



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

Aplicación del Método de Líneas de Balance al Sistema Last Planner en
Proyectos de Construcción Horizontal

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Portada



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

Aplicación del Método Líneas de Balance al Sistema Last Planner en Proyectos de Construcción Horizontal

Tesis presentada por:

Mauricio Sepúlveda Abraham

Sometida a la Escuela de Ingeniería y Ciencias como un requisito parcial para obtener el grado académico de:

Maestro En Ingeniería y Administración de la Construcción.

Monterrey Nuevo León, Diciembre de 2017

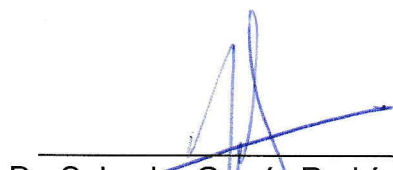


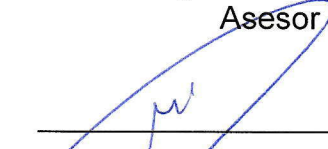
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

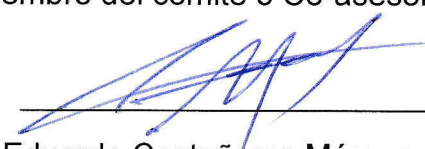
Campus Monterrey


Escuela de Ingeniería y Ciencias

Los miembros del comité aquí citados certificamos que hemos leído la tesis presentada por Mauricio Sepúlveda Abraham y consideramos que es adecuada en alcance y calidad como un requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Administración de la Construcción,


Dr. Salvador García Rodríguez
Tecnológico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Asesor principal


Dr. Miguel Rodolfo Davis Campoy
Tecnológico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Miembro del comité o Co-asesor


Dr. Eduardo Castañares Márquez
Tecnológico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Miembro del comité


Dr. Rubén Morales Menéndez
Director del Programa de Posgrado
Escuela de Ingeniería y Ciencias



Monterrey Nuevo León, 05 de Diciembre de 2017

Mauricio Sepúlveda Abraham



Declaración de autoría

Yo, Mauricio Sepúlveda Abraham, declaro que esta tesis titulada, 'Aplicación del Método de Líneas de Balance al Sistema Last Planner en Proyectos de Construcción Horizontal', y el trabajo que se presenta en ella es de mi autoría. Adicionalmente, confirmo que:

- Realice este trabajo en su totalidad durante mi candidatura al grado de maestro en esta universidad.
- He dado crédito a cualquier parte de esta tesis que haya sido previamente sometida para obtener un grado académico o cualquier otro tipo de titulación en esta o cualquier otra universidad.
- He dado crédito a cualquier trabajo previamente publicado que se haya consultado en esta tesis.
- He citado el trabajo consultado de otros autores, y la fuente de donde los obtuve.
- He dado crédito a todas las fuentes de ayuda utilizadas.
- He dado crédito a las contribuciones de mis coautores, cuando los resultados corresponden a un trabajo colaborativo.
- Esta tesis es enteramente mía, con excepción de las citas indicadas.

Mauricio Sepúlveda Abraham

Monterrey Nuevo León, 05 de Diciembre de 2017

@2017 por Mauricio Sepúlveda Abraham
Todos los derechos reservados



Dedicatoria

A mis papas por ser mi apoyo incondicional y un ejemplo a seguir.



Reconocimientos

Primeramente, a mi asesor el Dr. Salvador García quien me guio durante todo este proceso.

A todos los maestros, en especial al Dr. Miguel Davis y el Dr. Eduardo Castañares por ser mis sinodales y tomarse el tiempo de revisar este documento.

A mis entrenadores, Ricardo Escamilla, Juan Bosco y Ulises Moreno por darme la oportunidad de pertenecer al equipo de futbol soccer y inculcarme valores importantes como la disciplina, el trabajo en equipo y recordarme que sobre todo compromiso deportivo y laboral el estudio debía ser una prioridad.

Aplicación del Método de Líneas de Balance al Sistema Last Planner en Proyectos de Construcción Horizontal

Resumen

Este documento expone la aplicación de las líneas de balance de acuerdo con el método de Last Planner, después de una extensa investigación bibliográfica en donde se muestran todos los antecedentes que propiciaron su surgimiento desde el Sistema de Producción Toyota hasta la construcción Lean y como con el tiempo ha ido evolucionando y se han mejorado las herramientas utilizadas. Se propone una metodología de 8 etapas con el objetivo de evaluar los beneficios que se obtienen en proyectos de construcción con procesos repetitivos. Se describe cada una de las etapas y se proponen tablas y formatos necesarios para llevar a cabo la gestión.

Se presenta un caso de estudio aplicando la metodología bajo los principios de Lean Construction y se hace la comparativa contra la construcción tradicional en México. Se muestran las ventajas y desventajas, así como las recomendaciones y lecciones aprendidas.

Por último, es importante recalcar los grandes beneficios de utilizar el método con todas las áreas involucradas, en donde el trabajo en equipo y una misma meta pueden obtener resultados satisfactorios.



Contenido

Declaración de autoría	3
Dedicatoria	4
Reconocimientos.....	5
Resumen.....	6
1. Marco Teórico.....	10
1.1 Lean	10
1.1.1 Modelo Tradicional	10
1.1.2 Definiciones LEAN.....	11
1.1.3 TPS (Toyota Production System).....	11
1.1.4 Principios LEAN.....	12
1.2. Lean Construction (LC).....	14
1.2.1 Origen de LC	14
1.2.2 Definición de LC.....	14
1.2.3 Retos en la implementación de LC.....	15
1.3. Métodos de Implementación.....	17
1.3.1 Lean Project Delivery System (LPDS)	17
1.3.2 Costo Objetivo.....	18
1.3.3 Integrated Project Delivery (IPD)	20
1.4. Sistemas Tradicionales de Planificación y Control.....	22
1.4.1 Introducción	22
1.4.2 Método de PERT.....	23
1.4.3 Curva S	23
1.5.Last Planner System (LPS).....	24
1.5.1 Introducción	24
1.5.2 Filosofía LPS	24
1.5.3 Programa Maestro.....	26
5.4 Planificación Intermedia.....	27
1.5.5 Inventario de Trabajos Ejecutables (ITE)	29
1.5.6 Planificación Semanal.....	29
1.6. Líneas de Balance.....	32
1.6.1 Antecedentes	32



1.6.2 Concepto.....	33
1.6.3 Alcances.....	34
1.6.4 Estructura Fraccionada de Localización (LBS).....	35
1.6.5 Ventajas y Desventajas	37
2 Metodología	38
2.1 Etapa 1	38
2.2 Etapa 2	39
2.3 Etapa 3	39
2.4 Etapa 4	39
2.5 Etapa 5	40
2.6 Etapa 6	42
2.7 Etapa 7	43
2.8 Etapa 8	44
3 Caso de Estudio	46
3.1 Generalidades del Proyecto.....	46
3.2 Selección de Actividades.....	48
3.3 Calendario Meta.....	50
3.4 Calculo de Velocidades	53
3.5 Líneas de Balance	54
3.6 Ejecución y Seguimiento	55
3.7 Lecciones Aprendidas.....	57
4.Conclusiones	59
4.1 Conclusiones Generales.....	59
4.2 Conclusiones Lean	60
4.3 Conclusiones Last Planner.....	60
4.4 Conclusiones Caso de Estudio.....	60
4.5.Recomendaciones	61
5.Bibliografía	62



Lista de Figuras

1.	Figura 1: Flujo de Valor	13
2.	Figura 2: Logros Obtenidos de la Implementación Lean en Proyectos de Construcción	16
3.	Figura 3: Principales Retos en la Implementación LEAN	16
4.	Figura 4: Lean Project	18
5.	Figura 5: Diagrama de necesidades del Consumidor	18
6.	Figura 6: Sistema Tradicional vs Costo Objetivo	20
7.	Figura 7: Pasos para evaluar el costo objetivo	20
8.	Figura 8: Diagrama de Involucrados IPD	21
9.	Figura 9: Gráfica Sistema Tradicional vs IPD	22
10.	Figura 10: Diagrama de Planificación Tradicional vs LPS	25
11.	Figura 11: Diagrama LPS en la Construcción	26
12.	Figura 12: Formato de planilla de revisión de restricciones	29
13.	Figura 13: Formato Planificación Semanal	30
14.	Figura 14: Esquema del concepto de protección	31
15.	Figura 15: Ejemplo de programación	31
16.	Figura 16: Resumen Sistema Ultimo Planificador	32
17.	Figura 17: Relación entre los pasos para una correcta gestión del tiempo y LDB	35
18.	Figura 18: Cronograma Meta	39
19.	Figura 19: Grafica para el cálculo de las velocidades	40
20.	Figura 20: Cronograma Meta con velocidades	41
21.	Figura 21: Tabla para el cálculo de velocidades	42
22.	Figura 22: Diagrama de Dispersión XY	42
23.	Figura 23: Grafica de Líneas de Balance	43
24.	Figura 24: Prototipo Vivienda Arcángeles	46
25.	Figura 25: Tabla de Actividades	49
26.	Figura 26: Calendario Meta por Fecha	51
27.	Figura 27: Calendario Meta por Semana	52
28.	Figura 28: Tabla de Actividades con Velocidades	53
29.	Figura 29: Líneas de Balance Meta	54
30.	Figura 30: Líneas de Balance Real	55
31.	Figura 31: Formato Evaluación Proveedores	58



1. Marco Teórico

1.1 Lean

1.1.1 Modelo Tradicional

Con el paso de los años, la necesidad de un cambio en el modelo productivo de la construcción ha sido obligatorio, según (Pons, 2014) el modelo tradicional de gestión de proyectos cuenta con grandes áreas de oportunidad como lo son:

- Poco interés por capacitar a los trabajadores.
- Incumplimiento por parte de los estándares de calidad.
- Baja productividad.
- Seguridad inadecuada en todos los procesos
- Falta de coordinación y comunicación en las diferentes fases del proyecto.
- Falta de objetivos estandarizados desde el comienzo del proyecto.

Los puntos anteriormente mencionados, entre muchos otros ejemplos existentes son los grandes obstáculos por lo que no se puede lograr una buena, concisa y rápida gestión del proyecto; sin dejar a un lado la gran limitante del acceso a la información la cual hace que el ciclo se haga aún más lento.

Con el paso del tiempo y de acuerdo a la (NASFA, 2010) se ha venido trabajando de la misma manera dentro de la industria de la construcción, sin embargo, poco a poco han existido cambios significativos que han marcado el parteaguas en los tiempos modernos:

=: **Productividad y manejo de desperdicio:**

Según estudios por parte del Lean Construction Institute (LCI) de 1964 al 2003 la productividad en la industria de la construcción ha descendido en un 25%, mientras que la productividad en otras industrias ha incrementado en un 200 %.

- **La evolución de la tecnología:**

Gracias a la tecnología, el acceso a las herramientas ha sido más sencillo y menos costoso, haciendo posible que los profesionistas comienzan a



familiarizarse con las nuevas herramientas tecnológicas que el mercado ofrece, como lo es el Software Building Information Modelint (BIM).

- **Valor agregado al producto final:**

El cuidado al medio ambiente cada vez es mayor, esto quiere decir que los propietarios comienzan a incluir en sus proyectos la visión de proteger al medio ambiente y evitar gran cantidad de desperdicio, malos procesos, entre otros que esto ofrece un valor agregado al producto final.

1.1.2 Definiciones LEAN

El origen de la palabra Lean se le conoce principalmente por JP Womack y Daniel Jones, quienes actualmente son parte del equipo de Lean Global Network; si bien no fueron los únicos pioneros en la materia, si los que lograron establecer la filosofía a través de los libros “La máquina que cambio el mundo” y “Lean Thinking”.

Según (Jones, 2007) Lean es un modelo de negocio que logra establecer una mejor manera de trabajar y perfeccionar los procesos en donde las personas involucradas como clientes, empleados y dueños de empresas, puedan obtener mejores resultados, evitando demoras o retrabajos sin tener que elevar sus costos.

1.1.3 TPS (Toyota Production System)

El Sistema de Producción Toyota (TPS), fue llamado de esta manera por el Jefe de Producción llamado Taiichi Ohno quien trabajaba en Toyota después de la Segunda Guerra Mundial.

El TPS un sistema de negocio que se originó a principios de Lean, el motivo por el cual se originó se debe a que al finalizar la Segunda Guerra Mundial en donde el presidente Toyodo Kiichiro declaró que era necesario lograr la productividad de los Estados Unidos de América en un periodo a corto plazo y no mayor a tres años ya que de no ser así, la industria automotriz de Japón no iba a sobrevivir.

El TPS cuenta con dos bases fundamentales según (Sugimori, 2007):



1. Eliminación del costo mediante la reducción del desperdicio, esto hizo que se creara un sistema donde se utilizaría el mínimo necesario de materiales, equipamiento y tiempo de los trabajadores.
2. Mejorar las capacidades de los trabajadores para poder lograr mejoras en sus procesos y conocimientos. En cuanto al tema de la materialización del TPS, son fundamentales los pilares: Just in time (JIT) y Jidoka.

Just in Time (JIT) es un sistema en donde se trata de controlar el inventario, la producción, exceso de material y por ende menos trabajadores, lo cual hace un proceso más eficiente y menos costoso.

Por otra parte, Jidoka se refiere a que cualquier equipo u operación se detengan cuando se detecte cualquier condición anormal o defectuosa, esto es sumamente importante ya que el equipo está hecho para parar cuando la cantidad requerida de producción se alcanza. Es de suma importancia ya que logra controlar cualquier anomalía que se presente en el momento, sin tener que detener todo por completo.

1.1.4 Principios LEAN

En el libro 'Lean Thinking' (Womack y Jones, 1996) describen los 5 principios básicos de lean.

- **Valor**: El concepto de valor solo puede ser definido por el consumidor y solo tiene sentido cuando es expresado en términos de un producto en específico que cumpla con los requerimientos del cliente contemplando el precio y tiempo.
- **Cadena de Valor**: Es el conjunto de todas las acciones requeridas para crear un producto en específico partiendo desde el diseño, la producción, el lanzamiento y finalmente la entrega.

La cadena de valor según (Porter,2004) es una herramienta que tiene como objetivo identificar a lo largo del flujo las actividades potenciales que pudieran generar una ventaja competitiva. Poder aprovechar estas oportunidades potenciales dependerá

de que la empresa sepa desarrollar mejor que sus competidores aquellas actividades cruciales.

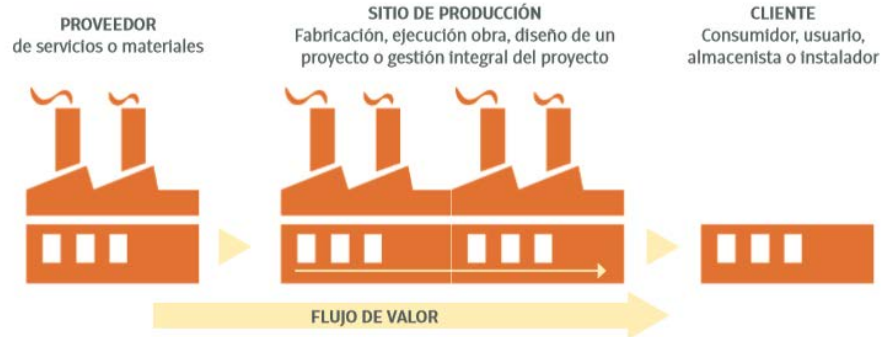


Figura 1: (Pons, 2014) Flujo de Valor

- **Flujo:** Una vez que el valor se ha especificado correctamente y se hayan eliminado los procesos adicionales es importante establecer el objetivo el cual es hacer que fluyan las operaciones que generan valor, esto generalmente es difícil ya que dentro de una empresa cada departamento se enfoca en sus actividades sin importar las de otro departamento. Las alternativas lean a este problema es redefinir el trabajo de todas las funciones y departamentos dentro de la empresa para que todos los involucrados puedan hacer contribuciones positivas para la creación de valor y puedan entender las necesidades reales de los empleados durante toda la cadena y de esta manera lograr que las mismas personas involucradas se interesen por hacer que el valor fluya.
- **Sistema Pull:** El objetivo del sistema pull se basa en el sistema JIN del que se habló anteriormente, la finalidad de este sistema es mantener en inventario lo mínimo necesario, la cantidad de producción y solo considerar lo necesario de acuerdo con las necesidades del cliente.
- **Perfección:** Si una empresa cumple con todos los principios anteriores mencionados, significa que se tiene un sistema que fluye correctamente y cuenta con la menor cantidad de desperdicios y tiempos perdidos, por lo que la palabra perfección.



1.2. Lean Construction (LC)

1.2.1 Origen de LC

La industria de la construcción a lo largo de los años ha tenido una evolución más lenta que la mayoría de las industrias y ha sido muy conservadora con respecto a la tecnología. El surgimiento de Lean Construction (LC) fue en 1992 por Lauri Koskela quien propuso un nuevo sistema de producción aplicado a la construcción, este sistema se basó en TPS y la filosofía Lean. El concepto en sí es conocido como Lean Construction que fue adoptado por el International Group Lean Construction (IGLC) que fue fundado en 1993. Según (Pons, 2014) no fue hasta el 2007 cuando se comenzó a utilizar esta filosofía, ya que hasta ese momento se revelaron que las empresas que adoptaron la filosofía Lean a la construcción comenzaron a tener mejores rendimientos en cuanto a reducción de costos, productividad, calidad, cumplimiento, seguridad y mayor satisfacción del cliente. Desde entonces LC ha marcado el rumbo de la construcción.

1.2.2 Definición de LC

Lean Construction es definida por el Lean Construction Institute (LCI) como un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto – una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras.

El enfoque principal de LC es optimizar todos los procesos constructivos, maximizar el uso de los recursos con la finalidad de añadirle valor al cliente considerando un mejor costo, calidad, seguridad y tiempo de entrega

El agregar valor a las técnicas y procesos más específicos dentro de un proyecto de edificación tiene diferentes resultados, entre ellos el primero es tener un proyecto diseño – construcción en donde las mismas partes están involucradas en los dos procesos con la finalidad de añadirle satisfacción al cliente.

Otro resultado del enfoque LC según (Pons, 2014) es el control, este proceso pasa de solo monitorizar a ejecutar, esto quiere decir que se trata de lograr a toda costa que suceda la ejecución, y por último se tiene un trabajo



estructurado con el propósito de maximizar el valor y generar la mínima cantidad de desperdicios.

1.2.3 Retos en la implementación de LC

El implementar LC no es un reto fácil, la industria de la construcción, por ello el implementar este cambio dentro de una empresa es necesario considerar las complicaciones que esto puede traer.

(Koskela, 2000) Presentó tres aspectos que se ven involucrados en la industria de la construcción y por lo cual lo hace más complejo:

- Un proyecto de edificación tiene su propia naturaleza.
- Siempre se localiza en un lugar diferente.
- Para cada lugar que se ejecuta, se necesita de medios y recursos de acuerdo a la zona geográfica en donde se encuentre.

Estas son una de las principales causas por las que las grandes empresas se rehúsan a realizar este cambio. Las empresas que son renuentes a romper sus paradigmas generalmente son las que llevan muchos años trabajando bajo un mismo sistema y cuentan con personal con mucha experiencia a la que se le dificultaría cambiar su manera de trabajo, es por eso que es muy importante siempre mantener gente joven con nuevas ideas que permitan que la empresa se pueda ajustar rápidamente a los cambios que requiere la industria para poder ser una empresa competitiva.

En un estudio hecho por McGraw Hill Construction (2013) se ha reportado que al menos el 70 % de las empresas que están implementando Lean han alcanzado el nivel medio de beneficios en al menos 6 áreas de la construcción.

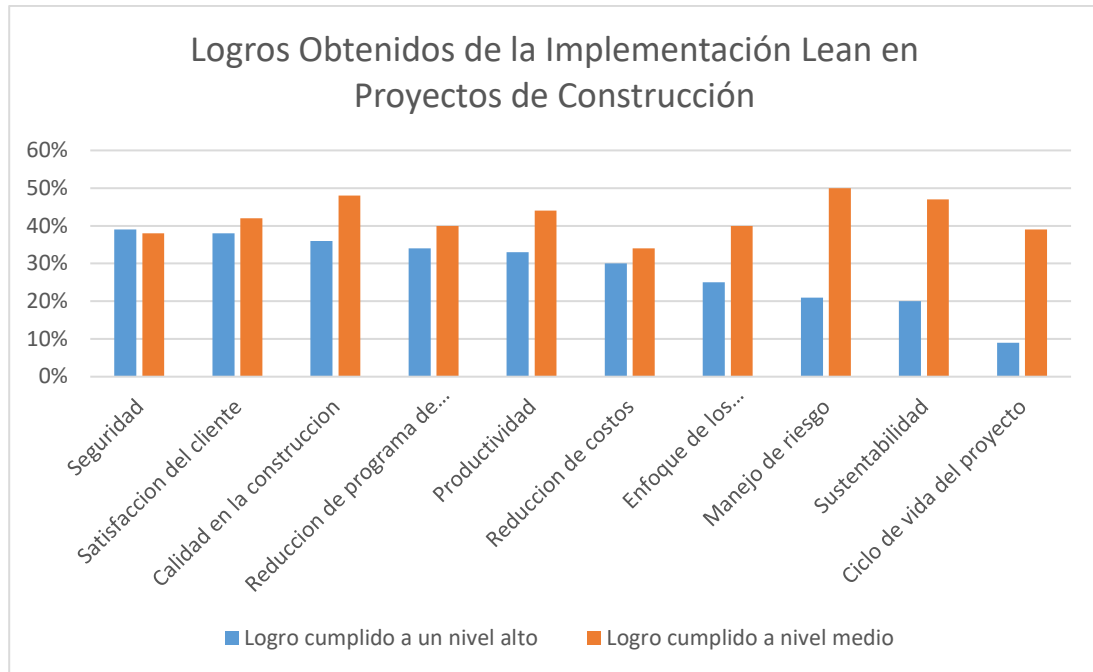


Figura 2: (McGraw, 2013) Logros Obtenidos de la Implementación Lean en Proyectos de Construcción

Por otra parte (McGraw, 2013) también se puede demostrar como las empresas que no tienen implementado este sistema, cuentan con áreas de oportunidad.

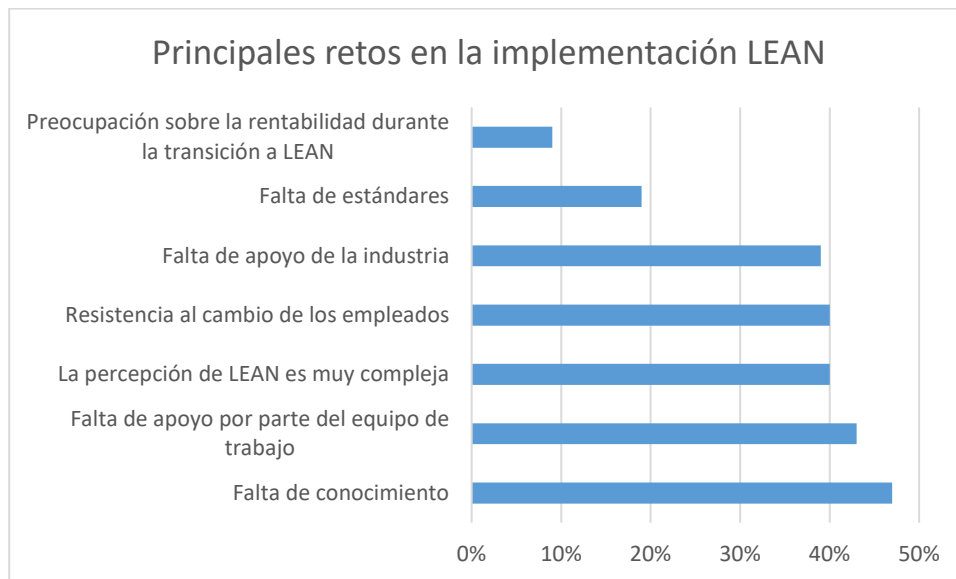


Figura 3: (McGraw 2013) Principales Retos en la Implementación LEAN

El reto principal que presentan las empresas es la falta de conocimiento, como se puede observar en la tabla, ya que es alarmante el 47% y que debe



de atacarse lo más pronto posible. Esta falta de conocimiento también se genera debido a que las empresas generalmente creen que al ser un modelo nuevo se requiere de mucha inversión, sin embargo, esto no es así y se puede ir implementando poco a poco sin la necesidad de hacer una gran inversión y puede traer mejoras. Es importante mencionar que estos cambios también impactan directamente en la cultura que una empresa pueda seguir.

En otra de sus múltiples investigaciones (McGraw, 2013) también propone varias recomendaciones para la implementación del sistema Lean.

- Tomar un enfoque de colaboración para maximizar las ganancias
- Reconocer y planear un cambio cultural necesario para adoptar totalmente la metodología Lean.
- Transparencia en el intercambio de información.

1.3. Métodos de Implementación

1.3.1 Lean Project Delivery System (LPDS)

La evolución de LC ha ido formando diferentes propuestas de aplicación en la práctica por lo que en el 2000 el LCI propuso el proyecto llamado Lean Project Delivery System (LPDS).

LPDS es un modelo de gestión de proyectos en el que la definición del proyecto es representada por el proceso de alineamiento entre los medios, fines y las limitantes, este alineamiento es logrado mediante una conversación con el cliente determinando lo que se quiere lograr y cuáles son las limitantes para lograr los objetivos (Ballard, 2008).

Visión de conjunto de todas las fases del proyecto, desde un punto de vista *Lean* (LPDS).

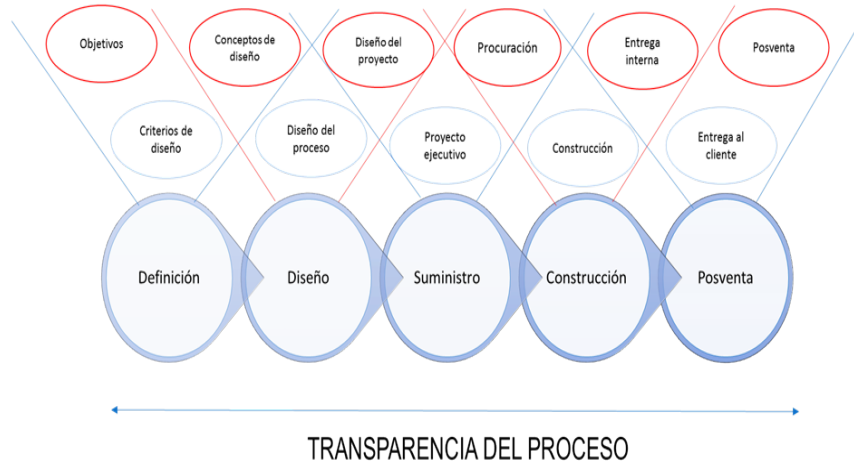


Figura 4: LPDS (García, 2017).

En la figura anterior se muestra como el objetivo de LPDS no es solo proveer lo que quiere el consumidor sino las necesidades que se quieren.

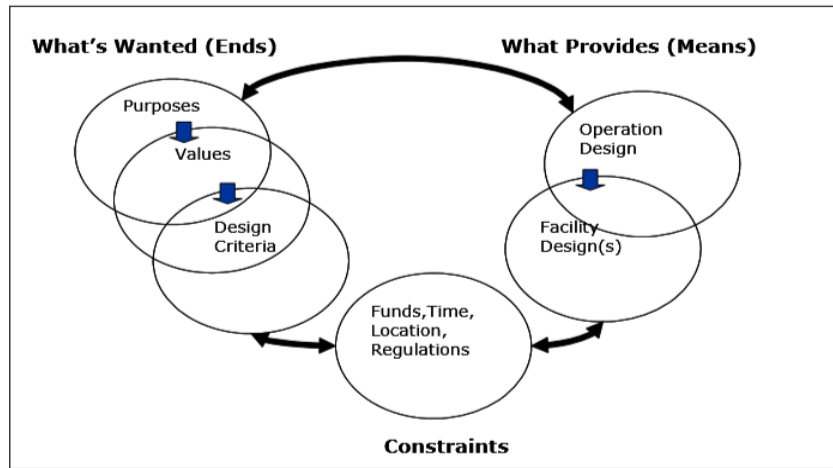


Figura 5: (Ballard, 2008) Diagrama de necesidades del Consumidor

La definición del proyecto empieza con el plan de negocio y sigue con la validación del plan inicial, si el plan resulta ser factible y si el cliente decide financiar el proyecto. Si se llega a financiar el proyecto, se prosigue a definir las limitantes y el costo objetivo (Ballard, 2008).

1.3.2 Costo Objetivo

El termino costo objetivo nació en la industria manufacturera como resultado de la búsqueda de la mejora en cuanto al manejo de costo por proyecto.



Resultó ser una buena estrategia, ya que aseguraba que los servicios y los nuevos productos cumplieran con el precio de mercado y aseguraran retornos financieros (Ballard, 2012).

El valor del cliente es lo primordial para las empresas, lo que hace que el costo objetivo sabiendo que es lo que requiere el cliente para así poder fijar un precio. (Pons, 2014).

El segundo paso, para hacer funcionar el costo objetivo es necesario calcular el costo que tiene permitido la empresa, este cálculo se realiza de la siguiente manera: restando el precio de venta y el margen de utilidad requerido; el margen de utilidad requerido varía dependiendo de la empresa. Cada empresa tiene sus propias necesidades por lo que necesita un margen de utilidad.

El objetivo de esto es lograr que el precio de venta se ajuste a las necesidades del cliente y al margen de utilidad que necesita la empresa para así poder cumplir con las necesidades de cada parte (Pons, 2014)

Una vez definido este costo se debe de comparar el costo con el costo de la cadena productiva, ya que si el costo de la cadena productiva excede el costo permitido se verá en la necesidad de bajar el costo de la cadena para así poder con los requerimientos de la venta (Pons, 2014), nos muestra una tabla comparativa trabajando con el sistema tradicional y el costo objetivo.

SISTEMA TRADICIONAL	TARGET COSTING
Una empresa tradicional calcula los costes desde la parte inferior hacia arriba.	En un proyecto <i>Lean</i> se calculan los costes desde arriba hacia abajo, es decir, partimos del valor, según las características definidas por cliente y el precio que está dispuesto a pagar.
En base a un diseño inicial, se calculan los costes de materiales, mano de obra, maquinaria, etc.	Determinamos el máximo coste para el producto dentro su flujo de valor, basado en el valor creado para el cliente y las expectativas que tiene la empresa sobre el margen de beneficio necesario para que el proyecto sea viable.
Después aplica un engañoso porcentaje de gastos generales.	Realizamos la siguiente operación: Coste permitido = Valor – beneficio.
La suma de todo esto proporciona el coste del producto.	El resultado de restar el valor menos el beneficio es el coste permitido por el negocio. La siguiente cuestión es preguntarse si podemos fabricar o construir a ese precio.
Se añade el margen de beneficio y se obtiene el precio de venta que se empuja (<i>Push</i>) hacia el cliente.	Si podemos hacerlo, el coste permitido coincide con el coste objetivo o <i>Target Costing</i> . Si el coste de producción es mayor, creamos un plan de acción para eliminar desperdicio, incrementar el valor y lograr el beneficio requerido.

Figura 6: (Pons, 2014) Sistema Tradicional vs Costo Objetivo

(Maskell, 2009) resume todo lo explicado anteriormente en 12 pasos que se reflejan en la siguiente gráfica.

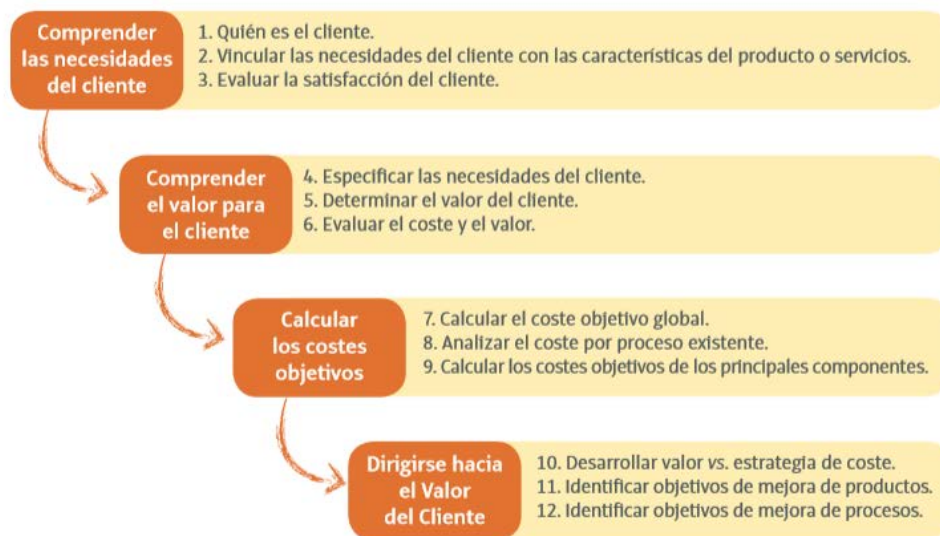


Figura 7: (Maskell, 2009) Pasos para evaluar el costo objetivo

1.3.3 Integrated Project Delivery (IPD)

Integrated Project Delivery (IPD) es definida como un enfoque en la ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras de negocio y prácticas en un proceso que reúne colaborativamente todos los

talentos de los participantes para optimizar los resultados, mejorar el valor, reducir desperdicio y maximizar la eficiencia en todas las fases de diseño, fabricación y construcción (AIA, 2007).



Figura 8: (Pons, 2014) Diagrama de Involucrados IPD

(Pons, 2014) refleja en esta gráfica todos los actores involucrados en el IPD y la interpretación de este sistema hace referencia a que todos los involucrados sean parte integral del proyecto, teniendo como objetivo sacar el mayor valor

Para que el IPD funcione correctamente la (AIA, 2007) hace mención dentro de su guía que todos los involucrados en el proyecto deben de seguir ciertos principios:

- Respeto y confianza mutua.
- Beneficios y recompensas mutuas entre los involucrados.
- Toma de decisiones colaborativamente.
- Involucramiento de las personas claves desde las primeras etapas del proyecto.
- Definición los objetivos desde un inicio.
- Planificación intensa.
- Comunicación abierta.
- Tecnología apropiada.

- Organización y liderazgo.

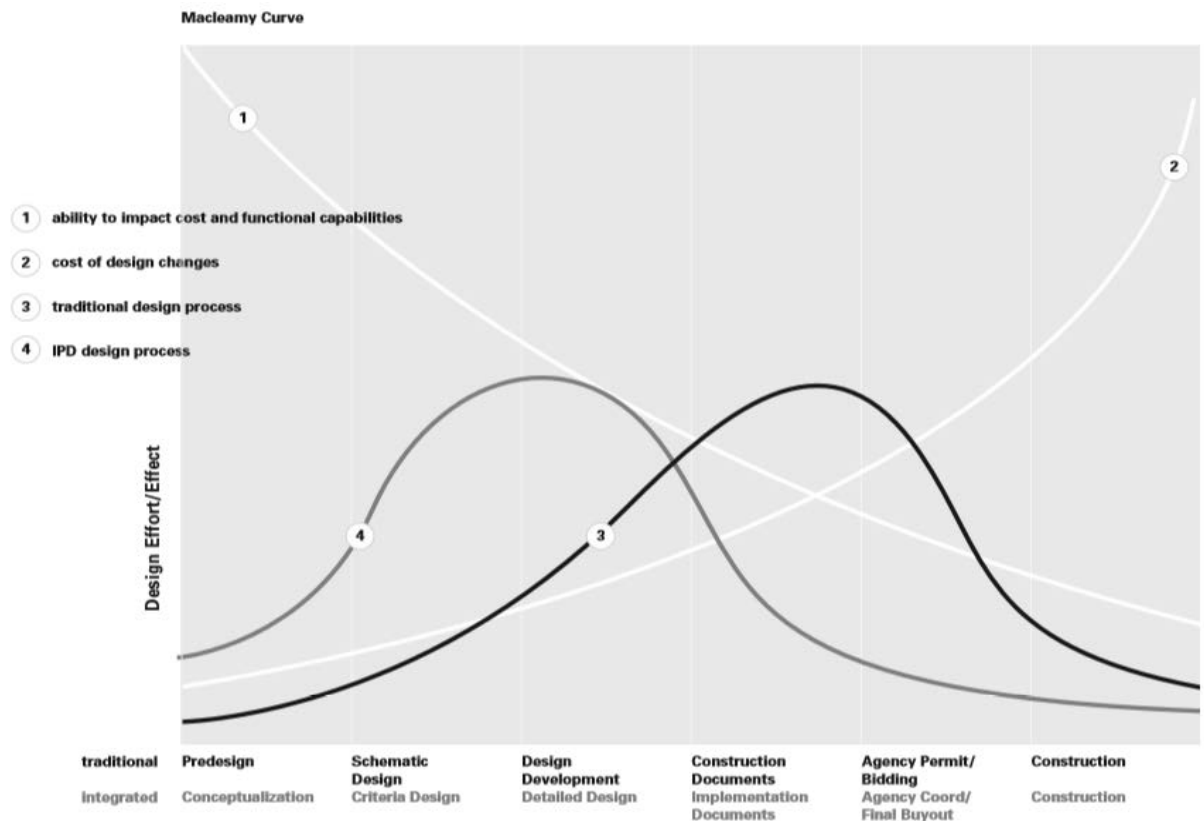


Figura 9: (AIA, 2007) Gráfica Sistema Tradicional vs IPD

La gráfica de Macleamy muestra la diferencia entre el sistema tradicional de construcción y el sistema IPD, es importante destacar en esta grafica los tiempos en donde en el sistema IPD se enfoca en terminar las fases de diseño en una etapa temprana del proyecto para lograr que el impacto en el costo se incremente y los cambios de diseño influyan en lo más mínimo.

1.4. Sistemas Tradicionales de Planificación y Control

1.4.1 Introducción

La construcción es uno de los sectores industriales que han sufrido mas cambios importantes en los últimos años. La fuerte competencia, mercados globalizados, el surgimiento de tecnologías mas modernas, la exigencia de los clientes por proyectos con valor agregado y los limitados recursos con los que cuentan las empresas para llevar a cabo las propuestas se ha hecho indispensable invertir en



los procesos de planificación y control para no perder de vista los principales indicadores de la obra: tiempo, costo, beneficio, retorno de inversión y flujo de caja (Mattos, 2014).

Según estudios realizados por Mattos en diferentes países se demuestra que la planificación y control se encuentran entre las principales causas de la baja productividad, el sobre costo y la falta de calidad de las construcciones. Es por esto que la planificación es indispensable para lograr la sostenibilidad de las empresas.

4.2 Método de PERT

El método de PERT nació a finales de 1957 cuya primera aplicación fue en el proyecto POLARIS del ejército estadounidense. PERT es un instrumento que da información para tomar decisiones y se enfoca en el tiempo y costo de un proyecto.

Una red PERT no tiene una única solución, dependerá de las prioridades que se le de a cada actividad por lo tanto tendremos 3 escenarios: tiempo optimista, tiempo mas probable y tiempo pesimista. Con estas estimaciones de tiempo para cada actividad se puede generar un valor promedio de las 3 estimaciones. Así mismo se obtiene la información de la varianza que define la incertidumbre por cumplir los plazos establecidos y por medio de diferentes formulas y gráficas obtienes información como: tiempo mayor, tiempo menor, holgura, ruta crítica (camino con holgura mínima), función normal de distribución, etc.

La finalidad es tener la mayor información por medio de números y gráficas para tomar las mejores decisiones en el proyecto.

1.4.3 Curva S

La curva "S" es la curva que muestra la línea base del desempeño de un proyecto. Inicia sin gastos el día inicial y termina con el 100% de gasto en la fecha última del cronograma. La curva "S" corresponde al comportamiento de gasto del proyecto generalmente inicia y termina con una ligera pendiente y se intensifica en las fases intermedias. Esta curva permite ir evaluando y comparando el avance real contra el planificado de manera que se puedan tomar acciones correctivas a tiempo a medida que avance la obra.



La curva “S” nace de un cronograma meta y posteriormente se va actualizando conforme al cronograma real. En la curva se grafica en el eje y los recursos financieros mientras que en el eje x se coloca el tiempo.

1.5. Last Planner System (LPS)

1.5.1 Introducción

El sistema de último planificador está inspirado en la filosofía Ballard y Howard de producción sin pérdidas mencionada en el capítulo anterior. En la actualidad este sistema de planificación es el más utilizado dentro de la filosofía de Construcción Lean. El sistema de último planificador LPS se enfoca en la etapa de ejecución de la obra teniendo como objetivo complementar y mejorar los sistemas tradicionales de barras o de redes con la finalidad de mejorar los flujos de trabajo para incrementar el desempeño de la obra (Rodríguez, 2011). En otras palabras, LPS está diseñado para controlar todas las variables inciertas dentro de la obra por lo tanto se aumenta la confiabilidad de la planificación. El último planificador normalmente el encargado o jefe de obra, se define como la última persona capaz de asegurar un flujo de trabajo aguas abajo, el último planificador se encarga de asignar las tareas de trabajo directamente a los trabajadores (Pons, 2014).

1.5.2 Filosofía LPS

Las obras tienden a retrasarse debido a que desde un inicio no se contemplan correctamente todas las variables involucradas en el proyecto. Algunos ejemplos de variables no consideradas regularmente son: la disponibilidad de material por parte de los proveedores, la disponibilidad de mano de obra, problemas administrativos y el mal cálculo de los rendimientos. Estas variables generalmente con llevan al incumplimiento en los plazos de tiempo. Para planificar primero se debe determinar lo que se “debería” de hacer y decidir lo que se “hará” en un periodo determinado de tiempo, el problema del pensamiento tradicional es que falta considerar que no todo “puede” hacerse debido a ciertas restricciones por lo que constantemente se tienen retrasos. En resumen, el problema es que se realiza la planificación del que se “hará” sin saber lo que en realidad se puede (Ver Figura 10) (Rodríguez, 2011)

En la filosofía de planificación Lean lo que se busca es enfocarse en lo que se “puede” hacer para después acordar lo que se “hará”, de esta manera se asegura que lo planificado no cuenta con restricciones. El enfoque real de los encargados de la planificación debe ser en liberar la mayor cantidad de restricciones de manera en que se agrande el subconjunto “puede” y así poder programar más actividades durante el tiempo establecido. (Rodríguez, 2011)

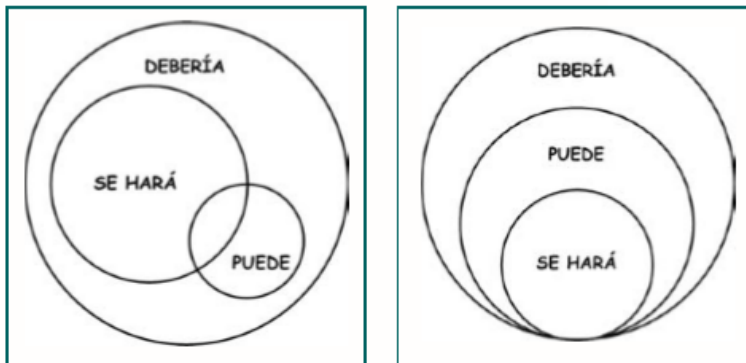


Figura 10: (Alarcón, 2011) Diagrama de Planificación Tradicional vs LPS

El proceso de planificación del sistema se realiza de la siguiente forma:

1. Se revisa el plan general o también conocido como el plan maestro de la obra
2. En el caso de proyectos muy grandes o muy complejos es necesario realizar un programa de fase el programa de la fase que se va a ejecutar.
3. Se hace la elaboración intermedia, esto quiere decir que la planificación va de 1 a 3 meses, lo que se debe de hacer es identificar todas las restricciones con el fin de eliminarlas y evitar cuellos de botella.
4. Se hace la elaboración semanal con la ayuda del último planificador que directamente llevará las actividades que deben realizar los trabajadores.
5. Se hace una reunión por parte de los últimos planificadores para identificar las actividades semanales que no se completaron y las causas y con esto poder establecer las actividades de la siguiente semana.

La efectividad del plan se mide con un indicador llamado Porcentaje del Plan Completado (PPC) y se hace al final de cada semana, esto para poder asegurar

la efectividad del plan e identificar las fallas para poder evitarlas en un futuro.
(Alarcón, 2008).

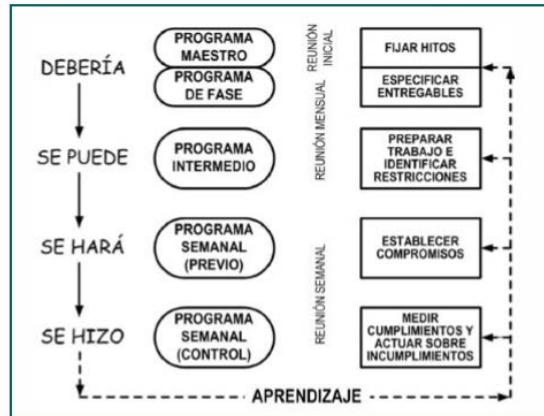


Figura 11: (Alarcón, 2011) Diagrama LPS en la Construcción

1.5.3 Programa Maestro

El programa maestro es la planificación general, esta se basa en los objetivos planteados desde un inicio. Se establecen metas del proyecto y se identifican los hitos de control del proyecto. (Diaz, 2007). El programa maestro identifica todas las actividades que “deberían” hacerse y define los espacios entre las actividades programadas para cumplir con los plazos y las entregas a tiempo.

Entre más detallado sea el programa maestro se tiene más probabilidad de éxito, por lo que se debe especificar e identificar el encargado de cada programa e incluir a los proveedores y subcontratistas que intervienen en las actividades. Se deben también de señalar las relaciones entre los responsables de las tareas y los proveedores e identificar los tiempos en los que deben interactuar (Rodríguez, 2011).

Por otra parte, uno de los factores más importantes del programa maestro es identificar los actores externos que se ven involucrados en la ejecución de las actividades del programa como pueden ser: administraciones o servicios públicos, gestores de infraestructura por mencionar algunos.



Se debe detallar la influencia que tienen estos actores sobre las actividades del programa con el fin de eliminar cualquier restricción que se presente con tiempo.

5.4 Planificación Intermedia

La intención de la planificación intermedia es empezar a enfocarse en las actividades que se tienen previstas que pueden suceder en el futuro y de esta manera tomar las acciones correspondientes. Algunas funciones de la planificación intermedia según (Díaz, 2011) son:

1. **Equilibrar carga de trabajo y capacidad:** La idea es saber la cantidad de trabajo que te da una unidad de trabajo, de esta manera a la hora de programar no le das a una unidad de trabajo una cantidad de trabajo que no tiene la capacidad para terminar por lo que buscas el equilibrio.
2. **Revisar la secuencia de las actividades:** Esta etapa es más que nada una revisión al programa maestro, si bien en el ya están especificadas las secuencias de las actividades en esta etapa se hace una revisión ya que la planificación intermedia es más detallada.
3. **Desarrollar detalladamente los métodos de ejecución:** Esto se hace con la finalidad de encontrar cualquier inconveniente que se pueda presentar durante la ejecución, entre más detallada este la actividad más probabilidad de encontrar algún inconveniente.
4. **Mantener un listado de actividades lista para ejecutar:** El producto de la revisión de restricciones de las actividades que se van a realizar tiene como resultado un inventario de trabajo ejecutable (ITE), por lo tanto en caso de que alguna actividad programada en la semana no se pueda ejecutar independientemente de la razón, siempre se va a tener un listado de actividades que no están incluidas en el programa de la semana, así la cuadrilla designada a esa actividad no se queda sin hacer nada y puede hacer otra de la lista.

La idea principal de la planificación intermedia es eliminar los tiempos muertos de las cuadrillas de trabajo y mejorar el flujo de trabajo. Primero se comienza intermedia es identificar el intervalo de tiempo que se va a tener este suele ser



de 4 – 12 semanas, el intervalo de tiempo se debe de analizar dependiendo las condiciones de trabajo y el tiempo de respuesta de los proveedores, por ejemplo, si el tiempo de respuesta del proveedor es de 6 semanas tu intervalo no puede ser menor a 6 semanas.

Una vez identificado el horizonte se deben de identificar las restricciones o factores que impidan que una actividad se realice, las restricciones más comunes según (Díaz, 2011) son:

1. **Diseño**: Cualquier actividad que no esté definida en el proyecto ya se por omisión o algún error.
2. **Materiales**: Todo material que se ocupe para una actividad debe de estar disponible
3. **Mano de obra**: Se debe contar con la cantidad de mano de obra suficiente. Suele suceder que el contratista para a su gente esperando grandes tramos de trabajo y disponibilidad de material y a la hora que se lo proporcionan el tiempo de respuesta del contratista suele ser lento y se pierde mucho tiempo, por eso mismo se debe de tener siempre a tiempo la mano de obra necesaria para la actividad.
4. **Equipos y Herramientas**: Se debe de tener todo el equipo y herramienta disponible para realizar la actividad.
5. **Prerrequisitos**: Las actividades que se tengan que terminar antes de que inicie la otra actividad deben de terminarse.
6. **Calidad**: Si la empresa cuenta con un control de calidad se deben de detallar los requisitos que se deben de cumplir.

Existen otro tipo de restricciones para actividades especiales en donde se requieren permisos, inspecciones, pruebas, etc.

El responsable de ejecución debe de ir eliminando las restricciones a lo largo del intervalo que se le haya puesto al horizonte.

SEMANA	ACTIVIDADES	FECHAS		RESTRICCIONES						RESPONSABLE	
		INICIO	TERMINO	CANCHA	M.O.	MATERIALES	DISEÑO	LISTA DE CHEQUEO	EQUIPOS Y	EJECUCION	SEGUIMIENTO
1 (04 al 08 de junio)	Hormigón muros y pilares piso 1 sector B	30/05/07	05/06/07	√	√	√	√	√	√	HC	HC
	Moldaje vigas y losa piso 1 sector B	05/06/07	08/06/07	√	√	√	√	√	√	HC	FG
	Fierro vigas y losa piso 1 sector B	05/06/07	08/06/07	x	√	√	√	√	√	HC	FG
	Hormigón vigas y losa piso 1 sector B	08/06/07	11/06/07	x	√	√	√	√	√	HC	FG
	Trazados y niveles generales edificio C-D	04/06/07	08/06/07	√	√	√	√	√	√	RA	HC
	Excavaciones fundaciones edificio C	04/06/07	15/06/07	√	x	√	√	√	√	HC	FG
	Fierro muros y pilares piso 2 sector A	08/06/07	11/06/07	x	√	√	√	√	√	RA	HC
	Instalaciones provisionales: Alcantarillado	09/04/07	13/06/07	√	√	√	√	√	√	HC	FG

Figura 12. (Diaz, 2007) Formato de planilla de revisión de restricciones

En la figura se muestra un ejemplo de formato para el control de las restricciones, en la primera columna se define la semana del horizonte, en la siguiente columna las actividades a realizar, en la tercera columna se muestran las fechas en las que se tienen que realizar las actividades, después aparecen las restricciones y por último los responsables de cada actividad. La finalidad es que el responsable de la actividad pueda liberar todas las restricciones antes de que termine el horizonte y así poder pasar a la siguiente etapa del LPS.

1.5.5 Inventario de Trabajos Ejecutables (ITE)

Al eliminar todas las restricciones de cierta actividad en la planificación intermedia, las actividades pasan al inventario de trabajos ejecutables, esta etapa se refiere a todas aquellas actividades que se pueden ejecutar. En el ITE se pueden tener actividades futuras o actividades que se pueden llevar a cabo en la semana en curso, ya es cuestión del último planificador decidir cuáles serán las actividades que se van a realizar durante la semana. Es necesario tener una buena planeación para que siempre se cuenten con tareas que realizar y no existan desperdicio de tiempo o de objetivos. (Díaz, 2011).

1.5.6 Planificación Semanal

Según (Rodríguez, 2011) la planificación semanal es la encargada de definir lo que se “hará” durante la semana entrante en función de los objetivos cumplidos en la

planificación de la semanal finalizada, de lo previsto en la planificación intermedia y de las restricciones existentes. Todas las actividades que realizar deben de estar en el inventario de trabajos ejecutables.

PROYECTO Fecha inicio Fecha fin							Diagrama de Gantt	Causas de NO Cumplimiento													
COD.	ACTIVIDAD	RESP.	OBJETIVO			Cumplido (sí/no)		SEMANA 1					Tipo								
			A ejecutar	Ejecutado	% Alcanzado			L	M	X	J	V	Proveedores	Subcontratistas	Equipos	Seguridad y S.	Medio Ambiente	Externos	Otros	Descripción	Retraso
			8	9	10		11	12													

Figura 13: (Díaz, 2007) Formato Planificación Semanal

En la tabla se muestra un ejemplo de formato de planificación semanal.

Según (Díaz, 2011) el objetivo de este nivel de planificación es controlar la unidad de producción, estas unidades deben de tener como objetivo ir mejorando en la productividad y calidad conforme van aprendiendo continuamente y mediante las acciones correctivas. El control de la unidad de producción depende de la calidad de las asignaciones y Díaz menciona que para que las asignaciones sean de calidad deben de contar con algunas de las siguientes características:

1. La descripción de las actividades debe de ser bien especificadas, para que no haya errores ni malentendidos y de esta manera la unidad de producción pueda ejecutarse sin problema.
2. Para que funcione el flujo de trabajo, la secuencia de las actividades debe de ser lógica y las asignaciones se deben de hacer en orden de prioridad.
3. La cantidad de trabajo seleccionado debe ser directamente proporcional a la capacidad que tenga la unidad de trabajo.
4. Los prerrequisitos de las actividades ya deben de estar solucionados.

Por otra parte (Díaz, 2011) comenta que para proteger el flujo de producción y tener un flujo confiable por medio del flujo de protección y este se basa en asignaciones de calidad en donde se escoge el trabajo que va a ser realizado la

siguiente semana con respecto a las actividades que se encuentran en el ITE y tener la claridad de las tareas necesarias por realizar.

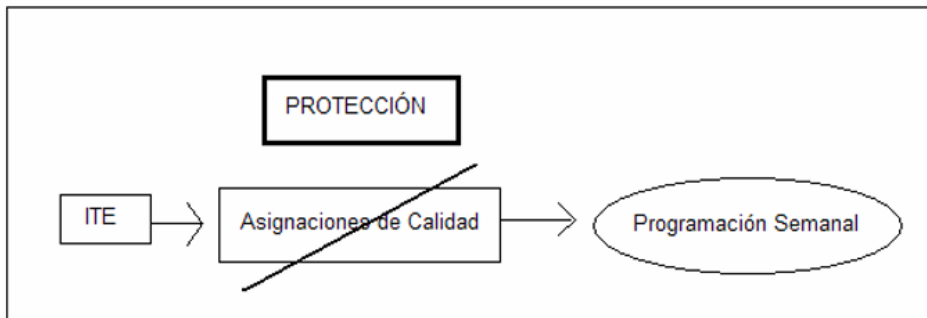


Figura 14: (Díaz, 2007) Esquema del concepto de protección

Otro ejemplo propuesto por (Díaz, 2011) para la elaboración del programa semanal es el de la siguiente figura en donde las filas representan las actividades y las columnas los días de la semana, la parte más importante del programa semanal es el porcentaje de actividades completadas (PAC) el cual es un indicador de calidad que se obtiene dividiendo la cantidad de actividades completadas entre el total de actividades a realizar. Para considerar una actividad completada debe de estar terminada y se califica con un 1 y en caso de que la actividad no esté al 100% esta se califica con un 0.

		PROGRAMACIÓN OBRA GRUESA														
		Semana del 5 al 11 de junio														
Nº	ACTIVIDAD	MARTES 5	MIÉRCOLES 6	JUEVES 7	VIERNES 8	LUNES 11	PAC									
1	Fierro vigas y losa piso 1 sector A	x	x									1				
2	Hormigón vigas y losa piso 1 sector A	x	x									1				
3	Moldaje muros y pilares piso 1 sector B	x	x	x	x							1				
4	Hormigón muros y pilares piso 1 sector B	x	x	x	x							1				
5	Moldaje vigas y losa piso 1 sector B	x	x	x	x	x	x	x	x			1				
6	Fierro vigas y losa piso 1 sector B			x	x	x	x	x	x	x	x	1				
7	Hormigón vigas y losa piso 1 sector B									x	x	1				
8	Fierro muros y pilares piso 2 sector A						x	x	x	x	x	1				
9	Moldaje muros y pilares piso 2 sector A									x	x	1				
10	Hormigón muros y pilares piso 2 sector A										x	1				
11	Trazados y niveles generales edificio C-D	x	x	x	x	x	x	x	x			1				
12	Excavaciones fundaciones edificio C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1				
13	Emplantillado edificio C									x	x	1				
14	Excavaciones fundaciones edificio D			x	x	x	x	x	x	x	x	1				
15	Instalaciones provisionarias: Electricidad	x	x	x	x	x	x	x	x			1				
16	Instalaciones provisionarias: Alcantarillado	x	x	x	x	x	x	x	x			0				
17	Instalaciones provisionarias: Agua potable	x	x	x	x	x	x	x	x			0				
18	Cierres provisionarios	x	x	x	x	x	x	x	x			1				
											PAC [%]	89				

Figura 15: (Díaz, 2007) Ejemplo de Programación.

(Díaz, 2011) El paso siguiente es identificar las causas por las que no se cumplió la programación semanal, para esto nos sirve el PAC ya que te ayuda a identificar ciertas áreas de oportunidad y de esta manera puedes implementar soluciones para mejorar. Algunas causas de incumplimiento de la programación semanal señaladas por (Díaz, 2011) son:

1. Fallas en los sistemas de información, pueden suceder equivocaciones en donde las actividades en prerrequisito sean marcadas como finalizadas cuando en realidad no era así.
2. Falla en el cálculo de los rendimientos, puede suceder que se pensó que cierta cuadrilla podría tener un rendimiento que en realidad no tiene.
3. Cambio en las prioridades de la obra. Esto sucede mucho y se tienen que destinar los recursos a otras áreas por lo que no se cumple el plan semanal.

Por último, se muestra un resumen de todos los conceptos del Sistema Último Planificador.

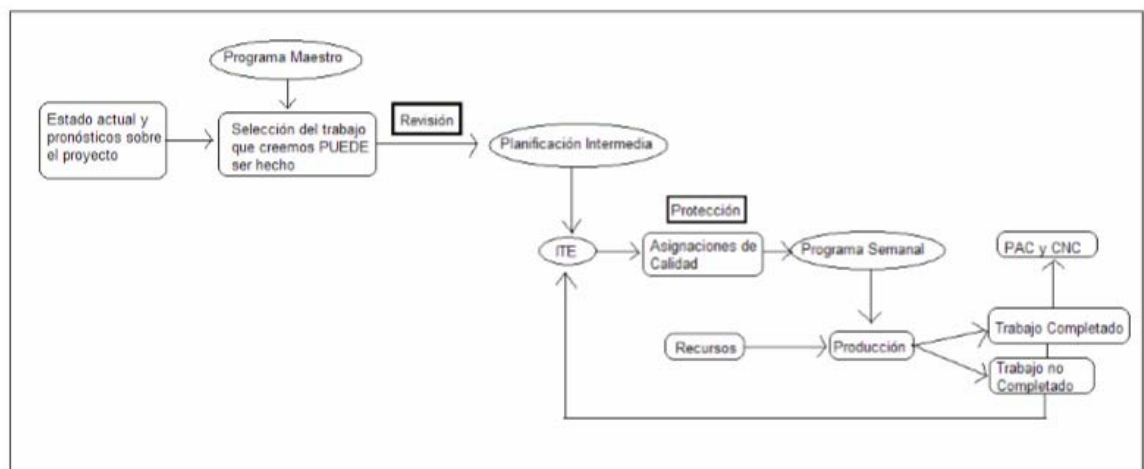


Figura 16: (Díaz, 2007) Resumen Sistema Último Planificador

1.6. Líneas de Balance

1.6.1 Antecedentes

Los primeros antecedentes de la utilización de las líneas de balance se regresan hasta los años 30 en la construcción emblemático edificio: Empire State en Nueva



York, Estados Unidos. Sin embargo, el primer registro del uso de esta técnica fue hasta los años 40 en la empresa Goodyear Tire & Rubber, empresa dedicada a la fabricación de neumáticos por medio de George E. Fouch y fue hasta el año de 1968 que Lumsden adaptó el modelo para la construcción de viviendas. En 1975 formalmente varios autores se dedican a la investigación sobre la aplicación de las líneas de balance en la construcción y no es hasta 1990 que llegan propuestas formales de su aplicación en la construcción (Calampa, 2014).

Actualmente existen diferentes técnicas y herramientas para la gestión y planificación de proyectos de construcción como el PERT, CPM y CCPM. Sin embargo, en los últimos años se ha desarrollado fuertemente el Planeamiento Basado en la Localización (LPS), esta es una herramienta que generalmente se utiliza en proyectos que incluyan distancia como los son las carreteras, túneles, etc. Esta herramienta permite hacer representaciones gráficas de tiempo y lugar, a diferencia de las técnicas utilizadas anteriormente también te permite relacionar las actividades con el tiempo y la ejecución (Calampa, 2014).

El concepto de líneas de balance no ha sido utilizado de la manera que se esperaba debido a que muchos consideran que es complicado su implementación, es por esto que se han desarrollado tecnologías de información para facilitar su uso, actualmente los más conocidos son Vico Office Schedule Planner (2007), Gescon (2009) y Candy. Estos programas permiten identificar fácilmente los cuellos de botella y otros conflictos que se generan armando las líneas de balance de todas las actividades lineales dentro del proyecto, con la finalidad de optimizar las cuadrillas de trabajo y tener un impacto en el costo y tiempo del proyecto (Calampa, 2014)

1.6.2 Concepto

La línea de balance es un método de programación gráfica que considera la localización explícitamente como una dimensión (Orihuela, 2013). Este método te permite un mayor control de los recursos y una reducción en los riesgos de programación, se tratan de optimizar los tiempos de las cuadrillas de trabajo.



El método de las líneas de balance muestra todas las actividades a realizar en un proyecto mediante a gráficas representadas con líneas, en el eje horizontal de la gráfica se muestra el tiempo mientras que en el eje vertical se muestra la localización donde se van a desarrollar los trabajos, de esta manera las pendientes van indicando la velocidad con la que se van a realizar los trabajos, esta es una buena manera de controlar la obra ya que si la pendiente es menor a la indicada significa que los trabajos no van en paso para terminar en tiempo y si la pendiente es mayor a la indicada significa que van a pasos agigantados y que en cierto momento se puede quedar con tiempos muertos y se están destinando recursos en trabajos (Orihuela, 2013).

Las líneas de balance no describen a detalle las actividades, más bien van marcando el ritmo de la obra, en otras palabras, se preocupa por la productividad global más que la productividad local.

Según (Orihuela, 2013) lo ideal en las líneas de balance es que todas las líneas tengan la misma pendiente o que vayan paralelas. Esto facilita el análisis de restricciones lo que hace más sencillo el programa semanal y aumentaría el porcentaje de actividades cumplidas semanalmente.

1.6.3 Alcances

El objetivo principal de un programa maestro es la administración del tiempo de un proyecto. Según la guía (PMBOK, 2013) para una correcta gestión del tiempo se cumple a través de los siguientes 7 pasos:

1. Planificación de la gestión del programa
2. Definición de las actividades
3. Establecer la secuencia de las actividades
4. Estimación de los recursos de las actividades
5. Estimación de la duración de las actividades
6. Desarrollo del programa
7. Control del programa

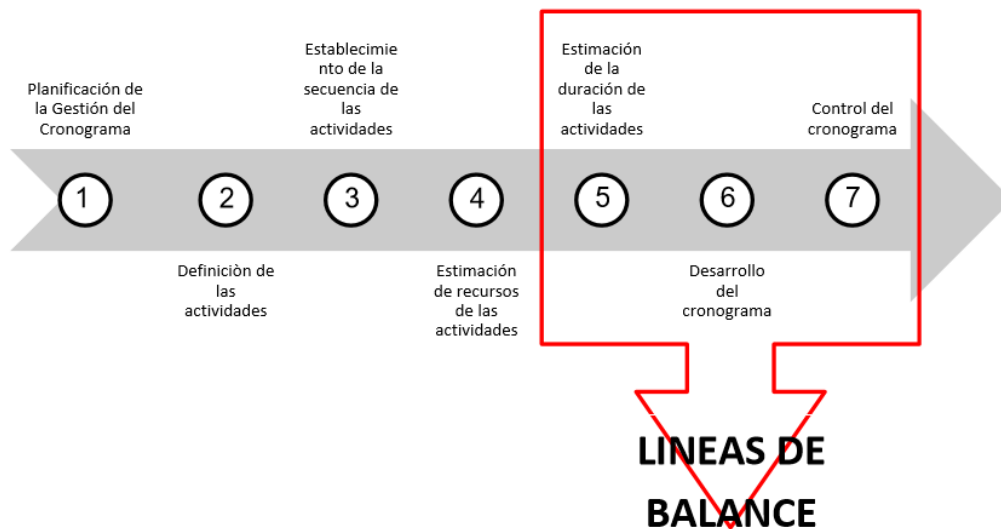


Figura 17: (Calampa, 2014) Relación entre los pasos para una correcta gestión del tiempo y las LDB.

La herramienta de las líneas de balance abarca los últimos 3 pasos, la más importante sería la estimación de la duración de las actividades.

1.6.4 Estructura Fraccionada de Localización (LBS)

Según (Orihuela, 2013) dependiendo de la eficiencia con que se logre hacer la estructura fraccionada de localización es el grado de repetitividad que va a tener la obra la cual también depende del diseño.

El objetivo principal de una buena LBS es encontrar la mejor distribución de los sectores de trabajo con la finalidad de conseguir el menor costo posible, esto indica que a la hora de hacer el estudio de constructibilidad del diseño se debe de evaluar la facilidad que ofrezca la distribución arquitectónica y estructural para poder lograr un buen LBS.

Sin embargo, una vez que los diseños y planos están terminados se debe de tener la habilidad para hacer una correcta distribución de espacios por lo que (Orihuela, 2013) propone 6 principios básicos a seguir para hacer una buena distribución de planta:

1. **Principio de la satisfacción y la seguridad:** La distribución debe de ser a igualdad de condiciones de satisfacción y de seguridad para los trabajadores.



2. **Principio de la integración de conjunto:** La mejor distribución se hace integrando los trabajadores, material, maquinaria y cualquier otro factor de modo que todos integrados generan un mayor compromiso.
3. **Principio de la mínima distancia recorrida:** Menos distancia, mejor resultado.
4. **Principio de la circulación o flujo de materiales:** Se deben distribuir las áreas de modo en que sigan una secuencia o un orden en que se llevan a cabo las actividades
5. **Principio del espacio cúbico:** Tratar de utilizar todo el espacio disponible, entre mayor espacio se utilice mayor es el ahorro.
6. **Principio de la flexibilidad:** En igualdad de condiciones será siempre más efectiva la distribución, que pueda ser ajustada o reordenada con menos costo o inconvenientes.

Las líneas de balance tienen diferentes usos (Calampa, 2014) menciona los siguientes:

1. **Planificación:** Establecer los plazos del programa, la ruta crítica y las fechas hitos.
2. **Reprogramación:** Acortar la duración del proyecto dependiendo de la fecha
3. **Control:** Llevar el control de un proyecto para eliminar cualquier actividad que genere exceso de tiempo y costo principalmente cuando existe retraso en la obra.

Por otra parte, Calampa hace mención de la información se puede obtener por un diagrama de líneas de balance:

1. Actividades programadas para una determinada locación y tiempo
2. Tiempos tecnológicos entre actividades sucesoras
3. Velocidades de producción
4. Comparación entre velocidades de producción
5. Discontinuidades entre actividades
6. Dependencias entre actividades
7. Hitos y puntos críticos



8. Comparación de los programas planeados, reales y proyectados

1.6.5 Ventajas y Desventajas

(Calampa, 2014) señala 3 áreas en donde se puede ver ciertas ventajas de utilizar esta herramienta de control:

1. **De espacio:**

- a. Todo en una sola vista
- b. Mejor utilización del sitio
- c. Una sola actividad en muchos locales

2. **De tiempo:**

- a. Se nota muy rápidamente cualquier error por lo que se puede hacer la corrección a tiempo
- b. Se puede reducir el tiempo sin necesidad de correr riesgos.

3. **De gestión**

- a. Se tiene un mínimo riesgo a la hora de hacer la planeación
- b. Se tienen manejan mejor todos los recursos, se cuenta con menos desperdicio y siempre se cuenta con el material necesario para hacer las actividades.
- c. Visualización de diferentes escenarios o alternativas
- d. Visualización de la relación entre el espacio y tiempo
- e. Mejor administración del tiempo
- f. Transparente.

Se cuenta con muchas ventajas a la hora de utilizar el sistema de líneas de balance, sin embargo, existen algunas desventajas entre ellas la aplicación manual la cual es muy extensa; por eso se crearon programas como el DYNAProyect.

Existen pocos casos de aplicación exitosa por lo que no hay mucho interés por parte de los especialistas en implementar esta herramienta y por último en un país como México es baja la probabilidad de éxito por lo que se espera que las futuras generaciones puedan ir implementándolo poco a poco.



2 Metodología

El objetivo de esta metodología es describir mediante a un proceso claro y detallado el uso de la herramienta de líneas de balance en las etapas de planeación, ejecución y control de un proyecto con procesos repetitivos.

También la metodología que a continuación se mostrara tiene como objetivo servir como un recurso adicional para mejorar la etapa de ejecución controlada por el sistema Last Planner, de esta manera se puede llevar un control más preciso.

La metodología se va a dividir en 8 etapas:

- **Etapa 1:** Generalidades del proyecto
- **Etapa 2:** Calendarización
- **Etapa 3:** Selección de Actividades
- **Etapa 4:** Calendario Meta
- **Etapa 5:** Cálculo de Velocidades
- **Etapa 6:** Líneas de Balance
- **Etapa 7:** Ejecución y Seguimiento
- **Etapa 8:** Lecciones Aprendidas

2.1 Etapa 1

Para empezar la etapa de planeación por medio de líneas de balance debemos tener identificado el proyecto en el que se va a realizar, en caso de ser vivienda en serie se debe especificar la cantidad de viviendas a realizar y en el caso de ser un edificio se debe especificar cuantos pisos se van a realizar. La ubicación es otro dato importante que no se debe de omitir ya que es esencial para saber el tiempo de espera para la llegada de material una vez realizada la orden de compra. Por último, se debe de saber el periodo en el que se va a realizar la obra, esto sirve como punto de partida para iniciar el cronograma maestro.

Los cronogramas se utilizan para representar gráficamente un conjunto de actividades en función del tiempo, es importante definir qué tipo de cronograma se



va a utilizar para llevar el control del proyecto. Se recomienda utilizar el cronograma tradicional.

2.2 Etapa 2

Dependiendo de la zona o país en el que se encuentra el proyecto se deben de identificar las fechas importantes como los días feriados, domingos, entre otros con el fin de identificar solamente los días hábiles de trabajo y que de esta manera la planeación del proyecto sea lo más acertada posible.

2.3 Etapa 3

En esta etapa se recomienda que se seleccionen las actividades más influyentes, al ser un sistema de construcción repetitivo las actividades deben de ser las mismas entre las diferentes viviendas. Este proceso se puede hacer tan a detalle cómo se prefiera, pero es recomendable agrupar las actividades relacionadas a un mismo proceso o destinadas a un mismo producto terminado. Ejemplo: Se agrupan todas las actividades relacionadas con la colocación de losa (cimbra, colocación de vigueta y bovedilla, colocación de malla, colado) y se hace una partida llamada "Losa".

2.4 Etapa 4

Una vez que quedaron definidas las actividades el siguiente paso es ponerle fechas de inicio y fin a cada actividad.

Para esto se realiza una tabla en Excel donde se enlistan todas las actividades a realizar y el total de viviendas que se van a construir a lo largo del proyecto y se les asigna una fecha de inicio y fin a cada actividad en cada vivienda.

Tabla de Fechas Ordenadas por Actividades. Cronograma Meta											
Viviendas		1		2		3		4		5	
Fechas	Inicio/Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Actividades	Trazo y Nivelacion										
	Losa de Cimentacion										
	Muro de Block										
	Castillos										
	Cerramientos										
	Colado de Losa										
	Empastado de Losa										
	Pretil										
	Estuco										
	Yeso										

Figura 18: Cronograma Meta

Después de generar la tabla mostrada, el siguiente paso consistiría en transformar esas fechas a números de semana o días dependiendo del tipo de control que se quiera llevar, se recomienda por semanas ya que el método de last planner está basado en las semanas y si queremos utilizar esta herramienta como apoyo sería necesario graficarlo por semanas. al last planner la mejor manera es graficarlo por semanas.

Se hace una tabla igual a la mostrada anteriormente con el mismo formato solo con la diferencia de que las fechas ahora van a ser números de semanas, es importante tenerlo de manera gráfica ya que el número de semanas es muy importante a la hora de calcular las velocidades.

2.5 Etapa 5

La velocidad es definida como espacio entre tiempo, en el caso de las líneas de balance la velocidad puede ser definida como ritmo y se visualiza como la pendiente de cada línea. En el diagrama a continuación el ritmo se representa con la letra "r".

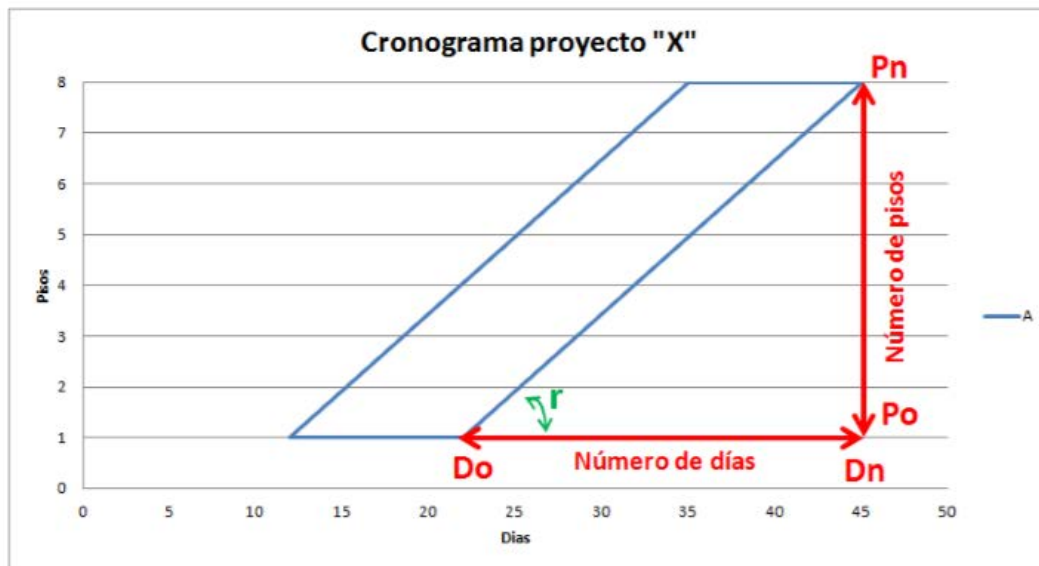


Figura 19: Gráfica para el Cálculo de las Velocidades

Las abscisas y las ordenadas pueden tener diferentes unidades según el proyecto por ejemplo en lugar de días se pueden calcular las velocidades en semanas y los pisos pueden ser intercambiados por viviendas si es el caso en el proyecto.

La velocidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$velocidad = \frac{\text{número de pisos}}{\text{periodo de tiempo}} = \frac{Pn - Po}{Dn - Do + 1}$$

Teniendo calculada la velocidad se puede calcular también el rendimiento multiplicando la velocidad obtenida por el total de metros en cada piso o vivienda de cada actividad. Estas se representan en unidades como m²/semana, m³/día, etc.

$$rendimiento = velocidad * \sum \text{metros por piso}$$

En base al rendimiento podemos calcular también la ratio que nos va a servir más adelante para la planificación correcta del proyecto, este se calcula con la siguiente formula:

$$Ratio = \frac{\text{hrs jornada} * \# \text{ de personas por cuadrilla} * \# \text{ de cuadrillas}}{\text{rendimiento}}$$

El siguiente paso es generar una tabla con las velocidades de cada una de las actividades del proyecto en donde también aparezcan las semanas en las que se va a realizar la actividad, esto con el fin de poder realizar la gráfica de líneas de balance más adelante.

Tabla de Fechas Ordenadas por Actividades. Cronograma Meta								
Viviendas		1		2		3		Velocidad
Fechas Inicio/Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin		
Actividades	Trazo y Nivelacion							
	Losa de Cimentacion							
	Muro de Block							
	Castillos							
	Cerramientos							
	Colado de Losa							
	Empastado de Losa							
	Pretil							
	Estuco							
	Yeso							

Figura 20: Cronograma Meta con Velocidades.

En la tabla siguiente se muestra un ejemplo para el cálculo de las velocidades, se muestra la semana inicial y la final de cada actividad, así como el total de viviendas

a realizar en un proyecto, con esa información y la formula presentada anteriormente se calcula la columna de velocidades.

		Primera Viv	Última Viv	
Partidas	# de viviendas	Sem Viv 1	Sem Viv 10	Velocidad
Trazo y Nivelacion	10	1	3	3.33
Losa de Cimentacion	10	1	5	2.00
Muro de Block	10	2	8	1.43
Castillos	10	2	8	1.43
Cerramientos	10	2	9	1.25
Colado de Losa	10	3	11	1.11
Empastado de Losa	10	3	12	1.00
Pretil	10	4	12	1.11
Estuco	10	7	14	1.25
Yeso	10	7	15	1.11

Figura 21: Tabla para el Cálculo de Velocidades

2.6 Etapa 6

Para hacer la gráfica de líneas de balance utilizamos la herramienta de Excel de diagramas de dispersión lineal XY.

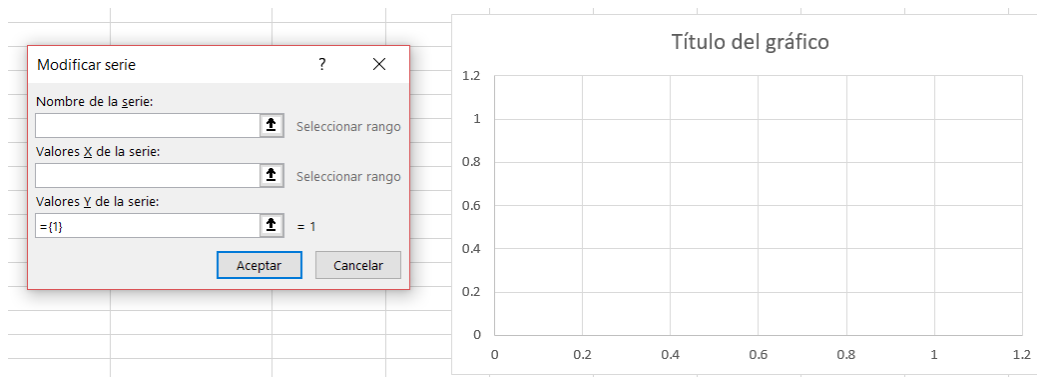


Figura 22: Diagrama de Dispersión XY

Se coloca como nombre de serie la actividad que se va a seleccionar, en los valores de X se colocan las semanas o días dependiendo del control que se necesite y en el eje Y se colocan el total de viviendas o pisos a realizar en el proyecto.

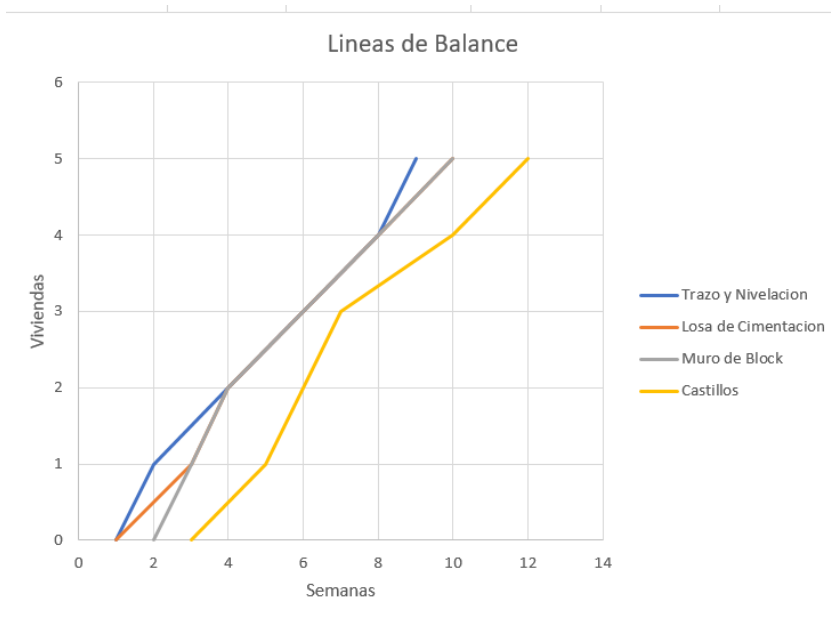


Figura 23: Gráfica de Líneas de Balance

En la figura se muestra un ejemplo corto de cómo debe de quedar el diagrama de dispersión después de haber medido los datos correctos en Excel.

Se recomienda hacer varios diagramas de líneas de balance con diferente tipo de datos para obtener la mayor información posible del proyecto.

2.7 Etapa 7

Ya una vez obtenidos los diagramas de líneas de balance procedemos a la etapa de ejecución donde se van a llevar a cabo todas las actividades del proyecto, en esta etapa lo que se debe de hacer es darle seguimiento a todos los diagramas y cronogramas que se fueron realizando durante la etapa de planeación. Las líneas de balance como ya se mencionó anteriormente son un método de control del avance o rendimiento del proyecto, por ende, cuando se está midiendo el avance y un proyecto se encuentra retrasado es debido a que las líneas sufrieron algún desfase de inicio/fin, en el control del rendimiento las líneas se encuentran con una pendiente diferente lo que indica que se ha afectado la velocidad de trabajo de la actividad.

De la misma manera que se hicieron las gráficas meta de líneas de balance se deben hacer las gráficas reales de líneas de balance para poder hacer una



comparación y poder identificar la causa de los desfases en las actividades y el bajo rendimiento de las cuadrillas para poder tomar acciones correctivas que puedan lograr que el proyecto termine con los resultados meta o, sino que sirva de aprendizaje para los siguientes proyectos.

2.8 Etapa 8

Por último, se lleva a cabo la etapa de lecciones aprendidas al terminar el proyecto, se hace un análisis general y se hace la comparación entre el cronograma meta y el cronograma real con sus diagramas de líneas de balance.

En este análisis se debe de presentar el porcentaje de variabilidad entre los dos diagramas el meta y el real, se deben de analizar las posibles causas de esta variabilidad para sacar conclusiones que sirvan en futuros proyectos.

Entre las posibles causas de una gran variabilidad en los cronogramas están:

- Falta de comunicación entre el equipo encargado de la planeación y la ejecución
- Usar cronogramas reales de proyectos anteriores, este es un caso muy común donde creemos que, al ya tener un cronograma real, va a ser lo mismo para otra obra y en realidad es que cada obra tiene sus diferentes variables y sus diferentes situaciones que conllevan a un cronograma distinto.
- Mucho detalle en la planificación inicial, uno de los principales atractivos de las líneas de balance es que convierte la planificación en una herramienta muy sencilla de utilizar, por lo tanto, no hay necesidad de complicar ni detallar mucho la planificación.

Al terminar de analizar las causas de la variabilidad entre los cronogramas se deben de tomar acciones correctivas para que esto no vuelva a suceder en los siguientes proyectos, ya que la finalidad de hacer una buena etapa de planeación es que al final la variabilidad sea poca o nula y nuestro proyecto pueda salir en tiempo y costo como se planeó desde el inicio.

Para llevar a cabo estas acciones correctivas se debe de hacer una auditoría interna para encontrar las acciones a mejorar ya sean en la etapa de planeación



o en la etapa de ejecución esto con la finalidad de no volver a cometer los mismos errores.

Al analizar toda la obra y las causas de la variabilidad se debe de hacer una junta con todo el equipo de trabajo para mostrar todos los errores y los aspectos a mejorar de cada equipo de trabajo con la finalidad de no volver a cometerlos.

3 Caso de Estudio

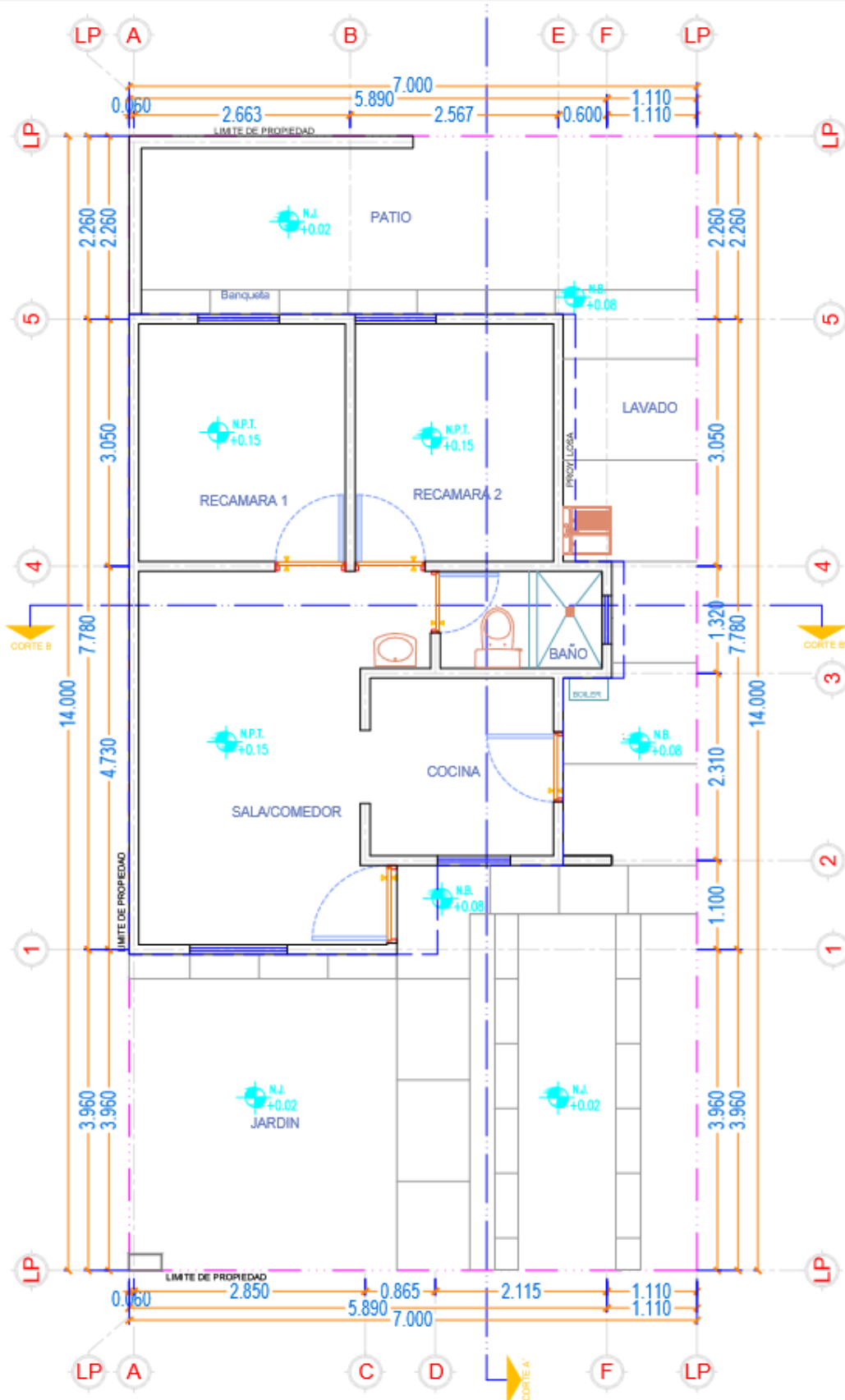
3.1 Generalidades del Proyecto

Con la finalidad de evaluar la metodología descrita anteriormente y validar las ventajas del método de líneas de balance como complemento al Last Planner, se tomó como muestra un Fraccionamiento de vivienda en serie llamado Los Arcángeles ubicado en el municipio de García en Nuevo León.

El proyecto total cuenta con 206 viviendas de 42.16 m² en lotes de 98 m². El sistema constructivo de las casas es de cimentación a base de plataformas, muros de bioblock rellenos de poliestireno en todos los muros exteriores, castillos ahogados a cada 1.20 m y losas aligeradas de vigueta y bovedilla.



Figura 24: Prototipo Vivienda Arcángeles





Para el análisis de la tesis se tomó una muestra de 20 viviendas de las cuales 10 se van a construir bajo el método de líneas de balance y Last Planner y las otras 10 bajo el mismo sistema que la constructora en este caso Complemento Inmobiliario viene haciendo durante todo el proyecto y se harán las comparaciones de los resultados obtenidos para darnos cuenta de las ventajas o desventajas del sistema propuesto.

El sistema de planificación y control que maneja Complemento Inmobiliario se la va a denominar Método Tradicional de Construcción ya que es un ejemplo muy cercano de cómo trabajan generalmente las empresas en la rama de la construcción.

El período de construcción del proyecto es del 5 junio del 2017 al 13 de septiembre del 2017 y se va a utilizar un cronograma tradicional. La jornada de lunes a viernes es de 8:00 – 17:00 y sábados de 8:00 – 1:00 no se trabajan los domingos ni los días festivos por ley en México.

3.2 Selección de Actividades

Las actividades se agruparon de manera en que quedaran juntas todas las actividades relacionadas a un mismo proceso, esto con la finalidad de compactar su número y poder tener un mejor control.

Actividades	1.- Trazo y Nivelación
	2.- Firme
	3.- Muro de Block
	4.- Castillos
	5.- Cerramientos
	6.- Losa
	7.- Empastado en losa
	8.- Pretil
	9.- Goterón
	10.- Colocación de lavadero
	11.- Sacar puntas de agua
	12.- Estuco
	13.- Sellado de muro
	14.- Yeso
	15.- Colocación de azulejo
	16.- Piso interior
	17.- Impermeabilizante
	18.- Pintura en marcos
	19.- Pintura en casa
	20.- Pintura antepuerta
	21.- Colocación de marcos
	22.- Colocación ventanas
	23.- Colocación de puerta y chapas
	24.- Colocación sanitario, lavabo y juego de empotrar
	25.- Coladera y registro
	26.- Instalaciones agua, sanitarias y gas
	27.- Red de drenaje
	28.- Instalación eléctrica
	29.- Enchalupado
	30.- Suministro de acometida
	31.- Banquetas
	32.- Limpieza de patio
	33.- Ciclópeo para barda
	34.- Contracimiento
	35.- Limpieza Gruesa
	36.- Detallado de vivienda para entrega

Figura: 25 Tabla de Actividades



3.3 Calendario Meta

Se analizaron todas las actividades y en base al personal que maneja la obra se le sacó un rendimiento a cada actividad y se hizo un cronograma meta con fechas de inicio y terminación para cada actividad.

Figura 26: Calendario Meta por Fecha

En la siguiente tabla se muestran los mismos datos, pero las fechas se cambiaron a número de semana con la finalidad de controlar la obra bajo el método de Last Planner que planifica por semana.

Tabla de Fechas Ordenadas por Actividades. Cronograma Meta

Actividades	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Viviendas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.- Trazo y Nivelación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.- Firme	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
3.- Muro de Block	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6
4.- Castillos	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6
5.- Cerramientos	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
6.- Losa	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7
7.- Empastado en losa	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8
8.- Pretil	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8
9.- Goteron	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8
10.- Colocación de lavadero	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8
11.- Secar puntas de agua	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8
12.- Estuco	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9
13.- Sellado de muro	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	9	9	9	9	10
14.- Yeso	5	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10
15.- Colocación de azulejo	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11
16.- Piso interior	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11
17.- Impermeabilizante	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11
18.- Pintura en marcos	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11
19.- Pintura en casa	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11
20.- Pintura antepuerta	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11
21.- Colocación de marcos	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
22.- Colocación de ventanas	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
23.- Colocación de puerta y chapas	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
24.- Colocación sanitaria, lavabo y juego de empotr	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
25.- Coladera y registro	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
26.- Instalaciones agua, sanitarias y gas	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
27.- Red de drenaje	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11
28.- Instalación eléctrica	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
29.- Enchapelado	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
30.- Suministro de acometida	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
31.- Banquetas	8	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
32.- Limpieza de patio	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
33.- Ciclopeo para barda	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13
34.- Contracimiento	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13
35.- Limpieza Gruesa	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13
36.- Detallado de vivienda para entrega	10	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	14	14	14	14	14

Figura 27: Calendario Meta por Semana

3.4 Calculo de Velocidades

Para el cálculo de las velocidades utilizamos la tabla de semanas de inicio y fin de cada actividad.

En la tabla que se muestra a continuación se muestran todas las partidas con el total de partidas que se van a realizar y la semana de inicio y fin de cada actividad. Con estos datos y la fórmula presentada anteriormente se procede al cálculo de las velocidades.

	Partidas	# de Viviendas	Sem Viv 1	Sem Viv 10	Velocidad
Actividades	1.- Trazo y Nivelacion	10	1	1	10.00
	2.- Firme	10	1	6	1.67
	3.- Muro de Block	10	1	6	1.67
	4.- Castillos	10	1	6	1.67
	5.- Cerramientos	10	2	7	1.67
	6.- Losa	10	2	8	1.43
	7.- Empastado en losa	10	4	8	2.00
	8.- Pretil	10	4	8	2.00
	9.- Goteron	10	4	8	2.00
	10.- Colocacion de lavadero	10	4	8	2.00
	11.- Sacar puntas de agua	10	4	9	1.67
	12.- Estuco	10	5	9	2.00
	13.- Sellado de muro	10	5	10	1.67
	14.- Yeso	10	5	10	1.67
	15.- Colocación de azulejo	10	6	11	1.67
	16.- Piso interior	10	6	11	1.67
	17.- Impermeabilizante	10	6	11	1.67
	18.- Pintura en marcos	10	6	11	1.67
	19.- Pintura en casa	10	6	11	1.67
	20.- Pintura antepuerta	10	6	11	1.67
	21.- Colocacion de marcos	10	7	11	2.00
	22.- Colocacion ventanas	10	7	12	1.67
	23.- Colocacion de puerta y chapas	10	7	12	1.67
	24.- Colocacion sanitario, lavabo y juego de empotrar	10	7	12	1.67
	25.- Coladera y registro	10	7	12	1.67
	26.- Instalaciones agua, sanitarias y gas	10	8	12	2.00
	27.- Red de drenaje	10	8	12	2.00
	28.- Instalacion electrica	10	8	13	1.67
	29.- Enchalupado	10	8	13	1.67
	30.- Suministro de acometida	10	8	13	1.67
	31.- Banquetas	10	8	13	1.67
	32.- Limpieza de patio	10	9	14	1.67
	33.- Ciclopeo para barda	10	9	14	1.67
	34.- Contracimiento	10	9	14	1.67
	35.- Limpieza Gruesa	10	10	14	2.00
	36.- Detallado de vivienda para entrega	10	10	15	1.67

Figura 28: Tabla de Actividades con Velocidades

35 Líneas de Balance

En base a las velocidades obtenidas y las fechas de inicio y fin de cada actividad se graficaron las líneas de balance meta del proyecto con la finalidad de ir midiendo los avances y compararlos con las líneas de balance reales.

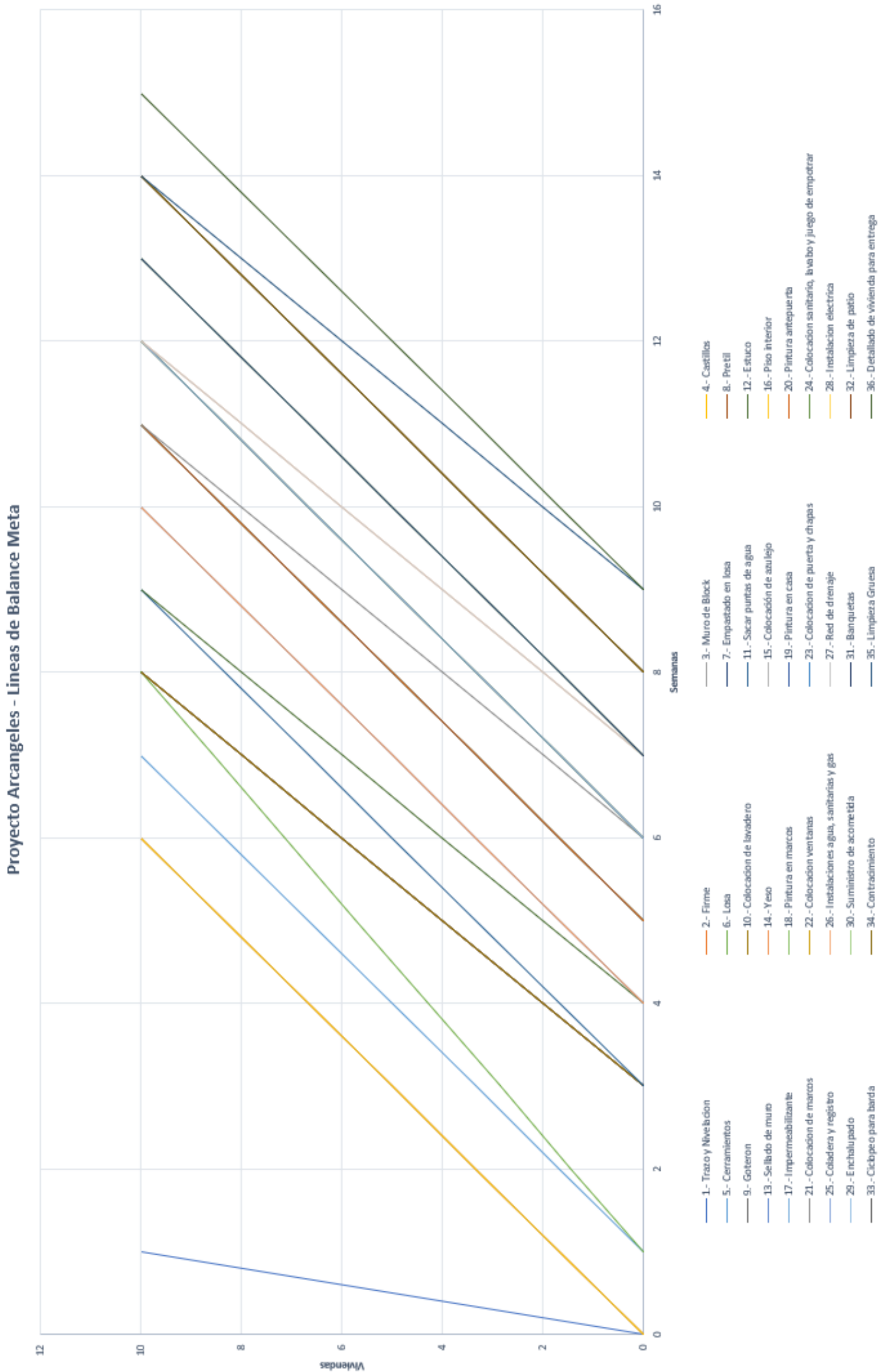


Figura 29: Líneas de Balance Meta

3.6 Ejecución y Seguimiento

Para que exista paridad entre las observaciones de 10 viviendas y podamos tener los resultados más exactos posibles se le destinó a cada muestra la misma cantidad de mano de obra, esto afecta el resultado de las líneas de balance ya que al ir midiendo los tiempos y comparándolos con la gráfica de líneas de balance meta una de las soluciones que se propone es aumentar la fuerza de trabajo con la finalidad de cumplir los tiempos meta, al no tener esa posibilidad se optó por trabajar tiempos extras para tratar de cumplir con la meta del proyecto.

Se obtuvo la siguiente gráfica de líneas de balance.

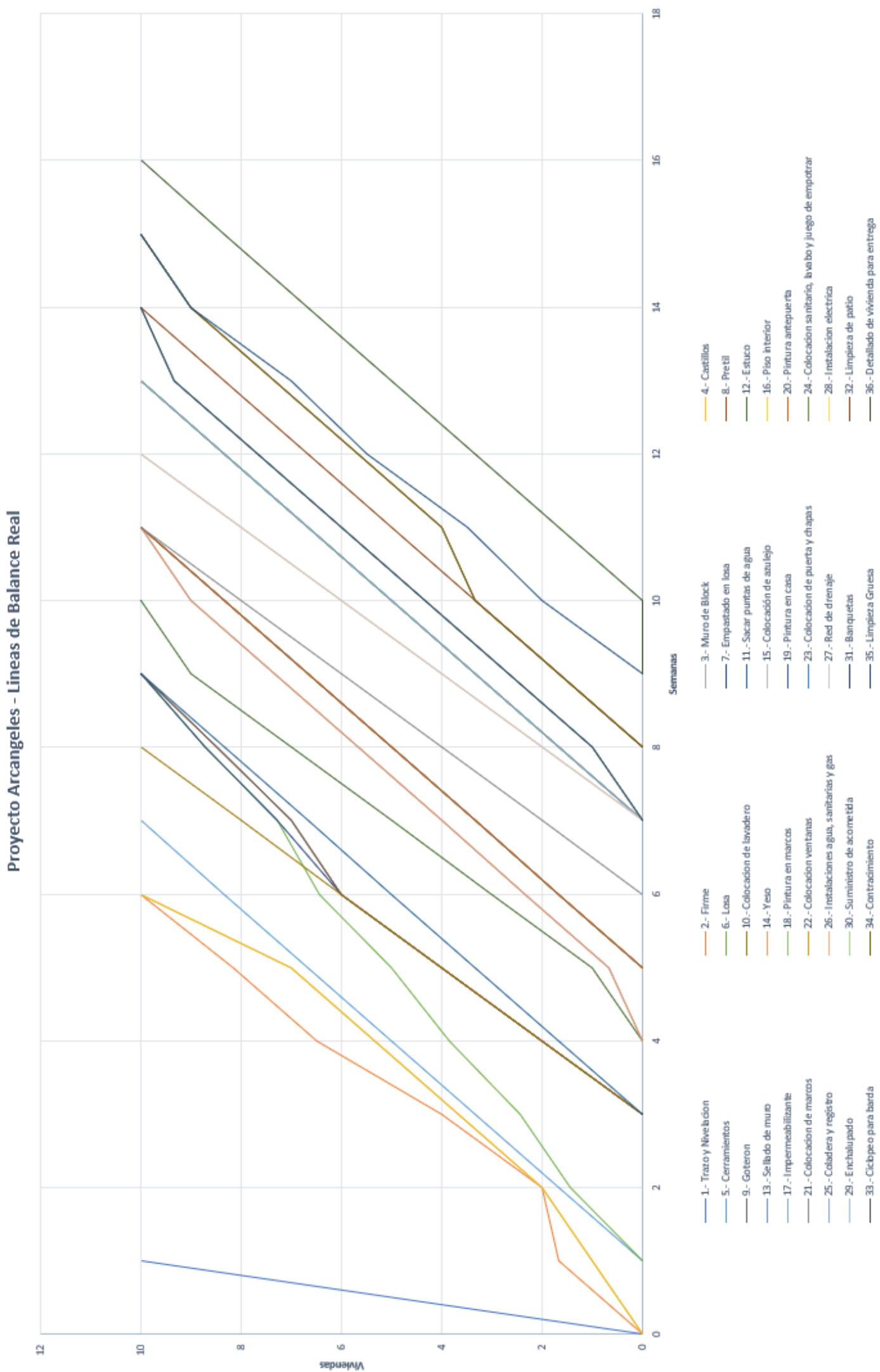


Figura 30: Líneas de Balance

Real



Al graficar mediante a líneas de balance los avances reales de la obra nos ha sido fácil ir identificando movimientos en las pendientes de cada uno de los conceptos, estos movimientos indican que el ritmo de cada actividad ha sido alterado. Una vez identificados estos movimientos se pueden tomar medidas correctivas para no alterar el tiempo total de la obra. Por ejemplo, en la partida de firmes podemos notar un retraso importante durante la segunda semana de trabajo este retraso fue ocasionado por el mal clima así que como solución se extendió la jornada laboral con la finalidad de terminar todos los firmes en la semana 6 como marca el cronograma meta. Si estos movimientos en las líneas de balance no son detectados a tiempo y corregidos lo que sucede es un efecto cadena para todas las actividades lo que automáticamente retrasa el tiempo de finalización del proyecto.

En la gráfica también podemos darnos cuenta de que el tiempo total de la obra se extendió de 15 a 16 semanas, si nos metemos a detalle vemos como el concepto de losa tuvo un tiempo de retraso importante, este retraso fue debido a la falta disponibilidad de bombas para colado por parte del proveedor ya que al tener pocos metros cúbicos de colado se le daba prioridad a otras obras y no se nos atendían de manera adecuada, por esto mismo no se pudo recuperar ese tiempo y nos ocasiono el efecto cadena que habíamos mencionado anteriormente.

En comparación a la segunda muestra de 10 casas se notaron las siguientes diferencias en la forma de trabajar:

1. Se tiene un programa de obra, pero no se le da seguimiento.
2. Los materiales y recursos se piden sobre la marcha sin contemplar los tiempos de entrega de cada proveedor por lo que hacen que las cuadrillas tengan tiempos muertos.
3. No se trabajan horas extra.
4. Se hace una reprogramación en lugar de buscar soluciones para salir en los tiempos meta.

La diferencia en tiempos entre las 2 muestras de casas fue de 2 semanas, consideramos que esta diferencia es bastante grande tomando en cuenta que solo son 10 casas y el proyecto cuenta con 206 viviendas.



3.7 Lecciones Aprendidas

Al terminar el proyecto se hizo un análisis detallado del cronograma meta y el real teniendo como mencionamos anteriormente una diferencia en tiempo de una semana. El proyecto real fue muy cercano al meta debido a diferentes factores:

1. El programa meta fue hecho en conjunto por gente de campo y de diseño, esto sirvió para detectar cada detalle que pudiera retrasar el tiempo de las actividades.
2. Como ya se tenía tiempo trabajando en ese fraccionamiento se conocían los posibles problemas que se pudieran presentar como el tiempo de espera de los materiales ya que al ser el último fraccionamiento dentro del municipio de García muchos materiales tardan de 5-7 días hábiles para llegar por lo tanto se previno esa situación y en base al modelo de Last Planner se hizo una planificación adecuada para la llegada del material.
3. La planificación fue sencilla, el catálogo de conceptos se compacto para tener partidas generales y no tantos conceptos pequeños por ejemplo en la losa se tomó como un conjunto en lugar de desglosarla por conceptos como: acero, cimbra, concreto, etc.
4. Disponibilidad del personal para llevar a cabo el cambio, no se encontró mucha resistencia por parte de los encargados de la ejecución del proyecto y estuvieron abiertos a implementar el sistema con la finalidad de mejorar.

Como se mencionó anteriormente las pequeñas diferencias entre el cronograma meta y el real fueron debido a los proveedores que no cumplieron con la programación de bombas o de fabricación de material como el caso de las ventanas y las puertas que tuvieron un pequeño retraso. Esto tiene que servir como lección por lo que se diseñó un formato de evaluación a los proveedores con el fin de que no vuelva a suceder este tipo de problemas y buscar al proveedor más cumplido y responsable con los tiempos de la obra y cada vez ir haciendo un mejor equipo.

COMPLEMENTO INMOBILIARIO SA DE CV

EVALUACION DE PROVEEDORES

INFORMACION GENERAL		NÚMERO (USO INTERNO)
FECHA: _____		
NOMBRE (RAZON SOCIAL): _____		
DIRECCIÓN: _____		
CIUDAD: _____	ESTADO: _____	C.P. _____
TELÉFONO: _____	E-mail: _____	
RFC: _____	CURP: _____	
CONTACTO: _____		TEL: _____
Fabricante: <input checked="" type="checkbox"/>	Distribuidor: <input checked="" type="checkbox"/>	Prestador de servicios: <input checked="" type="checkbox"/>
PRODUCTO Y CAPACIDAD		
Principales productos y/o servicios		
Antigüedad en el mercado: _____	No. Trabajadores: _____	
CLIENTES PRINCIPALES		
RAZON SOCIAL	NOMBRE CONTACTO	TELÉFONO
CERTIFICACIONES		
Sistema de Calidad:	_____	
Vigencia:	_____	
Alcance de Certificación:	_____	
Otros:	_____	
ADJUNTAR LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS		
1. COPIA DE LA CEDULA FISCAL <input type="checkbox"/>	2. COPIA COMPROBANTE DE DOMICILIO <input type="checkbox"/>	3. COPIA CERTIFICACION <input type="checkbox"/>
FIRMAS		
NOMBRE Y FIRMA DEL SOLICITANTE		
Declaro que los datos en esta aplicación son correctos y autorizo a pasar que los compruebe a su entera satisfacción.		
OBSERVACIONES		
USO INTERNO		
CALIFICA <input type="checkbox"/>	NO CALIFICA <input type="checkbox"/>	
EVALUADO POR:	AUTORIZADO POR:	CAPTURADO POR:
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA

Figura 31: Formato Evaluación Proveedores



Al terminar de evaluar y comparar las 2 muestras de viviendas se tuvo una junta con todo el personal de la empresa Complemento Inmobiliario SA de CV para hacerles ver todos los aspectos que vimos anteriormente, los errores y áreas a mejorar que se tiene en su sistema de trabajo y como por medio de un sistema tan simple como las líneas de balance pueden llegar a tener un ahorro importante en los tiempos y costos.

4. Conclusiones

4.1 Conclusiones Generales

Esta investigación ha sido de utilidad para exponer el panorama actual de la construcción. Aunque esta metodología tiene varios años existiendo en México son pocas las empresas que la llevan a cabo y si bien en México la administración en base a Construcción Lean tampoco es muy común, es importante conocer las herramientas que te ayudan a administrar un proyecto de esta manera. Se espera que en el futuro las empresas empiecen a migrar a este modelo de gestión; la metodología y el caso analizado confirman la necesidad de cambio y la urgencia que tienen las empresas mexicanas en cambiar su manera de trabajar para lograr mejores resultados en sus proyectos.

En México destacan como obstáculos para implementar esta metodología el confort de la empresa ante las prácticas tradicionales y la falta de cultura organizacional que poco a poco en base a estudios como la tesis presentada y la inversión de empresas extranjeras en México han ido orillando a que las empresas se vayan actualizando para poderse mantener en el mercado.

El estudio principal de esta tesis demuestra que no se necesita cambiar toda la estructura organizacional de una empresa para aplicar el método de líneas de balance sin embargo con un mínimo cambio en la forma de trabajar en conjunto del área de diseño y construcción de la empresa se pueden lograr cambios significativos en los proyectos que se convertirían en reducciones valiosas de tiempo y costo.



4.2 Conclusiones Lean

- La necesidad de un cambio en el modelo productivo de las empresas es inevitable
- La tendencia al cambio en la construcción viene en las áreas de productividad, tecnología y el valor agregado.
- A pesar de los desafíos que sufren las empresas para implementar el cambio, se demuestra que las empresas que lo logran tienen muchos beneficios.
- Uno de los retos más importantes para las empresas es lograr el trabajo colaborativo o el trabajo en equipo para poder integrar el sistema IPD y de esta manera hacer que la metodología Lean que se quiera implementar tenga los mayores beneficios.

4.3 Conclusiones Last Planner

- En México el método de Last Planner es la herramienta Lean más utilizada, esto debido a su lenguaje sencillo y su enfoque en la ejecución ya que si bien vamos a cambiar de a poco los malos hábitos que tienen las empresas se tiene que empezar por la etapa dentro del ciclo de vida de un proyecto que tiene más impacto en los costos y los tiempos establecidos.
- La herramienta de líneas de balance viene a complementar la metodología de Last Planner involucrando también a la etapa de diseño en la etapa de elaboración de cronogramas metas y cálculo de las velocidades, sin la ayuda de este departamento la herramienta termina siendo muy variable y con mucha posibilidad de error lo que haría que no tuviera impacto positivo dentro del proyecto.

4.4 Conclusiones Caso de Estudio

- Del caso de estudio analizado en la construcción de 10 viviendas se tuvo una diferencia significativa en tiempo de 2 semanas de diferencia a favor de la construcción bajo el método de las líneas de balance.
- Al hacer un análisis de las razones por las que se tuvieron dichas diferencias se encontraron los mismos viejos hábitos que se plantearon durante el marco teórico del estudio en donde la mala planeación y una falta de comunicación



entre los diferentes departamentos de la empresa hace que no se trabaje con la efectividad que se debería de trabajar.

4.5.Recomendaciones

Se recomienda empezar a usar la metodología mostrada primero en proyectos pequeños ya que si esta herramienta tiene alguna dificultad o desventaja ante otro tipo de herramientas es que en la etapa de planeación es muy laboriosa y se tiene que tener mucha experiencia para que el cálculo de las velocidades sea lo más acertado posible, aunque se haya trabajado en proyectos muy parecidos todos los proyectos presentan dificultades y problemáticas diferentes por eso es que se tiene que tener experiencia para poder identificarlas. En el caso de que las velocidades desde un inicio hayan sido calculadas equivocadamente va a ser muy difícil ajustar y poder completar con el cronograma meta.

5. Bibliografía

- Alarcon, L. U. I. S. Fernando. (2008, noviembre). Un nuevo enfoque en la gestión. Recuperado de <http://www.leanconstruction.es/app/download/5784430907/Construccion%20sin%20perdidas.pdf>.
- Alarcón, L. (1997). Lean Construction. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=cvHjfW_UsvsC&oi=fnd&pg=PP1&dq=what+is+lean+construction+ballard&ots=X5-5itRHP&sig=H7fRSCtzC6aXzrvzjSrJcmik7sw#v=onepage&q=what%20is%20lean%20construction%20ballard&f=false
- Ballard, G. L. E. N. N. (2008). The lean project delivery system: An update. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Glenn_Ballard/publication/228362769_The_lean_project_delivery_system_An_update/links/0fcfd50ae5723ee9fc000000.pdf
- Botero, L. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción Estudio del caso de la ciudad de Medellín. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85201708>
- Calampa, S. E. (2014, 1 noviembre). Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5787/CALAMPA_SARAH_LINEA_BALANCE_PROYECTOS_EDIFICACIONES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz, D. (2014, mayo). APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/diaz_da/sources/diaz_da.pdf
- Díaz, D. (2014, agosto). APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN. Recuperado de



- [http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/1145/1/CHUN_LIZZETHS_LI
NEAS_BALANCE_OBRA.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/1145/1/CHUN_LIZZETHS_LI
NEAS_BALANCE_OBRA.pdf)
- Huarcaya, J. (2014, mayo). EJECUCIÓN LEAN Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN PROYECTOS. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5413/HUARCAYA_JORGE_EJECUCION_LEAN_CONTROL_PRODUCCION_PROYECTO_S_CONSTRUCCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 - Jones, D. A. N. I. E. L. T. (2014, 11 septiembre). What Lean Really is? Recuperado de <http://www.leanuk.org/article-pages/articles/2014/september/11/what-lean-really-is.aspx>
 - Koskela, L. A. U. R. I. (1992, noviembre). Application for the new product philosophy to construction. Recuperado de <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR072.pdf>
 - Koskela, L. A. U. R. I. (2013). Lean Constructions Leveraging Collaboration and Advace Practice. Recuperado de http://www.leangovcenter.com/Pdf/McGraw-Hill_2013.pdf
 - Koskelo, L. A. U. R. I. (2000, 19 mayo). An exploration towards a production theory and its application to construction. Recuperado de <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/2150/isbn951385566X.pdf>
 - Orihuela, P., & Esteves, D. (2013). APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA LÍNEA DE BALANCE A LA PLANIFICACIÓN MAESTRA. Recuperado de http://www.academia.edu/9602950/APLICACI%C3%93N_DEL_M%C3%89TODO_DE_LA_L%C3%8DNEA_DE_BALANCE_A_LA_PLANIFICACI%C3%93N_MAESTRA
 - Womack, J. A. M. E. S. P.. (2003). Banish Waste and create wealth your corporation. Recuperado de http://www.kvimis.co.in/sites/kvimis.co.in/files/ebook_attachments/James%20P.Womack,%20Lean%20Thinking.pdf

