (unión Vive) ejes 17-19, B1-			
F2 Ahuatzin									153				153	0
										PB (unión Mitikah) ejes 12-13, M1-P1				
F3 Rafael						321.3				321.3	459		780.3	321.3
							S6 ejes 16-19, B1-C1			S6 ejes 16-19, B1-C1	S5 (ejes 15-19, C1-D1)+ S7 (ejes 17-19, A1-B1)			
													0	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	474.3	0	497.25	474.3	612	0	1583.55	474.3
Acumulado	0	0	0	0	0	0	474.3	0	971.55	474.3	1583.55	474.3	2516.85	795.6

Tabla 4: Avance de colados por frente de trabajo. (Fuente:ITN México,2018)

De acuerdo a lo registrado en la (tabla 4), se puede concluir que solo el frente 2 compuesto por un solo sector fue el que cumplió con los metros cuadrados planeados. Sin embargo los frentes 1 y 3 no cumplieron con los metros cuadrados planeados en la semana. El frente 1 está compuesto por tres sectores de los cuales se tenía planeado colar un total de 650.25 m² del cual solo se coló 153 m². Para el frente 3 solo se tenía contemplado dos sectores, sumando un total de 780.3 m² pero de los cuales solo se

colaron 321.3 m². Para el final de la semana se tendría un total de 1583.55 m² colados y solo se cumplió con 474.3 m².

Estos resultados demuestran que la productividad está quedando por debajo de lo que realmente se tendría que estar produciendo. En la siguiente (gráfica 1) se aprecia que los días de colado se centran entre jueves, viernes y sábado, esta mala distribución de los días ocasiona saturación de los equipos y falta de tiempo para terminar los colados.

Algunas de las causas de incumplimiento, por la que los otros sectores no se colaron fueron: la poca disponibilidad de fierros, falta de supervisión de los trabajos por parte de los residentes encargados, falta de liberación de elementos por parte de la empresa supervisora, falta de organización de los recursos, falta de información (aprobación de boletines estructurales) y falta de tiempo para llevar a cabo el colado (restricción de horario).



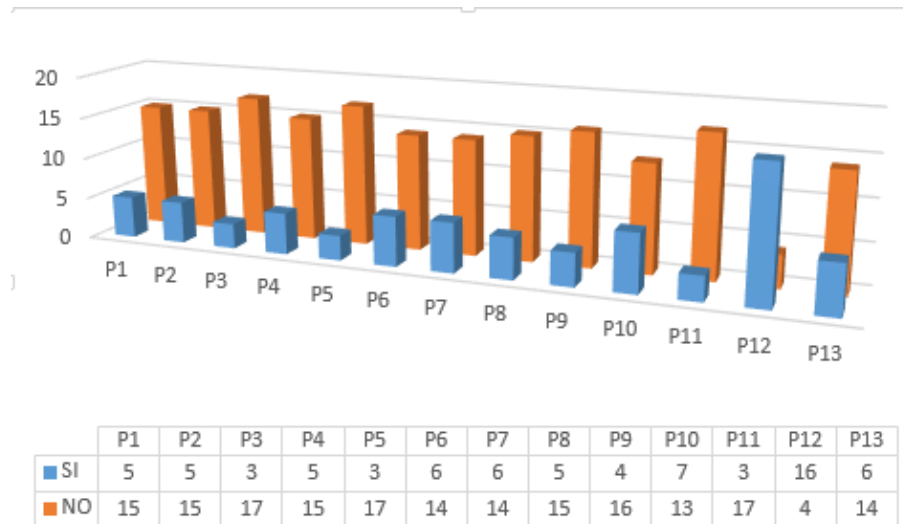
Gráfica 1: Programación de colados. (Fuente:ITN México,2018)

5.6.-Desafíos y barreras para la implementación de *Lean Construction*.

Lean Construction persigue la excelencia a través de un proceso de mejora continua en la empresa, que consiste fundamentalmente en minimizar o eliminar todas aquellas actividades y transacciones que no añaden valor, a través de la optimización de recursos y la maximización de la entrega de valor al cliente, para diseñar y producir a un menor costo, con mayor calidad, más seguridad y con plazos de entrega más cortos. *Lean Construction* trata de alcanzar estos objetivos en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de edificación, contando con todos los agentes sociales que intervienen en el proceso de diseño y construcción, sin dejar a nadie fuera e integrando a todos bajo una meta común según los principios del sistema *Lean* (Pons Achell, 2014).

El cambio de modelo productivo o de sistema de trabajo en una empresa siempre requiere de un gran esfuerzo por parte de todos los involucrados. El proyecto de centro comercial forma parte del desarrollo integral Mitikah, el cual es considerado como uno de los desarrollos inmobiliarios más grandes de Latinoamérica. Implementar la filosofía *Lean construcción* fue un gran reto y un desafío. Una de las desventajas que se tiene en México es la falta de conocimiento sobre el significado de *Lean* y sus beneficios así como la falta de formación y de compromiso por parte de propietarios y gerentes.

Para complementar esta investigación se realizó una entrevista a los ingenieros y arquitectos que formaron parte de este proyecto con la finalidad de conocer que tanto es lo que saben de esta filosofía (ver anexo 1). Esta entrevista fue aplicada a 20 personas y los resultados que se obtuvieron son los que se muestran en la (gráfica 2). Como se puede observar la mayoría no conoce muy bien los conceptos, herramientas y principios de la filosofía *Lean Construction* esto ocasiona que su implementación en una obra de edificación se complique y por lo tanto no lleven a cabo dichas herramientas.



Gráfica 2: Resultados obtenidos. (Fuente: Blanca González Martínez, 2017)

En la siguiente (tabla 5) se enlistan los retos y barreras que se presentaron en este proyecto.

Barreras para implementar lean construction	Principales retos para implementar lean construction
Disponer de personas con conocimientos y experiencia en Lean Construction.	Fomentar la educación y formación hacia los nuevos sistemas de producción
Falta de información	Gerencial: falta de liderazgo y compromiso.
Escasa comunicación y falta de colaboración entre promotores y constructores.	Fomentar el trabajo en equipo así como la comunicación entre los involucrados.
Creencia de que Lean absorbe demasiado tiempo.	Impulsar al personal a participar (falta de sistemas de incentivos)
Falta de compromiso de los miembros del equipo rechazos a cambios de actitud.	Resistencia al cambio de los empleados

Tabla 5: Retos y barreras en la implementación Lean. (Fuente: Blanca González Martínez, 2018)

Conclusión Capitular

Mitikah es considerado como uno de los desarrollos más importantes y representativos en México. Actualmente es uno de los proyectos que está implementando la filosofía *Lean Construction* para su ejecución. Desde su comienzo de los trabajos, la empresa contratista encargada de la obra se apoyó de gente especializada en la aplicación de *Lean Construction* y entre las herramientas que se utilizaron están: la sectorización, el tren de actividades, el *Last Planner System*, las 5 S's y la mejora continua.

Implementar esta filosofía fue un reto, ya que a los pocos meses de iniciar con los trabajos el organigrama de la empresa había cambiado alrededor de cinco veces en los seis primeros meses, originando atrasos en los trabajos y afectando principalmente la producción de la obra. Algunas de las barreras para la correcta aplicación de las herramientas *Lean Construction* utilizadas en esta obra es la falta de conocimiento sobre el significado de Lean y sus beneficios así como sus principios que conllevan a la mejora continua de los trabajos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En conclusión la aplicación de las herramientas *Lean* en un proyecto de construcción, en especial de edificaciones, puede traer buenos resultados en el desarrollo del proyecto, tanto en la productividad como en el plazo y costo de la misma. Sin embargo, se deben utilizar estas herramientas de manera constante para que las mejoras se vean reflejadas en el avance del proyecto.

En el ejemplo que se utilizó para esta investigación se emplearon 5 herramientas Lean las cuales fueron: sectorización, tren de actividades, *Last Planner System*, 5S's y *Kaizen*. Estas herramientas son sencillas de aplicar e implementar siempre y cuando los interesados estén dispuestos a romper paradigmas en la forma de administrar la ejecución del proyecto; Aún que para el desarrollo de esta obra se contaba con personal capacitado que apoyaba a los jefes de cada frente, en varias ocasiones no se les tomaba en cuenta; no basta con contar con algunos cuantos que quieran hacer las cosas, el cambio tiene que ser e implantarse en toda la organización ya que Lean es una filosofía de liderazgo, trabajo en equipo que lleva hacia la mejora continua a toda la organización mediante la focalización de las necesidades de los clientes y la mejora de los procesos.

En México no hay mucho conocimiento aun sobre esta filosofía en terreno y se comete el error de enfocarla en una sola herramienta, sin entender el fondo y las transformaciones tanto culturales como los principios que hay detrás. Esta es una de las principales causas para el no sostenimiento de las herramientas, ya que no se confía ni se ven los beneficios por lo que recurren nuevamente a prácticas tradicionales.

En la investigación realizada por la arquitecta Cisneros en 2011 denominada "*Metodología para la reducción de pérdidas en la etapa de ejecución de un proyecto de construcción*" se realizó una entrevista a 54 empresas dedicadas al sector de la construcción enfocadas principalmente a la vivienda multifamiliar en México, de la cual

se determinó que la mayoría de las empresas desconocen el termino Lean Construction, pero que están dispuestas a implementar dichas herramientas.

Respecto a la información teórica existente sobre los objetivos y principios Lean Construction, actualmente existen varios investigadores e instituciones alrededor del mundo así como trabajos de investigación que siguen aportando valiosas ideas en beneficio de la construcción con el objetivo de fomentar el interés de profesionistas involucrados en los procesos de planeación, supervisión y control de obras.

Finalmente y para complemento de esta investigación se realizó una encuesta a los ingenieros y arquitectos que participaron en la ejecución de esta obra, de lo cual se obtuvo que la mayoría de los involucrados desconocen el origen, el objetivo así como los principios que *Lean Construction* difunde, lo cual trajo como consecuencia sobrecostos, baja productividad, desconfianza del personal y atrasos significativos en la entrega del proyecto.

Recomendaciones

Lean Construction es una filosofía que se ha venido implementando en otros países del mundo y México no es la excepción, pues actualmente se están ejecutando trabajos en la construcción con el apoyo de las herramientas que engloba dicha filosofía. Por lo tanto, se recomienda seguir analizando la efectividad de su aplicación, no solo en obras de edificación sino también en obras civiles tales como túneles, vías terrestres, presas entre otros proyectos que se estén ejecutando en la Ciudad de México con la finalidad de conocer el impacto que se tiene en la aplicación de *Lean Construction* en la producción de las mismas.

Otros aspectos importantes que se pueden considerar en investigaciones futuras sobre Lean Construction son:

- Proponer nuevos métodos o herramientas que puedan seguir sumándose a esta filosofía de producción (*Lean Construction*).
- Analizar la efectividad de Bim y *Lean Construction* en México.
- Estudiar las normatividad existente de la implementación de BIM en México, así como la efectividad de su aplicación en obras públicas y privada.
- Comparar la calidad-costo de las obras que se estén rigiendo bajo las herramientas *Lean* y Bim con aquellas que no lo hacen. Con el objetivo de conocer lo sustentable que pueden llegar a ser la unión de estas dos herramientas de producción.

Por último se recomienda a los Gerentes, Ingenieros, Arquitectos y todos aquellos involucrados en la producción y control de obras, hablar y concientizar a los empleados de la importancia y utilidad que tiene la implementación de nuevos métodos de control con el propósito de que ellos (Maestro y cabos) participen y se comprometan con la programación establecida de la obra.

BIBLIOGRAFÍA

- De Jesús , C. (2017). *Rotación de personal en la empresa POSTENSA, líder en estructuras postensadas, ha incrementado los últimos 4 meses en su proyecto Mitikah, Coyoacán, DF.*
- Peña, A., & Grandoso, O. (2002). La calidad en la industria de la construcción. *Construya calidad*, 12-13.
- Abarca, F. (2015). *Optimización de la productividad en proyectos de edificación através de VSM en la partida crítica de moldajes.* Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Alpuche S, R. (2004). Productividad en la construcción. Puebla, Puebla, Mexico.
- Badano, B. (18 de Octubre de 2016). *Lean & BIM - Sinergias.* Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/lean-bim-sinergias-bruno-badano>
- Castro, J., & Pajares, J. (2014). *Propuesta e implementación de sectorización y trenes de trabajo para acabados interiores bajo la filosofía Lean construction en obras de construcción de viviendas.* Lima, Perú: Universidad Peruana de ciencias aplicadas.
- Chávez, J., & De la Cruz, C. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean contrution en una obra de edificación.* Lima: USMP.
- Cisneros, L. (2011). *Metodología para la reducción de pérdidas en la etapa de ejecución de un proyecto de ejecución.* México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Corilla, U. (2016). *Implementación del pull planning para mejorar la confiabilidad de la programación de la etapa de acabados en una oficina de acabados.* Perú: PUCP.
- Corredor Aguilera, G. O. (2009). Lean construction aplicada a proyectos de construcción de edificaciones de vivienda unifamiliar.
- Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Tzortzopoulos, P., & Owen, R. (2013). *Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/280840298_Implementing_lean_in_construction_lean_construction_and_BIM
- Domínguez , A. S. (9 de Enero de 2004). *Programación, Planeación y control de una obra.* Puebla: Universidad de las Américas Puebla.
- Erika. (19 de Diciembre de 2017). *Autodesk Latam.* Obtenido de <http://blogs.autodesk.com/latam/2017/12/19/construbim-uno-de-los-pioneros-de-bim-en-mexico/>
- Esperanza , S., & Martínez, M. (1997). *Planeación, Programación y Control de obras.* Instituto tecnologico de la construcción.

- Estrada, R. (s/f). El costo de la rotacion de personal. *Deloitte*.
- Fagundez , J. (6 de Diciembre de 2015). *Planificación y programación de obras civiles*. Obtenido de <http://jeisonfagundez.blogspot.mx/2015/12/control-de-calidad-de-los-materiales.html>
- Fajardo, M. (2016). *Modelo de integracion diseño-planeacion y construccion sostenible para proyectos inmobiliarios en colombia*. Colombia: AEFIT.
- Fong, C. (14 de Marzo de 2017). *ArquiRED*. Obtenido de <https://www.arquired.com.mx/arq/arquitectura/mandato-bim-esta-mexico-listo-la-nueva-era-informacion-en-la-construccion/>
- Gallegos, H. (2007). *Sistema Kaizen en la administración*. México: UANL.
- Gálvez Huamán, A. (s/f). *Factores de variabilidad en proyectos de construcción en plantas industriales y minería*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- González, D. (julio de 2013). Aplicación de herramientas Lean en la gestion de proyectos de edificación. Valladolid, México: Universidad de valladolid.
- González, V., & Alarcón, L. F. (2003). Buffers de programación: Una estrategia complementaria para reducir la variabiliada en los procesos de construcción. *Ingeniería de construcción*, 1-15.
- Grajales, J., Alonso, F., Samayoa, I., & Castellanos, J. (2014). Las curvas de aprendizaje en los procesos de construcción. Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Guerrero, A. (2007). *Propuesta para el mejoramiento de programación y control para la construcción del Hospital General zona Norte del estado de Puebla 2ª etapa*. Puebla: Universidad de las Américas Puebla.
- Guzmán Tejeda, A. (Noviembre de 2014). Aplicacion de la filosofía Lean Constrution en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos. Lima, Perú: PUCP.
- Ibarra Gómez, L. I. (2011). *Lean Construction*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- LCE. (2012). *LAST PLANNER (EL ÚLTIMO PLANIFICADOR)*. Obtenido de <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/last-planner>
- LeanSis Productividad. (2018). *El líder del siglo XXI es un líder Lean*. Obtenido de <https://www.leansisproductividad.com/el-lider-del-siglo-xxi-es-un-lider-lean/>
- Lefcovich, M. (2003). La mejora continua y el cuadro de mando integral. *Managers*, 2-30.
- Lledó, P., Rivarola, G., Mercau, R., Cucchi, D. H., & Esquembre, J. F. (2006). *Administracion Lean de proyectos*. Argentina: Pearson Educación.

- Loayza Saravia, M. B., & Velarde Coloma, R. (2009). Planificación por procesos en edificación en Lima. Lima, Perú: Univesidad Peruana de ciencias aplicadas.
- Loría Arcila, J. H. (s/f). Programación de obras con la técnica de la línea de balance. México: ai México.
- Macomber, H., & Barberio, J. (2007). Target-Value Design: Nine Foundational Practices for Delivering Surprising Client Value. *Lean Project Consulting*, 1-3.
- Mamany ayma, A. A. (2016). Análisis y evaluación de la productividad en la construcción de una edificación aplicando la filosofía Lean Construction. Juliaca, Perú: Universidad Andina.
- Mondragón Véliz, F. J. (2003). Efectos de la variabilidad de producción en la construcción. Lima, Perú: PUCP.
- Mora Valverde, J. J. (Noviembre de 2012). Medición y análisis de productividad de trenes actividades de la construcción de un centro de distribución. Costa Rica, Costa Rica: Instituto tecnologico de Costa rica.
- Murguía, D. (2014). *TECNOLOGÍAS BIM Y LEAN CONSTRUCTION*. Obtenido de <http://leanperu.com.pe/index.php/biblioteca/publicaciones/130-tecnologias-bim-y-lean-construction>
- Narváez, M. (s/f). *Gestión de riesgos en la fase de diseño para proyectos de construccion utilizando la guia PMBOK*. Bogota.
- OBS. (2016). *Principios de la filosofía Lean*. Obtenido de <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/temas-actuales-de-project-management/principios-de-la-filosofia-lean>
- Orihuela, P., & Ullua, K. (2011). *La planificación de las obras y el Last Planner* . Perú: PUCP.
- Orihuela, P., Orihuela, J., & Pacheco, S. (2015). IMPLEMENTACIÓN DEL TARGET VALUE DESIGN (TVD) EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.
- Pellicer, A. E., & Serón Gañez, J. B. (2016). El proyecto de ingeniería civil y el medio ambiente. *Universidad Politécnica de Valencia*, 4-5.
- Pérez, J. (2014). *Just in time aplicado a la industria de la construcción*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pila, Y. (s/f). *Integrated Project Delivery (IPD) un marco integrador de ejecución de proyectos*. Perú: PUCP.
- Pons Achell, J. F. (2014). Introducción a Lean Construction. *Fundación Laboral de la Construcción*, 6-20.

- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction: para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *Investigación en Ingeniería*, 1-22.
- Progressa Lean. (s/f). *LEAN CONSTRUCTION: LA MEJORA CONTINUA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de <http://www.progressalean.com/lean-construction-mejora-continua-sector-construccion/>
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Estados Unidos: PMI.
- Quesada, H., Buehlmann, U., & Arias, E. (2012). Pensamiento Lean; Ejemplos y aplicaciones en la industria de productos de madera. *Virginia Cooperative Extension*, 3-5.
- Ramos, J. (2015). Análisis para la implementación del modelo Lean en el sector de la construcción. *Culcyt*, 8.
- Revista ENLACE Arquitectura. (S/D de S/M de 2017). *Enlace Arquitectura*. Obtenido de <https://enlacearquitectura.com/el-futuro-de-bim-en-mexico/>
- Rico Nieto, F. (junio de 2016). El liderazgo una habilidad fundamental del gerente de proyectos en la industria de la construcción. Ciudad de México, México.
- Rodríguez Solórzano, E. (30 de Septiembre de 2012). *Ruta Crítica*. Obtenido de <https://erods.files.wordpress.com/2012/02/ruta-critica.pdf>
- Rojas, D. (s/f). *Debemos reducir el "Re-Trabajo"*. Obtenido de Construcción minera y energía: <http://www.construccionminera.cl/debemos-reducir-el-re-trabajo/#.Wqhn3B3OVNC>
- Rubio, R. (2003). *IMPORTANCIA DE LA ROTACIÓN DEL PERSONAL EN LAS EMPRESAS CONSTRUCTORAS DEL ESTADO DE NAYARIT*. Nayarit: Instituto Tecnológico de la Construcción A. C.
- Sáez Sueldo, C. A. (2016). Aplicación de herramientas Lean en la ejecución de obras civiles para la instalación de estaciones base celular. Lima, Perú: Universidad Nacional mayor de san Marcos.
- UHS. (s/f). *Lean Project delivery guide*. EEUU: UHS.
- Union Europea. (2012). *Herramientas básicas para la Mejora de la Calidad y la Productividad en Ecoinnovación en procesos industriales*. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Herramientas_b%C3%A1sicas_para_la_Mejora_de_la_Calidad_y_la_Productividad_en_Ecoinnovaci%C3%B3n_en_procesos_industriales
- Valencia Venegas, S. P. (2013). La filosofía Lean aplicada a la gerencia de proyectos. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Villamizar Roa, D. H., & Ortiz Contreras, L. J. (2016). Implementación de los principios Lean Construction en la constructora Colproyectos s.a.s de un proyecto de vivienda en el municipio de villa del rosario. Universidad industrial de santander.

Vio, J. (2017). *La estrategia de ejecución de proyectos IPD situación actual y tendencias*. Chile: Universidad de Chile.

ANEXOS

ENCUESTA “LEAN CONSTRUCTION”

Instrucciones: El siguiente cuestionario está compuesto de 13 preguntas sobre la filosofía Lean Construction, la finalidad de su aplicación es conocer y analizar el alcance que ha tenido en la Industria de la Construcción en México. Dicha información será utilizada con fines académicos.

	SI	NO
1.- ¿Sabes que significa Lean?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- ¿Conoces que es la filosofía Lean Construction?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.- ¿Sabes cuál es el origen de Lean Construction?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.- ¿Sabes cuál es el objetivo de aplicar esta filosofía en la Industria de la Construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.- ¿Conoces cuáles son los principios y herramientas de la filosofía Lean Construction?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.- ¿Consideras que esta filosofía ayuda a mejorar la productividad en la Construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.- ¿Crees que al aplicar esta filosofía se puedan reducir las pérdidas en una obra de edificación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.- ¿Has aplicado o utilizado esta filosofía en alguno de los proyectos de edificación en los que has participado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.- ¿Conoces que Instituciones en México se dedican a promover esta filosofía?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	SI	NO
10.- ¿Crees que es difícil la implementación de la filosofía Lean Construction en una obra de edificación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11.- ¿Sabes si hay suficiente información sobre esta filosofía en México?

--	--

12.- ¿Crees necesaria la implementación de esta filosofía en la Construcción?

--	--

13.- ¿Sabes si en algunas de las instituciones educativas enseñan esta herramienta de producción?

--	--