

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

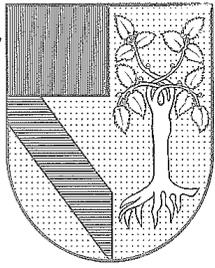
CAMPUS GUADALAJARA

**“EL EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE LA
CONSTRUCCIÓN AL APLICAR LA METODOLOGÍA
LAST PLANNER”**

ING. HORACIO MAYA ÁLVAREZ

Tesis presentada para optar por el grado de
“Maestría” en “Administración de la Construcción”
con Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios
de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994188 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Febrero del 2017



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

Zapopan, Jalisco, Enero 2017

MTRO. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE
EXÁMENES DE GRADO
P R E S E N T E.

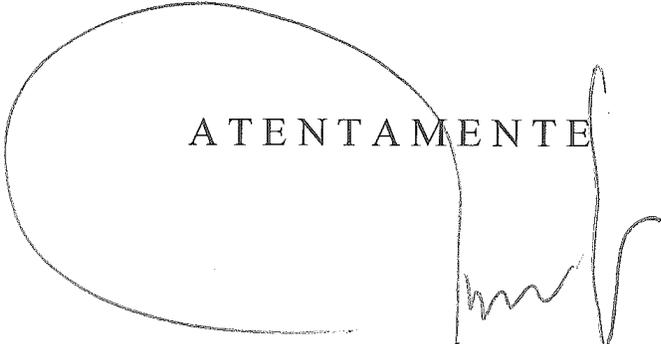
Me permito hacer de su conocimiento que la Sr. Horacio Maya Álvarez, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS, titulada:

“EL EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN AL
APLICAR LA METODOLOGÍA LAST PLANNER”

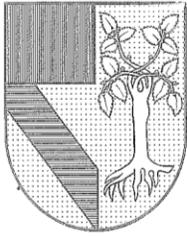
Manifiesto que, después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE



MTRO. NISSIM HASSÓN BALTAZAR
ASESOR DE TESIS



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
CAMPUS GUADALAJARA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C. Sr. Horacio Maya Álvarez
Presente.

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de **TESIS**, titulada:

**“EL EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN AL
APLICAR LA METODOLOGÍA LAST PLANNER”**

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado, por lo que deberá de entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

MTRO. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN
DE EXAMENES DE GRADO

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por toda mi educación, tanto académica, como personal, por su incondicional apoyo en todas las decisiones de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

- Ing. Nissim Hasson Baltazar.
- Dr. Manuel Mondragón Fragoso.
- Dr. Francisco Alejandro Orozco Argote.
- Ing. Omar Daniel Barajas Lima.

RESUMEN

La filosofía Lean Construction tiene algunos años aplicándose en varios países, sin embargo es prácticamente desconocida en México, razón por la cual al emprender este trabajo se eligió este tema para investigar los pormenores de su aplicación así como definir si efectivamente es una herramienta útil para la mejora de la producción en la construcción.

De entre las muchas metodologías para aplicar la filosofía “Lean” se escogió la de “El Último Planificador” por su aparente sencillez y el hecho de que prácticamente no es necesario integrar nuevos puestos a una estructura organizacional ya establecida, sino por el contrario, se trata de mejorar la comunicación y el uso de los recursos ya disponibles.

A grandes rasgos la metodología basa su aplicación y desarrollo en la siguiente premisa:

“La planificación se suele desviar de los planes originales prácticamente el primer día de la obra”.

Es por esta razón que el enfoque para resolver el problema, es la planificación de horizontes de tiempo más cortos, y por tanto más predecibles, más confiables.

De la misma manera se entrelaza de una manera sencilla y eficaz la planificación con el aprendizaje, teniendo como resultado una constante interacción entre lo que se debe hacer, lo que se puede hacer y lo que se hará realmente.

Una parte importante como ya se dijo es el aprendizaje continuo, para lo cual se debe llevar el registro de las evaluaciones de cada uno de los involucrados en los procesos y las causas que los llevaron a obtener esos resultados y entonces definir que decisiones fueron las que mejor resolvieron un problema o mejoraron cierto proceso.

Como se puede ver la metodología abarca varios aspectos, desde la planificación antes del inicio de un proyecto, los cambios que este proyecto sufre a lo largo de su desarrollo, y el registro final de todos los pormenores que llevaron a obtener los resultados que se obtuvieron; toda esta información brinda al personal directivo las herramientas para la toma de decisiones oportunas y mejora la visión a futuro sobre cómo se desarrollarán sus proyectos.

ÍNDICE

Introducción.....	10
1. Marco Teórico.....	16
1.1. Introducción	16
1.2. Fuentes de información.....	16
1.3. Los conceptos a describir	17
1.3.1. Lean Construction y El Último Planificador	17
1.3.2. La Línea de Balance	26
1.4. Observaciones y comentarios.....	30
2. Medición.....	32
2.1. Introducción	32
2.2. Especificaciones Generales de los Proyectos.....	33
2.2.1. Especificaciones Generales Obra 1	33
2.2.2. Especificaciones Generales Obra 2	37
2.3. Diseño del sistema de medición	42
2.3.1. Orden de Trabajo Semanal.....	42
2.3.2. Formato de Avances Reales:	43
2.3.3. Evaluación de Residentes:	44
2.3.4.- Causas de Incumplimiento:.....	45
2.4. Resultados.....	46
2.4.1. Medición de la Obra 1	46
2.4.2. Medición de la Obra 2.....	49
2.5. Observaciones y comentarios.....	55
3. Análisis	57
3.1. Introducción	57
3.2. Método de Análisis	57
3.3. Análisis de los resultados.....	57
3.3.1. Producción Semanal Obra 1	57
3.3.2. Producción Semanal Obra 2.....	60
3.3.3. Variación de la Productividad	62
3.3.4. Análisis del P.A.C. (Obra 2).....	66
3.4. Conclusiones y comentarios	69
Conclusiones.....	70
Bibliografía.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción por concepto.....	14
Tabla 2. Variación de producción total.....	14
Tabla 3. Porcentaje de Actividades Completadas.....	15
Tabla 4. Datos generales de los 2 proyectos.....	31
Tabla 5. Catálogo de conceptos del proyecto 1.....	34
Tabla 6. Catálogo de conceptos del proyecto 2.....	38
Tabla 7. Formato de Orden de Trabajo.....	43
Tabla 8. Llenado del Avance Semanal de Obra.....	44
Tabla 9. Registro de las Evaluaciones Semanales del personal.....	45
Tabla 10. Registro de las Causas de Incumplimiento.....	45
Tabla 11. Reporte del Avance.....	47
Tabla 12. Registro del Avance Semanal.....	49
Tabla 13. Orden de Trabajo Llena.....	52
Tabla 14. Evaluación de Residentes.....	53
Tabla 15. Registro de Causas de Incumplimiento.....	54
Tabla 16. Medición de la Producción.....	63
Tabla 17. Medición de la Producción.....	64
Tabla 18. Medición de la Producción.....	65
Tabla 19. Causas de Incumplimiento.....	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Línea de balance.....	13
Gráfica 2. Niveles de planificación	26
Gráfica 3. Método de barras convencional	27
Gráfica 4. De Línea de Balance.....	27
Gráfica 5. Ejemplo de un programa de obra usando la Línea de Balance.....	30
Gráfica 6. Plano general del proyecto 1	33
Gráfica 7. Programa de obra del Proyecto 1.....	36
Gráfica 8. Plano general del proyecto 2.....	37
Gráfica 9. De Línea de Balance	41
Gráfica 10. De Avance Real.....	48
Gráfica 11. De Avance Real.....	51
Gráfica 12. Registro del P.A.C.....	53
Gráfica 13. De Las Causas de Incumplimiento.....	55
Gráfica 14. Lookahead Obra 1.....	58
Gráfica 15. Avance Real Obra 1.....	58
Gráfica 16. En los círculos rojos se ven graficados los re trabajos más fuertes.....	59
Gráfica 17. Lookahead Obra 2.....	60
Gráfica 18. Avance Real Obra 2.....	60
Gráfica 19. Analisis del Avance Real.....	61
Gráfica 20. Del P.A.C.....	67
Gráfica 21. Causas de Incumplimiento.....	68

Introducción

El porqué de esta tesis

El tema de esta Tesis surge de la inquietud personal de conocer el efecto en la producción que se da en una empresa constructora cuando se aplica la metodología *Last Planner* en sus procesos.

En mi experiencia personal he notado que las empresas constructoras mexicanas han descuidado en forma desmedida la planeación de sus proyectos y peor aún, la planeación del rumbo de la empresa misma, teniendo como consecuencia una enorme cantidad de re trabajos y por consiguiente una enorme pérdida económica que afecta profundamente las finanzas de estas empresas.

Es por eso que en mi opinión es muy interesante conocer cómo se ven afectados los procesos de una construcción al aplicar la metodología *Last Planner*, para de esta forma saber si la producción se ve beneficiada, perjudicada o incluso se mantiene indiferente a los cambios introducidos.

Antecedentes

Durante los últimos años han surgido un sinnúmero de investigaciones que tratan sobre los principios de Lean Construction, una nueva filosofía de producción para la industria de la construcción, que aborda aspectos tales como el diseño, integración diseño-construcción, cadena de abastecimiento, procesos de producción, planificación, etc. Todas estas líneas de investigación dentro de lo que es la filosofía de Lean Construction apuntan hacia un mismo objetivo, optimizar el desempeño de los procesos de producción asociados a la realización de proyectos de construcción; reduciendo y/o eliminando aquellas fuentes que impliquen minimizar el desempeño de estos (reducción de pérdidas); busquen maximizar sus ganancias, en otras palabras, mejorar la eficiencia y eficacia de los sistemas de producción; y satisfagan los requerimientos de los clientes.

El sistema *Lean Construction* tiene su origen en Japón en la década de los 70's, cuando el Ingeniero Taichi Ohno de Toyota conceptualizó el sistema *Lean Production* una serie de principios relacionados con expresiones tales como: *Justo a*

tiempo, Gestión de Calidad Total y Reingeniería entre otros, los cuales revolucionaron la forma en que las líneas de producción automotrices funcionan, mejorando considerablemente su producción y bajando enormemente los costos relacionados a ellas. Esta filosofía de trabajo apuntaló en buena medida el crecimiento de Toyota llegando esta empresa a ser la líder en producción automotriz a nivel mundial y sentando las bases de lo que al día de hoy ya es un estándar en casi cualquier línea de producción, hablese de vehículos, electrodomésticos, calzado, etc.

Es pues el sistema *Lean Construction* una aplicación de la misma filosofía ideada por Ohno a la industria de la construcción. Tomando en cuenta las enormes diferencias que hay entre una línea de producción en la cual se trabaja en un área con un ambiente casi completamente controlado y el ambiente de una obra de construcción en la cual un simple evento como la lluvia cambia enormemente las condiciones de trabajo. Publicaciones como *El Último Planificador (Last Planner)* abordan el tema de la aplicación de la metodología *Lean Construction*.

Hipótesis

La hipótesis planteada para la realización de esta Tesis se define como sigue:

“La aplicación de la metodología Last Planner puede mejorar la Productividad en las obras

Objetivos

El objetivo de esta Tesis es el de conocer cómo se ven afectados los procesos de construcción y sus resultados al aplicar la metodología *Last Planner*, para lo cual se plantea cumplir los siguientes objetivos particulares:

1. Medir la producción semanal de cada frente de trabajo, así como el porcentaje de cumplimiento de actividades programadas de los encargados

de obra y comparar los resultados de una obra aplicando la metodología Lean y otra sin aplicarla.

Realizar una síntesis de cuáles son los aspectos que fueron más fáciles de aplicar y que brindaron los mejores resultados.

Delimitación del tema

Se pretende medir dos obras similares en especificaciones para que los resultados sean lo más equivalentes posibles, para lo cual se escogieron dos obras de urbanización (movimiento de tierras, red de drenaje, agua potable, vialidades, y red eléctrica) para fraccionamientos de interés social. Ambas obras se encuentran en el Estado de Jalisco y se usará la misma maquinaria y personal tanto administrativo como obrero. El tipo de suelo en ambos terrenos es de tipo arena volcánica, por lo que el tratamiento y el proceso constructivo son idénticos para ambos proyectos.

Como se dijo en los objetivos se medirán y compararán únicamente los siguientes aspectos:

- Producción semanal.
- Variación en la Productividad.

Para esta Tesis se definirá la productividad de la siguiente manera: “*La relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos*”, es decir cuanto menor sea el tiempo que lleve a obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

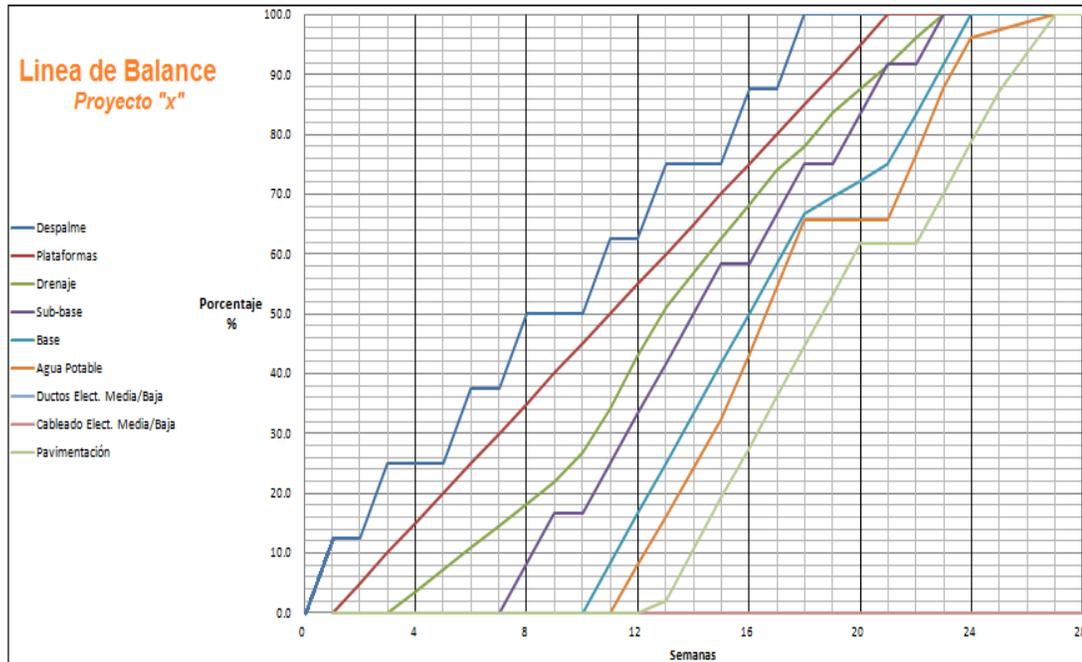
Metodología

La metodología de medición para esta Tesis se llevará a cabo como se detalla a continuación:

Producción semanal:

La medición de la producción semanal se llevará mediante el registro de los trabajos realizados cada semana en la obra y serán graficados en una línea de balance

donde se verá la relación entre el % de avance (eje de las “y”) y el tiempo transcurrido (eje de las “x”) como se muestra en la **gráfica 1**.



Gráfica 1. Línea de balance

En esta gráfica se puede apreciar la productividad con respecto al tiempo invertido en cada tipo de trabajo, y se va registrando hasta completar el 100% de avance cada actividad.

Variación en la Productividad

En este apartado se pretende medir dos aspectos, el primero trata sobre la variación de la productividad de una obra a otra y el segundo sobre la variación de la productividad de los encargados de la construcción durante el transcurso de la obra en la que se aplica la metodología *Lean*.

Variación de la Productividad de una obra a otra

Primero se obtiene la producción por concepto es decir la producción de cada uno de los conceptos de trabajo que contiene el catálogo de las dos obras a medir, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Producción por concepto

Obra "A"

Concepto	Un.	Cant. Total	Tiempo Total (sem)	Producción
Formación de capa filtrante a base de material de banco "tezontle" en capas de 20 cms. de espesor acomodado con equipo pesado.	m3	23,661.23	P27.00	876.34
Formación de base de 30 cms. de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms. de espesor compactado al 95% de su PVSM.	m3	35,491.85	31.00	1,144.90

Obra "B"

Concepto	Un.	Cant. Total	Tiempo Total (sem)	Producción
Formación de capa filtrante a base de material de banco "tezontle" en capas de 20 cms. de espesor acomodado con equipo pesado.	m3	23,661.23	22.00	1,075.51
Formación de base de 30 cms. de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms. de espesor compactado al 95% de su PVSM.	m3	35,491.85	28.00	1,267.57

Finalmente para obtener la *Variación en la Producción Total* de las dos obras y saber si la productividad mejoró o empeoró y en qué medida, se usará la siguiente tabla:

Tabla 2. Variación de producción total

Concepto	Un.	Producción "A"	Producción "B"	Var. De la Producción
Formación de capa filtrante a base de material de banco "tezontle" en capas de 20 cms. de espesor acomodado con equipo pesado.	m3	876.34	1,075.51	19%
Formación de base de 30 cms. de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms. de espesor compactado al 95% de su PVSM.	m3	1,144.90	1,267.57	10%
Variación de la Producción Total				14%

Es decir en este caso para el Proyecto “B” se incrementó la productividad en un 14% respecto al proyecto “A”.

Variación de la productividad de los residentes durante la obra

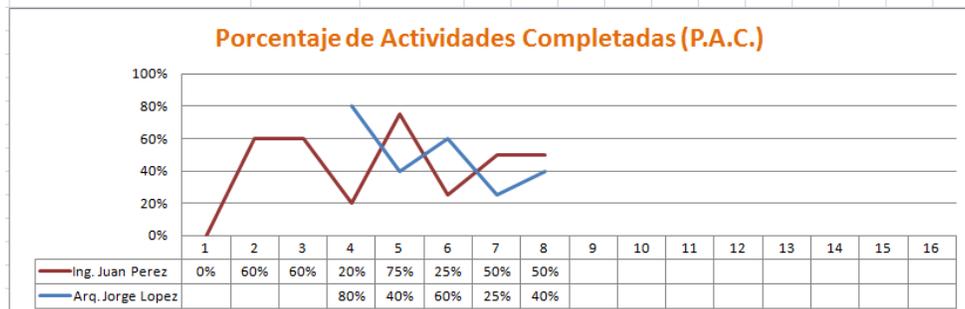
Como se dijo anteriormente se pretende estudiar la variación de la productividad de los residentes obteniendo semanalmente el Porcentaje de Actividades Completadas (P.A.C.). Esta medición sólo se hará en el transcurso de la obra en la que se aplica la metodología Lean ya que nunca se ha medido anteriormente.

El P.A.C. mide hasta qué punto el supervisor del frente de trabajo ha realizado los compromisos. Analizando las no conformidades o causas de no cumplimiento, se pueden detectar las fuentes de dichos incumplimientos, y así la mejora puede ser introducida en el desempeño futuro.

El P.A.C. se obtendrá llenando semanalmente una tabla como la que se muestra a continuación, esta información provendrá de los resultados al final de la semana de las órdenes de trabajo de cada encargado.

Tabla 3. Porcentaje de Actividades Completadas

Evaluación de Residentes		Promedio Historico	MAYO				JUNIO				JULIO			
Nombre:	Frente:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ing. Juan Perez	% de cumpl.	86%	45%	97%	99%	50%	149%	68%	91%	88%				
	P.A.C.	43%	0%	60%	60%	20%	75%	25%	50%	50%				
Arq. Jorge Lopez	% de cumpl.	84%				109%	100%	73%	65%	75%				
	P.A.C.	49%				80%	40%	60%	25%	40%				



1. Marco Teórico

1.1. Introducción

Como ya se dijo en la Introducción de esta tesis, el trabajo de Taiichi Ohno en Toyota así también publicaciones como *“The Last Planner”* (El Último Planificador, Ballard & Howell 1997) y *“La Máquina que cambió al Mundo”* (Womack y Jones, 1992) y muchas otras que iremos citando en el desarrollo de esta tesis han sentado las bases y posteriormente dando forma al concepto *Lean*. Sin embargo en nuestro país este concepto es muy poco conocido dentro de la industria de la construcción, en parte debido a que el marco legal no da espacio para su implementación en los proyectos de carácter público y en parte también a la falta de una cultura de planeación que está muy arraigada en la sociedad en general. Es por eso que este capítulo está dedicado a definir los conceptos más importantes y la filosofía general de la metodología.

En México el concepto *Lean* es muy desconocido incluso en la industria de la manufactura, que es la industria de la cual proviene éste y casi todas las metodologías de mejora de calidad y producción, llámese Six Sigma, ISO, 5´s, etc. Así que es de esperar que en la industria de la construcción sea prácticamente inexistente y por lo tanto sea muy difícil encontrar casos de aplicación de la misma, razón por la cual la mayor parte de la información sobre el tema proviene de países como Estados Unidos, Japón, España y en América Latina de Chile. Este último destaca por el gran avance que han tenido en la última década en ramas de la construcción como la minería.

1.2. Fuentes de información

Como principales fuentes de información para esta Tesis se tendrán las siguientes publicaciones y sitios web:

- The Machine That Changed The World, Womack & Jones, 1990.
- Un Sistema de Control de Producción Para La Construcción: El Último Planificador, Luis F. Alarcón.

- Lean Enterprise Institute México, www.lean.org.mx
- Pensamiento Lean, Womack & Jones, 1996.
- Papers o Journals sobre el tema.

1.3. Los conceptos a describir

1.3.1. Lean Construction y El Último Planificador

El término *Lean* significa esbelto, por lo que en muchas publicaciones se puede encontrar como *Construcción Esbelta*, aunque sigue teniendo mayor aceptación el término en inglés.

Se conoce como *Lean Construction* a la metodología que busca disminuir la variabilidad en los procesos constructivos, así como mejorar el flujo entre las diferentes actividades del sistema, reduciendo el desperdicio y eliminando las actividades que no le generan valor al producto final. Hace hincapié en que para generar un sistema de producción eficiente es necesaria la participación de todos los involucrados en el proceso, desde los contratistas, residentes de obra, jefes de obra, encargados de almacén, jefe de maquinaria, personal administrativo y directivos.

Un flujo de trabajo predecible, en cualquier punto de la producción hará posible que se reduzca la variación de los requerimientos de recursos, así disminuir el rediseño de las operaciones siguientes. Las técnicas propuestas basadas en los principios de Lean Construction han sido probadas tanto en diseño, como en construcción, en proyectos pequeños y grandes, fast track y secuenciales, así como en el trabajo de subcontratistas especializados.

De acuerdo con Ballard (1994), en los esquemas convencionales de manejo de obra en construcción, se invierte mucho tiempo y dinero en generar presupuestos y planificaciones de obra. El esfuerzo de planificación inicial se convierte durante la ejecución de la construcción en un esfuerzo de control. Todo funcionaría bien si viviésemos en un mundo perfecto. La planificación se suele desviar de los planes originales prácticamente el primer día de la obra, causando una reacción en cadena que genera la necesidad de replanificar gran parte del proyecto. Al ir reduciendo las holguras dentro de la planificación general, se va generando una presión mayor por terminar más rápido. Esto hace que las cosas se pongan, por lo general, aún peor.

Los costos de mano de obra y equipo suben radicalmente. En estos casos se usa una gran cantidad de recursos, a una eficiencia muy baja, para lograr terminar la obra en los plazos establecidos.

Como respuesta a la costumbre de planificar y controlar los proyectos de forma global, se han desarrollado una serie de metodologías para resolver el problema de la falta de confiabilidad de las planificaciones en forma diferente. En principio, el enfoque para resolver el problema, es la planificación de horizontes de tiempo más cortos, y por tanto más predecibles, más confiables.

El sistema de El Último Planificador (The Last Planner: Improving Reliability in Planning and Work Flow, Ballard & Howell, 1997) tomó la filosofía de Lean Construction y desarrolló un sistema de aplicación en el que se detalla la forma en que se deben realizar las mediciones, evaluaciones y toma de decisiones para la mejora del flujo de actividades. Como principales mediciones se tiene el Porcentaje de Actividades Completadas (P.A.C.), Inventario de Trabajos Ejecutable (I.T.E.) y Las Causas de No Cumplimiento (C.N.C). Teniendo en cuenta estos tres indicadores se hacen juntas semanales para evaluar la semana anterior y planear la siguiente tomando en cuenta los errores que se tuvieron anteriormente.

Componentes del Sistema del Último Planificador:

Programa Maestro

El programa maestro genera el presupuesto y el programa del proyecto. Proporciona un mapa de coordinación de actividades que lleva a la realización de éste. Esta etapa es de vital importancia para que el sistema Último Planificador proporcione los beneficios esperados. El programa maestro o planificación inicial debe ser desarrollado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra, sólo de esta manera se podrá dar validez al sistema Último Planificador, ya que se estarán supervisando tareas que, en la realidad, representan la forma en que trabaja la empresa.

Planificación Lookahead

El proceso de planificación Lookahead es el segundo nivel en la jerarquía del sistema de planificación. Resalta las actividades que deberían hacerse en un futuro cercano.

Su principal objetivo es controlar el flujo de trabajo, entendiéndose como flujo de trabajo la coordinación de diseño (planos), proveedores (materiales y equipos), recurso humano, información y requisitos previos, que son necesarios para que la cuadrilla cumpla su trabajo. Luego, para poder cumplir las funciones de la planificación Lookahead, existen determinados procesos específicos. A continuación se explicarán cada uno de los procesos específicos que permiten desarrollar una adecuada planificación Lookahead.

Definición del intervalo de tiempo de la Planificación Lookahead

Recordemos que el número de semanas sobre el cual se extiende la Planeación Lookahead es escogido de acuerdo a las características del proyecto, la confiabilidad del sistema de planificación, y los tiempos de respuesta para la adquisición de información, materiales, mano de obra y maquinaria. Algunas actividades tienen tiempos de respuestas largos para generar el abastecimiento, es decir, un largo período desde el momento en que se piden recursos hasta que éstos son recibidos. Estos períodos de respuesta deben ser identificados durante la planificación inicial para cada actividad incluida en el programa maestro.

Definición de las actividades de la Planificación Lookahead

Para preparar la Planificación Lookahead explotaremos las actividades del programa maestro que estén contenidas dentro del intervalo definido, siempre y cuando el nivel de detalle de programación inicial sea bajo. Lo anterior es de vital importancia, ya que obtendremos en la PL un nivel de detalle que nos permitirá clarificar de mejor forma las restricciones que nos impiden realizar una determinada tarea.

Lo que obtendremos en la planificación Lookahead es un conjunto de tareas para un intervalo de tiempo dado. Cada una de estas tareas tiene asociada un conjunto de

restricciones, que determinan si la tarea puede o no ejecutarse. Una restricción es algo que limita la manera en que una tarea es ejecutada. La restricción involucra requisitos previos o recursos.

Después de identificar cada una de las tareas y sus restricciones dentro de la Planificación Lookahead, se procede a realizar el análisis de las restricciones.

Análisis de Restricciones

Una vez que las asignaciones o tareas sean identificadas, se someterán a un análisis de restricciones, las que pueden ser de diseño, trabajo previamente ejecutado, espacio, equipos y además una categoría ampliable para otras restricciones. Las cuales podrían incluir permisos, inspecciones, aprobaciones, etc. Las restricciones de diseño prácticamente pueden ser extraídas de la definición del modelo de actividad: la claridad de las directrices (el nivel de exactitud requerida), el trabajo previamente necesario (datos, evaluaciones, modelos), y recursos técnicos para la ejecución.

Inventario de trabajo ejecutable (ITE)

El inventario de trabajo ejecutable está compuesto por todas las tareas que poseen alta probabilidad de ejecutarse, es decir, está conformado por las tareas de la planificación Lookahead que tienen liberadas sus restricciones. De esta manera se crea un inventario de tareas que sabemos que pueden ser ejecutadas.

Dentro del Inventario de Trabajo Ejecutable puede existir el siguiente tipo de actividad:

- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen al ITE de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas.
- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura que se desea planificar.
- Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras (situación ideal de todo planificador)

Si una actividad del Plan de Trabajo Semanal no es capaz de ser ejecutada o si se ejecutan algunas actividades antes de lo esperado, el inventario de Trabajos

Ejecutables proveerá otras actividades, con lo que las cuadrillas de producción no quedarán ociosas, o lo que sería peor, no terminarán realizando tareas al azar que se salgan de la secuencia de trabajo y que más tarde generen trabajos más costosos o de mayor dificultad. Las actividades listas para ejecutar deben cumplir los mismos criterios de calidad que las asignaciones de la semana.

Luego de haber creado el inventario de trabajo ejecutable, estamos en condiciones de crear un Plan de Trabajo Semanal (PTS), que no es más que seleccionar un conjunto de actividades del ITE que se realizarán en la semana siguiente.

Planificación de trabajo semanal

La planificación semanal presenta el mayor nivel de detalle antes de ejecutar un trabajo. Debe ser realizada por administradores de obra, supervisores de terreno, capataces y otras personas que supervisan directamente la ejecución del trabajo.

La gestión de proyectos tradicional aborda la planificación semanal definiendo actividades y un programa de trabajo, antes de comenzar, en términos de lo que DEBE ser ejecutado. Las actividades son identificadas, se estima su duración y se organizan secuencialmente para cumplir de la mejor forma los objetivos del proyecto. Se realiza el trabajo, diseñando cuadrillas, que son encomendadas por la administración para hacer lo que el programa señala DEBE ser ejecutado, sin considerar si PUEDE realmente hacerse en un intervalo de tiempo específico. Los recursos se asumen disponibles cuando se necesiten, lo que debe presumiblemente garantizar la ejecución de lo programado.

Después que el programa ha sido determinado y el trabajo está en progreso, se reúnen los recursos: materiales y mano de obra, y se termina adaptándolos al programa de la mejor manera posible.

Formación del Plan de Trabajo Semanal

Como mencionamos anteriormente, el Plan de Trabajo Semanal es una selección de tareas que se encuentran dentro del ITE. Escoger que trabajo será ejecutado en la próxima semana desde lo que sabemos puede ser ejecutado (ITE), recibe el nombre de “asignaciones de calidad”. Sólo asignaciones de calidad pueden ser ejecutadas en el plan de trabajo semanal, lo que protege el flujo de producción de

incertidumbres, lo que apunta a crear un flujo confiable de trabajo para la unidad de producción que ejecutará el plan de trabajo semanal. Los planes de trabajo semanal son efectivos cuando las asignaciones cumplen los cinco criterios de calidad:

- Definición: ¿Las asignaciones son suficientemente específicas para que pueda recolectarse el tipo y cantidad correcta de información o materiales? ¿El trabajo puede coordinarse con otras disciplinas? ¿Es posible afirmar al final de la semana si la asignación ha sido terminada?
- Consistencia: ¿Son todas las asignaciones ejecutables? ¿Entendemos lo que se requiere? ¿Tenemos lo que necesitamos de otros? ¿Tenemos todos los materiales disponibles? ¿Está completo el plan anterior? ¿Están los trabajos pre-requeridos completados? Debemos tener en cuenta además, que algún trabajo que debió estar listo la semana anterior será terminado durante la actual semana, por lo que es necesario coordinarse con otras especialidades que trabajarán en la misma área. No obstante, debemos hacer el esfuerzo de terminar el trabajo en la semana en que se planificó.
- Secuencia: ¿La selección de asignaciones fue hecha en base a la secuencia provista por la red CPM inicial, en orden de prioridad y constructibilidad? ¿Son el resultado de estas asignaciones esperadas por alguien más? ¿Existen asignaciones adicionales consideradas de baja prioridad identificadas en el inventario de trabajos ejecutables, es decir, existen tareas de calidad para suplir a otras en caso de fallar la productividad o de exceder las expectativas?
- Tamaño: ¿Los tamaños de las asignaciones se determinan según la capacidad individual o grupal de las unidades de producción antes de comenzar el período de ejecución?
- Retroalimentación o aprendizaje: Para las asignaciones que no son completadas en la semana ¿Existe una identificación de las causas de no cumplimiento y de las acciones correctivas?

Reunión de Planificación Semanal

La planificación del trabajo semanal se debe desarrollar preferentemente durante una reunión en la semana anterior. En esta reunión deben participar todos los

involucrados relacionados con prerrequisitos, recursos compartidos, directrices u otras limitaciones potenciales. Los propósitos de la reunión son los siguientes:

- Revisar y aprender del PAC de la semana anterior.
- Analizar las causas de no cumplimiento.
- Tomar acciones para mitigar las causas de no cumplimiento.
- Realizar un paralelo entre los objetivos alcanzados y los propuestos por el proyecto.
- Determinar las actividades que entran en la planificación Lookahead, analizando y responsabilizando las restricciones de cada tarea ingresada.
- Realizar un adecuado análisis de las restricciones (revisión y preparación).
- Determinar el ITE para la próxima semana.
- Formular el plan de trabajo para la semana siguiente.
- Determinar la preparación necesaria a desarrollar en la semana en curso.
- Para cumplir los propósitos de la reunión existe información que debe llevar el coordinador del sistema de control y el último planificador.

El último planificador:

- Lleva a la reunión su PAC y causas de no cumplimiento, adicionalmente entrega una primera opinión de las causas de no cumplimiento.
- La información del estado del trabajo.
- Lista tentativa de las tareas para la próxima semana
- Una revisión del estado de restricciones de las tareas que se le asignaron dentro de la ventana Lookahead.
- Listado de las tareas que entrarán en el proceso Lookahead, además de la planificación Lookahead de la semana anterior.

Coordinador:

- Lleva programa Maestro y la planificación Lookahead.

- Lleva una comparación entre los objetivos logrados y los propuestos por el proyecto, con el objetivo de marcar claramente las directrices del funcionamiento de cada unidad productiva.
- Actualiza y lleva el ITE.

La reunión debe seguir una determinada estructura. Sólo de esta forma se asegurará que se cumplan los propósitos de la reunión. A continuación se señala una estructura que resume la secuencia básica a tratar en la reunión:

Estructura de la reunión:

- Se parte analizando el PAC de la semana anterior, las causas de no cumplimiento, tomando acciones correctivas inmediatamente si es posible.
- Se analiza el cumplimiento de las tareas pendientes de la semana anterior.
- Se realiza el paralelo entre los objetivos alcanzados y los propuestos por el proyecto, aclarando las responsabilidades de todos los involucrados.
- Se analiza el análisis de restricciones para las tareas que entran en la semana siguiente.
- Se crea el ITE con las actividades que poseen todas sus restricciones liberadas, más las tareas remanentes de la semana anterior.
- Con la planificación Lookahead de la semana anterior y teniendo en cuenta el ITE preparado de la semana siguiente, cada último planificador entrega las tareas para la semana siguiente y se discute la que en definitiva se realizará, analizando secuencia, responsables, carga de trabajo (si son capaces de ejecutarlo) y si el trabajo seleccionado es adecuado.
- El coordinador se compromete a entregar al siguiente día el programa semanal a cada último planificador.
- Además se discute el estado de las otras actividades dentro de la planificación Lookahead en relación a sus restricciones (se discute con cada responsable), lo anterior con el objetivo de poder liberarlas en lo posible con dos semanas de anticipación o para dar soluciones que faciliten esta liberación.
- Luego, y teniendo presente las tareas que cada último planificador entrega como tentativas para ingresar a la planificación Lookahead, se verifican las

que realmente entrarán a la planificación Lookahead contrastándolas con el programa Maestro.

- Posteriormente se asignan los responsables de liberar las restricciones de las nuevas tareas ingresadas a la planificación Lookahead.
- Teniendo la nueva planificación Lookahead, el coordinador la entregará a más tardar al día siguiente a cada último planificador.
- Por último se destaca el “compromiso” que asume cada “último planificador” haciendo referencia que es la instancia más importante de la reunión.

En cada reunión semanal se deben discutir abiertamente la planificación Lookahead, el inventario de trabajo ejecutable y la planificación semanal, sin imponer órdenes por parte del coordinador, esto hará que los últimos planificadores se sientan partícipes dentro de la planificación de la obra.

En esta Tesis se busca saber si hay una mejora en la productividad usando la Metodología Lean Construction aplicando el Sistema de El Último Planificador en dos obras de similares proporciones y tipologías. Es por esto que se dedica este capítulo a definir y despejar de toda duda la definición de estos dos conceptos ya que de no ser así no se sabrá que indicadores es necesario medir.

Los niveles de planeación del Sistema de el Último Planificador se pueden resumir en la siguiente imagen:



Gráfica 2. Niveles de planificación

1.3.2. La Línea de Balance

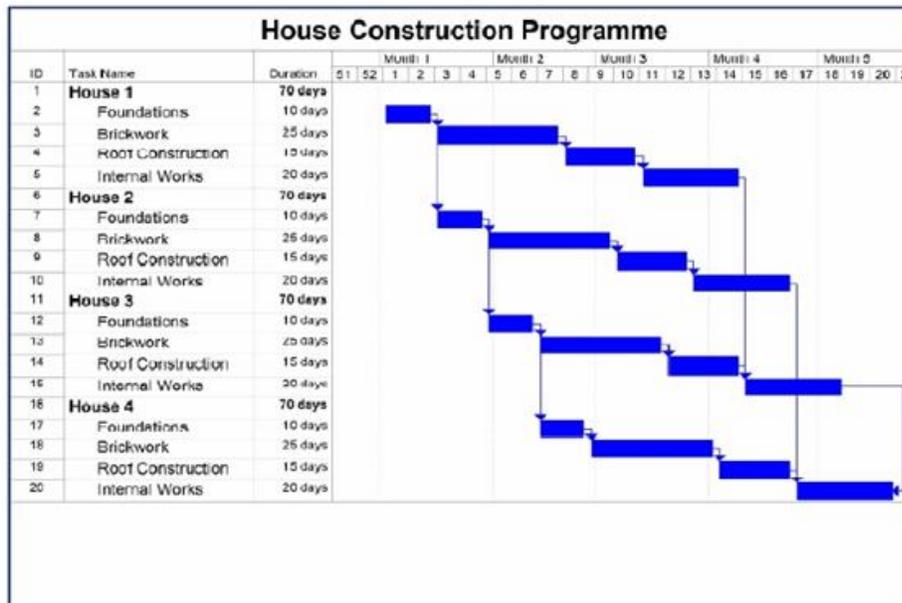
La programación de proyectos usando el método de la Línea de Balance se originó primeramente en la empresa Goodyear a principios de los 40's, sin embargo su uso en la planeación de proyectos fue desarrollado por el ejército de los Estados Unidos durante la guerra de Corea a mediados de la década de los 50's. El concepto básico de la línea de balance se ha utilizado como método de planeación en los proyectos de construcción, varias variantes con diferentes nombres se han desarrollado, por ejemplo: Diagramas de Velocidad (Roeh, 1972), Método de la Producción Vertical (O'Brien, 1975), Modelo de Programación Repetitiva (Reda, 1990).

Sin embargo, su uso no se ha expandido mayormente en la construcción en parte debido a la inmensa popularidad que los Diagramas de Red y de Gantt han tenido en los últimos años. Es en las obra de tipo repetitivo como los desarrollos habitacionales en serie, las carreteras, vías férreas, oleoductos y acueductos, donde la línea de balance muestra sus mayores cualidades.

La línea de balance es un método para mostrar el trabajo repetitivo que pudiera existir en un proyecto usando una sola línea en una gráfica en lugar de usar una serie de barras. Una línea de balance se puede usar en cualquier proyecto en el que

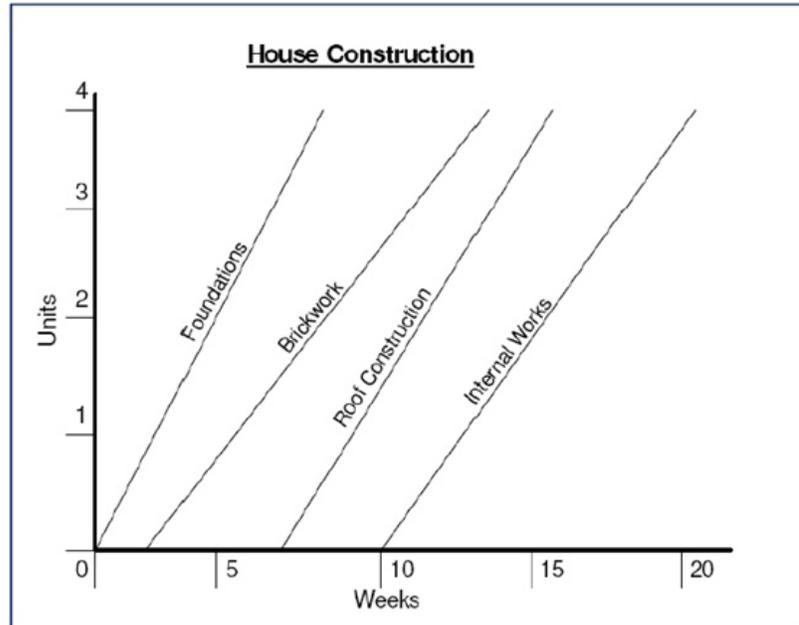
las actividades dependan unas de otras y sean de una duración más o menos prolongada.

Un ejemplo típico es el de la construcción de varias viviendas iguales, en el que las actividades se agrupan de la siguiente manera: cimentación (Foundations), muros (brickwork), losa de azotea (roof construction), e instalaciones (internal trade). Si estas actividades son programadas usando el método de barras convencional se vería de la siguiente manera:



Gráfica 3. Método de barras convencional

Estas mismas actividades programadas en una gráfica de Línea de Balance, se verían como se muestra en la grafica siguiente:



Gráfica 4. De Línea de Balance

Como se puede apreciar la principal diferencia entre las 2 gráficas es que la Línea de Balance agrupa todas las actividades similares en una sola línea y en consecuencia un número grande de varias actividades similares en un documento mucho más sencillo. A diferencia de la grafica de barras que solamente muestra la duración de las actividades, la Línea de Balance muestra la duración y la velocidad a la que las actividades son realizadas, así como la interacción entre las diferentes actividades, es decir se puede apreciar si el ritmo de la construcción de muros está afectando o va a afectar el ritmo de la construcción de losas de azotea. Nótese también que hay un cierto periodo de tiempo entre cada actividad, a estos periodos de tiempo se le llaman *Buffers*, y su función es la de asegurar que no haya interferencia entre las dos actividades durante la ejecución de las mismas.

En el ejemplo anterior se tiene en el eje de las "x" el tiempo y en el eje de las "y" el número de unidades a producir, sin embargo este último eje se puede adecuar para adaptarse a cada proyecto, es decir que se puede usar, cadenamientos carreteros en obras viales o de ductos, m2 en obras de limpieza y medición, m3 en obras de

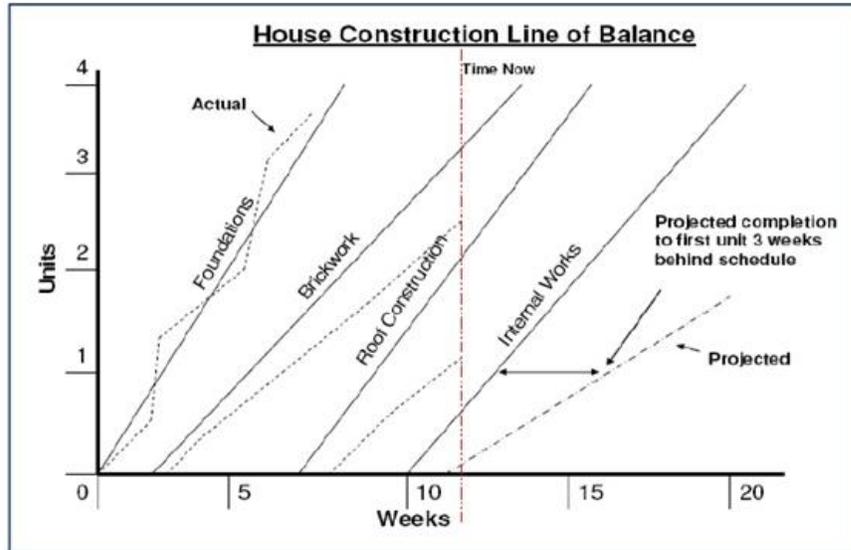
movimiento de tierras, porcentajes o incluso una mezcla de varios, usando una unidad para cada línea.

No hay reglas estrictas en el uso y desarrollo de la Línea de Balance, y como en muchos métodos de planeación se requiere tiempo y experiencia para desarrollar su aplicación.

En la figura anterior se muestra la programación ideal de las actividades ya que ninguna interrumpe a la otra y todas las actividades tienen un flujo constante e ininterrumpido, sin embargo, en grupos de actividades más complejos y que involucran un gran número de insumos es usual ver líneas mucho más erráticas, dando como resultado una fluctuación igualmente errática en la necesidad de estos insumos. La Nivelación de Recursos puede mejorar esta situación, es decir mejorando el flujo de recursos en las actividades que más lo necesitan.

El progreso de las actividades reales de la construcción se puede ir graficando junto con la gráfica originalmente planeada para comparar ambas y determinar qué actividades son las que modificarán el tiempo total del proyecto.

Por ejemplo, para el ejemplo anterior se puede actualizar la gráfica a la semana 12 superponiendo el avance real de la obra, y se puede apreciar que los cimientos (foundations) corren según programa y casi terminados, sin embargo el trabajo de muros (brickworks) y de losa (roof construction) se encuentran retrasados. Los trabajos de instalaciones (internal work) no han iniciado, pero el avance esperado se encuentra ya graficado y por extrapolación se puede ver que la primera unidad quedará lista con 3 semanas de retraso.



Gráfica 4. Ejemplo de un programa de obra usando la Línea de Balance.

Este retraso se puede corregir mejorando el ritmo de trabajo en los muros (brickwork) y losas (roof construction), tomando medidas que mejoren la eficiencia o incrementando los recursos destinados a esas operaciones.

Las gráficas Línea de Balance tienen sin embargo sus desventajas ya que no muestran la relación directa entre las actividades de la forma en que un diagrama de barras lo hace. Por lo que muchos autores recomiendan el uso conjunto de los 2 tipos de programas para sacar provecho de las bondades de cada uno.

1.4. Observaciones y comentarios

Como ya se dijo, el Sistema del Último Planificador es un método de aplicación de la filosofía Lean aplicada a la industria de la construcción. En ella se usan herramientas como la ya vista Línea de Balance y se toma en cuenta las variaciones típicas de la industria, siendo esta variación el principal factor a mejorar y controlar.

El Sistema del Último Planificador es un sistema de gestión de calidad, como lo es el ISO 9000 o el PDCA (Plan, Do, Check, Act), sin embargo a diferencia de los últimos 2, está pensado específicamente para las obras de construcción y no toma en cuenta en su implementación los aspectos administrativos y/o contables de las empresas, sólo la parte de proyecto, ejecución de los trabajos y retroalimentación de

la información. Esto último, sumado al hecho de que se le da una gran importancia a la participación de trabajadores que usualmente no son considerados en la toma de decisiones hace suponer que su implementación genere entusiasmo y por lo tanto será más sencilla de aplicar que los sistemas de gestión de calidad antes mencionados.

Es de notar, sin embargo, que la expansión del uso del Sistema del Último Planificador no se haya extendido de la forma en que otras corrientes y su uso está prácticamente limitado a un puñado de países, en los cuales aún se debate si su aplicación influye de manera significativa en las mejoras de producción de las empresas constructoras.

2. Medición

2.1. Introducción

En este capítulo se presentará la medición de dos obras similares, una en la que se aplica el sistema Last Planner y otra en la que no. Se compararán rendimientos de la productividad y la cantidad de re-trabajos. Así como el porcentaje de variación proyecto-obra de las 2 construcciones. Los avances se midieron semanalmente y se llevó registro de las causas de los principales problemas que impidieron el cumplimiento de metas. Como se trata de dos obras a medir, se tiene entonces que:

Población = 2

Muestra = 2

Las obras en cuestión tienen las siguientes características:

Tabla 4. Datos generales de los 2 proyectos

	Obra 1	Obra 2
Tipo de obra:	Urbanización	Urbanización
Incluye:	Preliminares Trazo y medición Limpieza y despalle Red de drenaje Red de agua potable Movimiento de tierras (Plataformas) Red eléctrica Vialidades	Preliminares Trazo y medición Limpieza y despalle Red de drenaje Red de agua potable Movimiento de tierras (Plataformas) Red eléctrica Vialidades
Area de los trabajos (m2):	19,925.52	134,814.18
Semanas de medición:	18.00	23.00
Aplic. Sist. Ult. Plan.:	No	Si
Equipo utilizado:	Motoconformadora (1) Rodillo Liso (1) Pata de cabra(1) Retroexcavadora (1) Bailarina (1) Finisher (1) Petrolizadora (1) Compactador Neumaticos (1)	Motoconformadora (5) Rodillo Liso (4) Pata de cabra(2) Retroexcavadora (6) Bailarina (3) Finisher (1) Petrolizadora (1) Compactador Neumaticos (2)
Numero de residentes:	1.00	2.00
Jefes de Obra:	1.00	1.00

2.2. Especificaciones Generales de los Proyectos

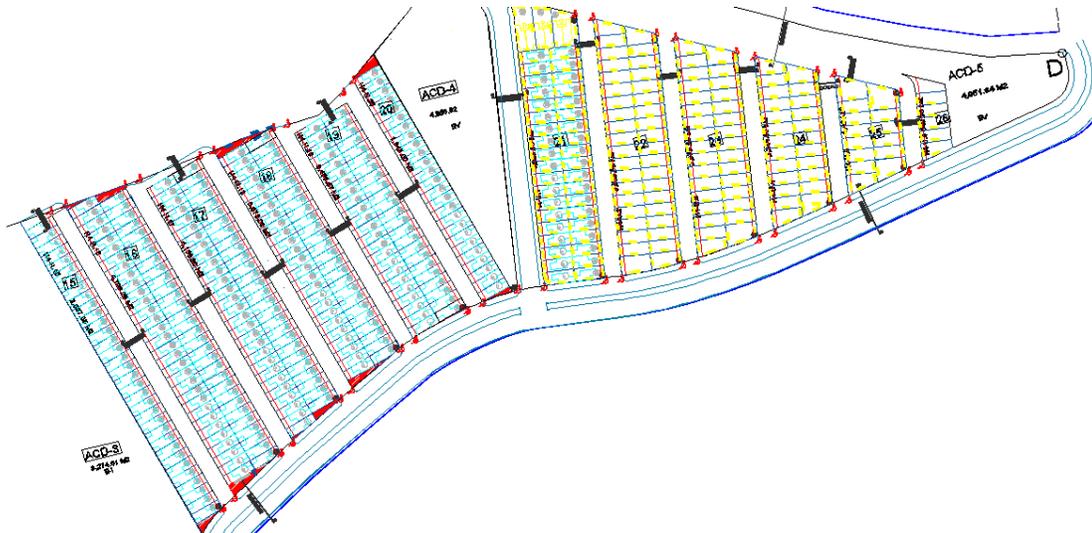
Como ya se dijo en la introducción se medirán y compararán únicamente los siguientes aspectos:

- Producción semanal.
- Variación en la Productividad.
- Relación Proyecto-Obra Real.

La recopilación de información no fue simultánea, sino que se realizó primero la Obra 1 y posteriormente la Obra 2, por lo tanto se presentará la información y los resultados de cada obra en el mismo orden, iniciaremos con la Obra 1.

2.2.1. Especificaciones Generales Obra 1

A continuación se muestra el plano general del proyecto, el cual consta de 430 lotes, con su respectiva red de drenaje sanitario, agua potable, machuelos, banquetas, pavimento, red eléctrica y alumbrado público.



Gráfica 5. Plano general del proyecto 1

El catálogo de conceptos del proyecto completo se muestra en la siguiente tabla:

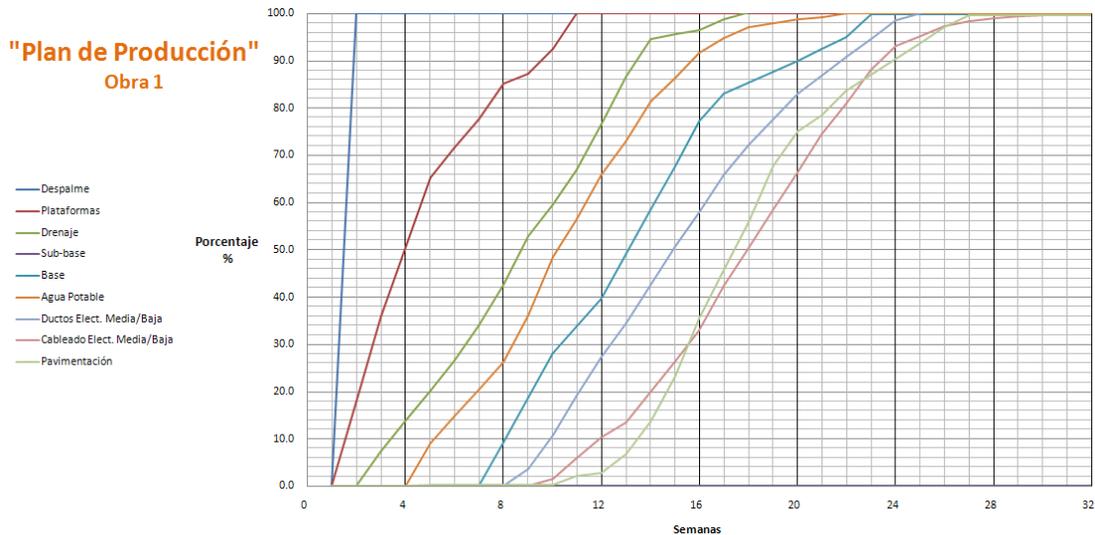
Tabla 5. Catálogo de conceptos del proyecto 1

CONCEPTO	UN.	CANT.
Despalme		
Despalme de terreno en 15 cms. de espesor promedio con máquina. Incluye: Equipo, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M2	19,925.92
Carga y acarreo de material producto de despalme en camión a banco de tiro ubicado a 6 km de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	2,988.89
Plataformas		
Formación de base de 30 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con moto conformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	8,712.23
Drenaje		
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 12" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 10" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	42.00
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 8" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	577.32
Pozo de visita de sección variable de 0.90 a 0.60 m de 1.50 m de profundidad a base de muros de tabique r.r.	PZA	17.00
Suministro y colocación de brocal y tapa de concreto	PZA	17.00
Suministro y colocación de descargas 4"	PZA	164.00
Suministro y colocación de descargas 8"	PZA	4.00
Base		
Formación de base de 15 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con moto conformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	1,197.00
Agua Potable		
Suministro y colocación de tubería de 3" PVC hidráulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	186.72
Suministro y colocación de tubería de 2" PVC hidráulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	1,063.47
Suministro y colocación de "TEE" de 3" PVC hidráulico	PZA	7.00
Suministro y colocación de "TEE" de 2" PVC hidráulico	PZA	8.00

Suministro y colocación de "REDUCCIÓN" de 3" a 2"	PZA	6.00
Suministro y colocación de "CODO 90 " de 2" PVC	PZA	8.00
Suministro y colocación de "TAPON" de 3" PVC	PZA	1.00
Suministro y colocación de "TAPON" de 2" PVC	PZA	18.00
Suministro e instalación de válvulas de seccionamiento de PVC, tipo ESFERA en líneas de agua potable de 2".	PZA	9.00
Suministro e instalación de válvulas de seccionamiento de PVC, tipo ESFERA en líneas de agua potable de 3".	PZA	1.00
Atraques de concreto simple de 30 x 30 x 30 cms,	PZA	60.00
Toma domiciliaria en línea de 2" a base de tubo de kitec azul 1216 de 1/2" de 1.50 m de long., Incluye: abrazadera de PVC de 2" 1/2", válvula de inserción de 1/2", válvula esfera Fig. 550 13 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", conector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	PZA	164.00
Pavimentación		
Banqueta de concreto f'c=150 kg/cm2 de 5 cms de espesor.	ML	305.00
Guarnición de concreto simple de 15 x 30 cms "tipo pecho de paloma", concreto f'c=200 kg/cm2.	ML	1,274.00
Riego de impregnación a base de emulsion asfáltica a razón de 1.5 lts/m2.	M2	5,171.00
Suministro y colocación de carpeta de concreto asfáltico, de 5 cms. de espesor. Incluye: Suministro y aplicación de riego de liga a base de emulsión asfáltica, tendido y compactado de carpeta, compactada al 95% de su PVSM, riego de sello con material pétreo 3A, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M2	5,171.00
Colocación de banderola de señalización	PZA	12.00
Aplicación de pintura de banderola	PZA	12.00
Rotulación de banderola	PZA	12.00
Duct. Eléctrica (media/baja)		
Poliducto 3"	ml	2,444.00
Poliducto 2"	ml	935.00
Poliducto 1 1/4"	ml	9,852.00
Registro RMTB-3	pza	1.00
Bóvedas	pza	8.00
Registro RBTBA-2	pza	17.00
Registro RBTCC-2	pza	34.00
Murete medición iluminación	pza	4.00
Anclas	pza	46.00
Postes con luminarias	pza	46.00
Registro 33x33	pza	52.00
Registro 40x40	pza	13.00

Cableado Eléctrica (media/baja)		
Cable 1/0 energía	ml	1,035.00
Triplex	ml	2,810.00
Suministro Tro`s 50 kva	pza	8.00
Herrajes de conexión (codos, boquillas)	pza	16.00
Cable cal 6 para luminarias	ml	1,221.00
Cable cal 10 para luminarias	ml	1,221.00
Puesta en marcha de Tro`s 50 kva	pza	8.00
Colocación Duplex en acometidas	ml	455.00

Dicho catálogo de conceptos se planeó y programó con base al siguiente programa de obra, reflejado en una gráfica de Línea de Balance, la cual se muestra en la siguiente imagen.



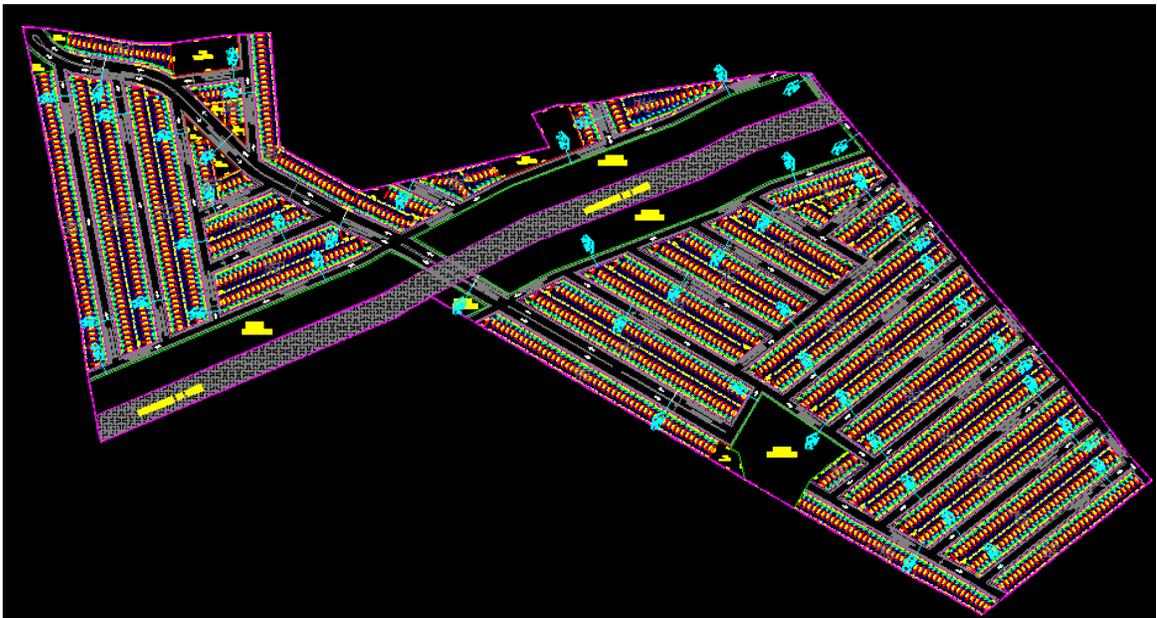
Gráfica 6. Programa de obra del Proyecto 1

Entre los aspectos que se pueden apreciar de la gráfica anterior destaca el que las actividades de *Pavimentación* y *Cableado Media/Baja Tensión* se cruzan en varias ocasiones, esto se debe a que una actividad no interviene directamente con la otra, es decir que se puede pavimentar y cablear la misma sección del proyecto sin que

esto implique un atraso en ninguna de las dos actividades. Por el contrario las demás actividades si afectan a su predecesora o sucesora, es decir, por ejemplo, no se puede trabajar en la *Red de Drenaje* de una calle y al mismo tiempo en la misma calle, trabajar en la *Sub-Base* de esa vialidad.

2.2.2. Especificaciones Generales Obra 2

El plano general de la Obra 2, se muestra a continuación, al igual que el anterior se trata de un desarrollo en urbanización que cuenta con red de drenaje, agua potable, plataformas, red eléctrica subterránea, vialidades y alumbrado público.



Gráfica 7. Plano general del proyecto 2

El catálogo de conceptos del proyecto completo de la Obra 2 se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Catálogo de conceptos del proyecto 2

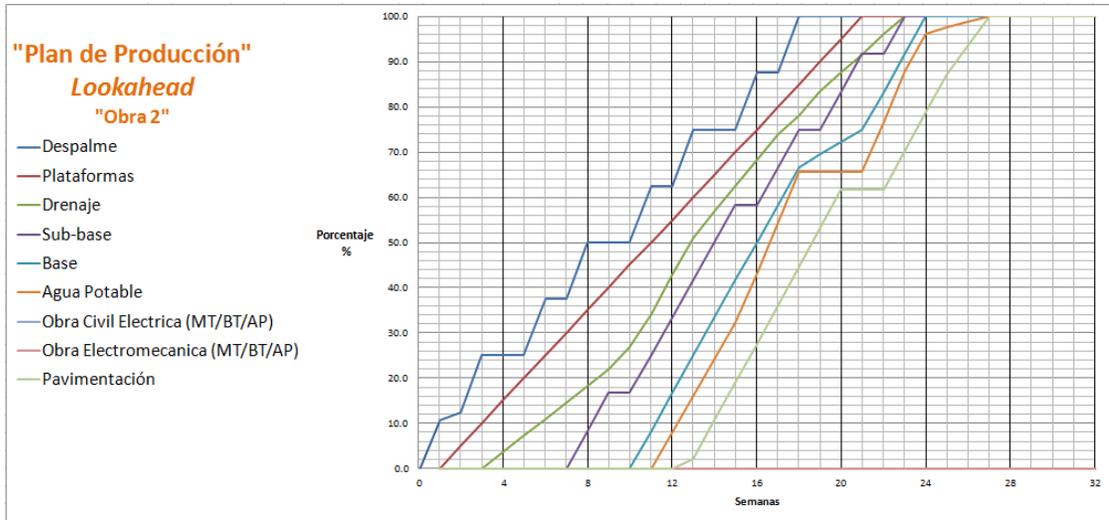
CONCEPTO	UN	CANT
Despalme		
Despalme de terreno en 15 cms. de espesor promedio con máquina. Incluye: Equipo, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M2	134,814.18
Carga y acarreo de material producto de despalme en camión a banco de tiro ubicado a 6 km de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	26,288.77
Plataformas		
Formación de base de 30 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con moto conformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	35,491.85
Fonación de capa filtrante a base de material de banco "tezontle" en capas de 20 cms de espesor acomodado con equipo pesado. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con moto conformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	23,661.23
Drenaje		
Suministro y colocación de tubería de PVC NOVAFORT (PAD) de 18" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	282.00
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 12" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	144.00
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 10" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	378.00
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 8" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	3,084.00
Pozo de visita de sección variable de 0.90 a 0.60 m de 1.50 m de profundidad a base de muros de tabique r.r.	PZA	98.00
Suministro y colocación de brocal y tapa de concreto	PZA	98.00
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 15" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	342.00
Suministro y colocación de tubería de PVC Novafort de 24" de diam. Incluye: Acostillado de tubería con material producto de excavación, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	40.98
Suministro y colocación de descargas 4"	PZA	1,404.00
Suministro y colocación de descargas 8"	PZA	
Sub-base		

Fonación de capa filtrante a base de material de banco "tezontle" en capas de 20 cms de espesor acomodado con equipo pesado. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con moto conformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	13,239.55
Base		
Formación de base de 15 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con moto conformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	13,239.55
Agua Potable		
Suministro y colocación de tubería de 4" PVC hidráulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	1,128.00
Suministro y colocación de tubería de 2" PVC hidráulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	5,472.00
Suministro y colocación de "TEE" de 4" PVC hidráulico	PZA	11.00
Suministro y colocación de "TEE" de 2" PVC hidráulico	PZA	27.00
Suministro y colocación de "REDUCCIÓN" de 4" a 2"	PZA	11.00
Suministro y colocación de "CODO 90 " de 2" PVC	PZA	16.00
Suministro y colocación de "CODO 45 " de 2" PVC	PZA	1.00
Suministro y colocación de "TAPÓN" de 2" PVC	PZA	41.00
Suministro e instalación de válvulas de seccionamiento de PVC, tipo ESFERA en líneas de agua potable de 2".	PZA	14.00
Atraques de concreto simple de 30 x 30 x 30 cms,	PZA	110.00
Toma domiciliaria en línea de 2" a base de tubo de kitec azul 1216 de 1/2" de 1.50 m de long., Incluye: abrazadera de PVC de 2" 1/2", válvula de inserción de 1/2", válvula esfera Fig. 550 13 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", conector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	PZA	1,243.00
Toma domiciliaria en línea de 4" a base de tubo de kitec azul 1216 de 1/2" de 1.50 m de long., Incluye: abrazadera de PVC de 2" 1/2", válvula de inserción de 1/2", válvula esfera Fig. 550 13 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", conector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	PZA	161.00
Pavimentación		
Banqueta de concreto f'c=150 kg/cm2 de 5 cms de espesor.	ML	8,988.37
Guarnición de concreto simple de 15 x 30 cms "tipo pecho de paloma", concreto f'c=200 kg/cm2.	ML	10,086.79
Riego de impregnación a base de emulsión asfáltica a razón de 1.5 lts/m2.	M2	31,859.32
Suministro y colocación de carpeta de concreto asfáltico, de 5 cms. de espesor. Incluye: Suministro y aplicación de riego de liga a base de emulsión asfáltica, tendido y compactado de carpeta, compactada al 95% de su PVSM, riego de sello con material pétreo 3A, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M2	31,859.32
Colocación de banderola de señalización	PZA	56.00
Aplicación de pintura de banderola	PZA	56.00
Rotulación de banderola	PZA	56.00
Obra Civil Eléctrica (MT/BT/AP)		

Cable de Cobre dsd CU-2 AWG	ml	1,815.00
Poliducto PAD liso 2" MT	ml	3,825.00
Registro de concreto RMTB3	pza	5.00
Registro de concreto RMTB4	pza	7.00
Registro de concreto BTMRMTB3	pza	7.00
Bóveda de concreto sumergible	pza	2.00
Base de transformador reducido BT1F	pza	7.00
Poliducto PAD liso 2" BT	ml	6,431.00
Poliducto PAD liso 1 1/4" BT	ml	19,751.20
Registro de concreto RBTB1	pza	72.00
Registro de concreto RBTB2	pza	121.00
Murete de concreto para medición sencillo	pza	620.00
Murete de concreto para medición doble	pza	15.00
Poliducto PAD liso 1 1/4" AP	ml	5,082.00
Base de concreto piramidal 0,7x0,8x0,50 mts	pza	169.00
Registro de concreto 33x33x40 cms	pza	157.00
Registro de concreto 40x40x60 cms	pza	80.00
Murete de concreto para control de alumbrado	pza	7.00
Obra Electromecánica (MT/BT/AP)		
Transición eléctrica 3F-4H	ml	3.00
Cable de potencia XLP cal. 1/0 AWG 23 KV	ml	3,815.00
Herrajes de conexión (codos, boquillas)	pza	18.00
Sistema de tierra en registros y Junctions	lote	21.00
Colocación de Tro´s pedestales y/o sumergibles	ml	16.00
Sistema de tierra en transformadores	ml	16.00
Puesta en marcha de Tro´s (prueba de Tros)	pza	16.00
Prueba de conductores eléctricos MT	Lote	3.00
Cable Triplex 2+1 cal. 3/0 AWG 600 Volts	pza	4,533.00
Cable Triplex 2+1 cal. 1/0 AWG 600 Volts	pza	2,204.00
Instalación de cable para acometida 1+1 cal. 6 AWG	pza	20,516.00
Cable XLP 2+1 cal. 4 AWG 600 Volts Ap	pza	666.00
Cable XLP 2+1 cal. 6 AWG 600 Volts Ap	pza	5,280.00
Luminaria tipo colonial mexicana 100 W 240 Volts	pza	116.00

Luminaria tipo OV-15 VSAP 150 W 240 Volts	pza	47.00
Sistema de conexión de alumbrado	pza	270.00
Sistema de tierra en remate de alumbrado público	pza	46.00

Dicho catálogo de conceptos se planeó y programó con base al siguiente programa de obra, reflejado en una gráfica de Línea de Balance, la cual se muestra en la siguiente imagen.



Gráfica 8. De Línea de Balance

Este programa de obra se realizó utilizando los rendimientos de proyectos anteriores y dando el orden de los trabajos que mejor ha funcionado en obras similares, sin embargo, como se verá en el capítulo siguiente, se hicieron varias modificaciones en el orden de los trabajos producto de las juntas semanales, dichas modificaciones tuvieron un buen efecto en el flujo de los trabajos y tenían como finalidad el reducir los re-trabajos al mínimo lo cual se logró en buena medida.

Así mismo durante el proceso de programación se realizó el programa de materiales, en el cual se le asignaban fechas al departamento de compras para surtir los materiales en obra. Aquí fue donde en la práctica se tuvieron variaciones que acarrearón fuertes problemas por falta de materiales.

2.3. Diseño del sistema de medición

2.3.1. Orden de Trabajo Semanal

El formato de orden de trabajo semanal es el formato del cual surge la mayor parte de la información que necesita el sistema para funcionar, empezando de izquierda a derecha se tiene la siguiente información:

- **Actividad:** Se anota el nombre de la actividad, por lo general son los mismos conceptos que se pagan por destajo.
- **Unidad:** Se anota la unidad en que se expresa el trabajo (ml, m2, pza, etc.).
- **Cantidad Programada:** Se anota el volumen de trabajo programado para la semana que inicia, este volumen se toma del programa de obra general, tomando en cuenta la situación real de la obra en ese momento.
- **Cantidad Real:** Se anota el volumen de trabajo realmente ejecutado al final de la semana.
- **Ubicación:** Se anota la ubicación de dicha actividad.
- **Recursos:** Se anotan los recursos necesarios para dicha actividad así como su disponibilidad, si un recurso no está disponible se anula del programa esa actividad y se trabaja para tener dicha disponibilidad la siguiente semana.
- **Control del Periodo; Porcentaje de cumplimiento:** Es el porcentaje de trabajo ejecutado tomando como 100% el trabajo planeado.
- **Control del Periodo; Observaciones:** Se anota el por qué del incumplimiento en caso de haberlo y/o cualquier otro incidente digno de comentarse.
- **% de Cumplimiento General:** Es el promedio del porcentaje de cada actividad.
- **% de Actividades Completadas:** Es el porcentaje de actividades en las que se logró el 100% (o más) de cumplimiento.

El encargado de elaborar cada semana este formato es el moderador de la junta semanal, es decir el encargado de obra de mayor rango. Hay un formato diferente cada semana para cada uno de los residentes de la obra. De esta forma se oficializan las metas para la siguiente semana.

Para el ejemplo que se muestra a continuación se tiene que la actividad **“Formación de base”** se encuentra en la semana 10 al 88% de avance. Es decir que de seguir la tendencia en los trabajos se planea terminarla en la semana 12.

Tabla 8. Llenado del Avance Semanal de Obra

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Concepto	Un	Cantidad Presupuesto	%	MAYO				JUNIO				JULIO			
	URBANIZACION FRACCIONAMIENTO CEIBAS III				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	Despalse		100.00		10.91	9.09	10.91	9.09	10.91	9.09	10.91	9.09	10.91	9.09	-	-
12	Despalse de terreno en 15 cms. de espesor promedio con maquina. Incluye: Equipo, herramienta y todo lo necesario par su correcta ejecucion.	M2	1,000.00	100%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
13	Carga y acarreo de material producto de despalse en camion a banco de tiro ubicado a 61km de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	100.00	100%	20.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
14																
15	Plataformas		93.50		-	5.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	-	-
16	Formacion de capa filtrante a base de material de banco "tezonte" en capas de 20 cms de espesor acomodado con equipo pesado. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motocomformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	100.00	33%		11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00		
17	Formacion de base de 30 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVS.M. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motocomformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	100.00	88%			11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0		
18																

La información vaciada en esta tabla proviene del formato de Orden de Trabajo Semanal, y su preparación inicia una vez terminado el presupuesto de la obra completa y que no es conveniente hacerle cambios una vez iniciados los trabajos.

2.3.3. Evaluación de Residentes:

El formato con el cual se lleva registro de la evaluación semanal de residentes consta de 2 aspectos a evaluar, el porcentaje de cumplimiento y el Porcentaje de Actividades Completadas (P.A.C.). La información necesaria para este reporte surge de la Orden de Trabajo Semanal.

La información vaciada se grafica para observar la variación del cumplimiento conforme avanza la obra y así poder determinar si los cambios implementados surtieron un efecto positivo en la confiabilidad de los trabajos planeado.

Tabla 9. Registro de las Evaluaciones Semanales del personal

Evaluación de Residentes		Promedio Historico	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre:	Frente:													
Ing. Juan Perez	% de cumpl.	90%	45%	97%	99%	50%	149%	68%	91%	88%	98%	141%	86%	104%
	P.A.C.	50%	0%	60%	60%	20%	75%	25%	50%	50%	67%	80%	67%	71%
Ing. Antonio Cervantes	% de cumpl.	76%				109%	100%	73%	65%	75%	96%	91%	77%	99%
	P.A.C.	42%				80%	40%	60%	25%	40%	60%	67%	20%	75%

2.3.4.- Causas de Incumplimiento:

El reporte donde se lleva el consecutivo semanal de las causas de incumplimiento se muestra a continuación:

Tabla 10. Registro de las Causas de Incumplimiento

Causas de incumplimiento:	% incidencia:	Responsable:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mala programación de actividades	11%	Urbanización												
Indefinición del proyecto	6%	Proyectos												
Atraso en la entrega de información	0%	Proyectos												
Planos defectuosos	6%	Proyectos		1				1						
Falta de materiales/mala calidad	14%	Compras			1							1	1	
Falta de mano de obra	6%	Urbanización					1		1					
Falta y/o falla de maquinaria	23%	Taller	1	1		1		1			1		1	
Mala ejecución de los trabajos	14%	Urbanización												1
Clima	6%	n/a												
Trabajos imprevistos	3%	Proy/Urba					1							
Mala calidad agregados	6%	Proveedor			1	1								
Problemas con municipio	6%	Juridico									1			

En él se marca con un número "1" el motivo o motivos de incumplimiento de cada semana, dicha información también proviene de la orden de trabajo semanal y también se grafica para determinar cuál de las causas de incumplimiento es la que más se repite y así poder determinar cuáles problemas son a los que hay que dedicar mayores recursos y tiempo en su solución. El listado de causas de incumplimiento de la columna de la izquierda se definió basado en la experiencia del

grupo de trabajo y se han ido adicionando algunas que no se tenían contempladas. Este reporte se complementa con la información que se tiene en la bitácora.

2.4. Resultados

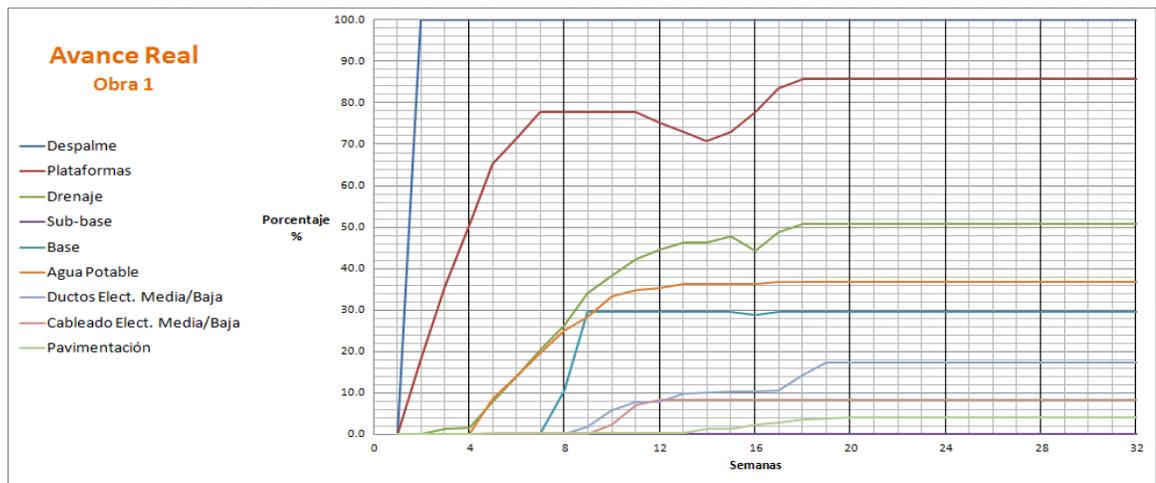
2.4.1. Medición de la Obra 1

Teniendo los datos anteriores (capítulo 2.2.1), así como el proyecto ejecutivo completo se iniciaron los trabajos en la primera semana de Mayo de 2011, al final de cada semana se realizó el levantamiento normal de destajos para tramitar el pago de los mismos a los trabajadores, aunado a ello se tomaron datos de avance de las actividades de la maquinaria como lo es el forjado y compactado de plataformas y vialidades para tener el panorama completo del avance general de la obra. Toda esta información se fue vaciando en una sola tabla que a la vez genera una gráfica de Línea de Balance del avance real la cual podía ser comparada con la Línea de Balance de proyecto.

El levantamiento del avance de la obra se realizó usando la siguiente tabla, en ella se puede apreciar la cantidad de trabajo realizada cada semana.

Concepto	Un	Cantidad Presupuest	%	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
URBANIZACIÓN FRACCIONAMIENTO																								
Suministro e instalación de valvulas de accionamiento de PVC, tipo ESFERA en líneas de agua potable de 2".	PZA	3.00																						
Suministro e instalación de valvulas de accionamiento de PVC, tipo ESFERA en líneas de agua potable de 3".	PZA	1.00																						
*Ataque de concreto simple de 30 x 30 x 30 cms.	PZA	60.00	10%						3.00	3.00														
*Toma domiciliari en línea de 2" a base de tubo de litoc con 120 de 1/2" de 1.50 m de long. Incluye: abrazadora de PVC de 2" 1/2", tubo de accionamiento de 1/2", soleno vortor Fig. 550 1/2 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", colector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	PZA	364.00	38%									20.00	15.00	10.00		17.0								
Pavimentación		3.98						0.34						0.02			0.02	1.05		0.86	0.64	0.64	0.21	0.21
Baquetas de concreto f'c150 kg/cm2 de 5 cms de espesor.	ML	305.00	33%																					
Quantación de concreto simple de 15 x 20 cms "tipo pecho de paloma", concreto f'c200 kg/cm2.	ML	1274.00	23%					40.88																
Riego de imprimación a base de emulsion asfáltica a razón de 1.5 lt/m2.	M2	5,171.00																126.0		102.4	50.0	52.0		
Suministro y colocación de carpeta de concreto asfáltico, de 5 cms de espesor. Incluye: Suministro y aplicación de "riego de liga a base de emulsion asfáltica, nivelado y compactado de carpeta, compactada al 95% de su FVSM, riego de soldo con material petro 3A, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M2	5,171.00																						
Colocación de banderolos de señalización	PZA	12.00																						
Aplicación de pintura de banderolos	PZA	12.00	25%											1.00										
Revolución de banderolos	PZA	12.00	8%											1.00										
Duct. Eléctrica (media/baja)		17.22												1.90	3.81	2.03		2.19	0.25	0.07		0.28	3.82	2.85
Poliducto 3"	ml	2,444.00	32%											256.00										
Poliducto 2"	ml	355.00																						
Poliducto 1 1/4"	ml	5,852.00	18%																					
Registro RMTB-3	pza	1.00																						
Boredos	pza	8.00	25%																					
Registro RBTBA-2	pza	17.00																						
Registro RBTCC-2	pza	34.00	21%																					
Murete medición iluminación	pza	4.00																						
Andes	pza	46.00	22%																					
Poster con luminarias	pza	46.00	20%																					
Registro 33x33	pza	52.00	19%																					
Registro 40x40	pza	13.00	23%																					
Cableado Eléctrica (media/baja)		8.41																						
Cable 10 energis	ml	1,035.00																						
Tríplices	ml	2,810.00																						
Suministro Tre x 50 kvs	pza	8.00																						
Herrajes de conexión (codos, boquillas)	pza	16.00																						
Cable cal 6 para luminarias	ml	1,221.00	25%																					
Cable cal 10 para luminarias	ml	1,221.00	22%																					
Puerts en marcha de Tre x 50 kvs	pza	8.00																						
Colocación Duplex en acometidos	ml	455.00																						

La tabla anterior se graficó en forma de Línea de Balance teniendo como resultado la siguiente imagen, cuando las líneas van hacia abajo representan re-trabajos en los conceptos.



Gráfica 9. De Avance Real

Como ya se dijo, en este proyecto no se aplicó el Sistema de el Último Planificador, sólo se llevó el seguimiento de la productividad y el conteo del número de re-trabajos que prácticamente se ven reflejados en las 2 tablas anteriores, aunado a la información proveniente de la bitácora de obra. Además con la información del proyecto inicial y el realmente ejecutado se podrá obtener la variación Proyecto – Obra Real.

2.4.2. Medición de la Obra 2

Teniendo los datos anteriores (capítulo 2.2.2), así como el proyecto ejecutivo completo se iniciaron los trabajos en la tercera semana de Octubre de 2011, al final de cada semana se realizó la junta semanal en obra que pide el Sistema de el Último Planificador, en la cual se recopilaban los siguientes datos:

- % de Cumplimiento General.
- % de Actividades Completadas.
- Causas de Incumplimiento.

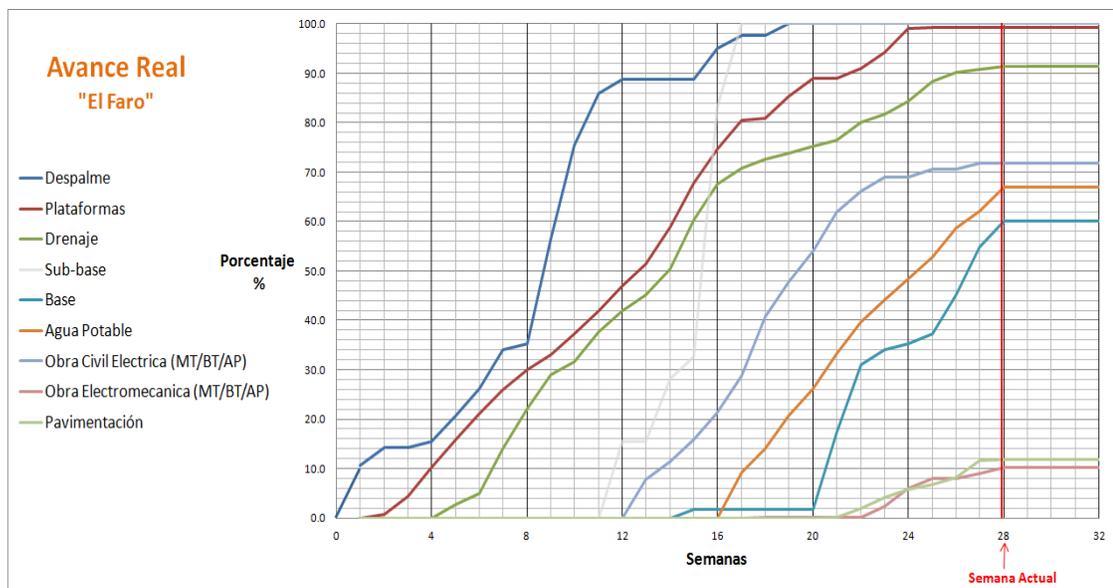
El levantamiento del avance de la obra se realizó usando la siguiente tabla, en ella se puede apreciar la cantidad de trabajo realizada cada semana.

Tabla 12. Resgistro del Avance Semanal

Concepto	Un	Cantidad Presupuestada	%	OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE			ENERO			FEBRERO			MAR					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17	18	19	20
URBANIZACION FRACC. "EL FARO"																								
Dispalmes		100.00		10.00	3.73	-	1.10	5.31	5.31	7.94	1.27	21.13	13.01	10.40	2.83	-	-	-	6.22	2.76	-	2.25	-	
Dispalmes de terreno en 15 cms. de espesor promedio con maquina. Incluye: Equipo, hormonista y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M2	154,014.10	100%	15,000.00	3,732.95		1,000.00	5,363.15	5,431.50	14,401.70		25,177.71	30,000.00	14,054.41										
Carga y acarreo de material producido de dispalmes en camion a banco de tiro abocado a 6 line de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	26,250.77	100%	238.00	5,000.00		1,000.00	672.70	1,272.20		2,300.00	3,165.33	4,500.00	5,000.00	5,133.63									
Corte en cajón en maldadiz	M3	20,366.54	100%																12,250.00	5,000.00		4,076.54		
Plataformas		95.63		0.82	3.88	6.35	5.93	5.65	5.26	4.45	3.23	4.54	5.08	5.33	4.73	8.04	9.61	7.50	6.23	0.45	4.72	3.83		
Formación de banco de 30 cm de espesor promedio a base de material producido de banco "repetido" en capas de 15 cm de espesor compuesto al 85% de su P.V.O.R. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acumulado de material con motorrecolector, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	40,637.35	96%		420.00	1,025.00	2,046.00	2,325.00	2,055.00	1,967.00	1,321.00	1,620.00	1,620.00	3,164.00	1,764.00	3,334.00	4,004.00	3,020.00	2,660.00	136.00	2,552.00	2,664.00		
Formación de capa filtrante a base de material de banco "repetido" en capas de 20 cm de espesor sometido con equipo pesado. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acumulado de material con motorrecolector, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	21,641.23	96%	520.00	2,075.00	3,050.00	1,768.00	707.00	1,324.00	394.00	753.00	1,036.00	1,444.00	301.00	1,270.00	1,237.00	2,170.00	1,600.00	1,345.00	36.00	476.00			
Drasite		74.81		-	-	-	2.77	2.25	3.07	7.33	6.88	2.57	6.15	4.24	3.17	5.11	9.95	7.31	1.69	1.81	1.24	1.52		
Suministro y colocación de tubería de PVC Norfont de 8" de diam. Incluye: Acortillado de tubería con material producido de accesorios, engrasado de junta de lulo, material, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	282.00	71%				153.83									10.91	5.11							
Suministro y colocación de tubería de PVC Norfont de 12" de diam. Incluye: Acortillado de tubería con material producido de accesorios, engrasado de junta de lulo, material, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	ML	144.00	61%									25.00	11.66											

Concepto	Un	Cantidad	Presupuesto	%	OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE			ENERO			FEBRERO			MAR		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Cableado Eléctrico (media/baja)																						
Tranmisión eléctrica 24 AWG	ml	3.00	67%																			
Cable de potencia VLP 24 cal 100 AWG 23 KV	ml	3,895.00																				
Materiales de conexión (codos, boquilla)	pza	18.00																				
Sistema de tierra en registros y Junctions	lote	21.00	33%																			
Colectores de Tiro y conductores y/o semirrigidos	ml	46.00																				
Sistema de tierra en transformadores	ml	16.00	6%																			
Placa en montaje de Tiro y Juntas de Tiro	pza	16.00																				
Prueba de conductores eléctricos MT	lote	3.00																				
Cable Triplex 24 cal 300 AWG 600V Volt	pza	4,533.00																				
Cable Triplex 24 cal 100 AWG 600V Volt	pza	2,204.00																				
Instalación de cable para conexión 14 cal 6 AWG	pza	20,576.00																				
Cable VLP 24 cal 4 AWG 600 Volt Ap	pza	666.00																				
Cable VLP 24 cal 6 AWG 600 Volt Ap	pza	5,600.00																				
Luminaria tipo coloidal mecánica 100 W 240 Volt	pza	19.00																				
Luminaria tipo OY-15 VSAP 150 W 240 Volt	pza	47.00																				
Sistema de conexión de alumbrado	pza	270.00																				
Sistema de tierra en ramble de alumbrado público	pza	46.00																				

Al graficar la tabla anterior se puede observar la similitud del avance programado con lo realmente ejecutado, esto es más visible en las tres primeras líneas (despalme, plataformas y drenaje), es en las actividades posteriores en las que el programa se diferencia en gran medida de lo realmente ejecutado, sin embargo estos aspectos se verán con mayor detenimiento en el siguiente capítulo.



Gráfica 10. De Avance Real

Otro aspecto importante que se puede notar en esta gráfica es que prácticamente todas las actividades están inconclusas, esto se debe a que los datos recabados son suficientes para el motivo de esta Tesis, que es el de comparar las dos obras en cuestión, así que se llegó únicamente a las semana 20 de construcción, siendo que según el programa de obra actualizado, la obra se concluirá alrededor de la semana

31. Sin embargo y para la validez de este trabajo se cuenta con la suficiente información para comparar las dos obras y medir las diferencias que nos interesan. En esta obra al implementar el Sistema Último Planificador se tienen mediciones que no se llevaron en la obra anterior, dichas mediciones se muestran a continuación y constan de lo siguiente: *Evaluación de Residentes, Porcentaje de Actividades Completadas y Principales Causas de Incumplimiento.*

Evaluación de Residentes y Porcentaje de Actividades Completadas (P.A.C.)

Esta evaluación es producto de las juntas semanales que se realizaron en obra, en las cuales se hacía la evaluación a manera de plática del por qué se cumplieron o no las metas de la semana. Estas metas se programaban la semana anterior dependiendo de los recursos disponibles y se plasmaban en el siguiente documento que se nombró *Orden de Trabajo Semanal.*

Tabla 13. Orden de Trabajo Llena

Actividad		Unidad	Programa		Ubicación	Recursos					Control del periodo	
			Cant. Progr.	Cant. Real.		Materia	Disp.	M.D.a.	Disp.	Equipo	Disp.	% de cumplimiento
Residente: Ing. Omar Peres		Periodo: Del: 23/01/2012 al: 28/01/2012		Orden de Trabajo Semanal								
# de semana: 15		Obra: "El Faro"		Estadísticas del Residente:					% de cumplimiento por act.: 75% % de act. compl. (PAC): 60% % de cumplimiento total: 92% # de actividades: 5			
Tubería drenaje 15"	ml	83.55	97.68	P. del Mar	Tubo 15"	ok	Cuad. Tuberos	ok	1 Retro	ok	117%	Juan Baltazar
Pozo de visita	pta	3.00	3.00	P. Tema	Cemento	ok	Cuad. Albañil	ok	1 Retro	ok	100%	Juan Baltazar
					Arena	ok						
					Grava	ok						
					Tabique	ok						
Tubería drenaje 8"	ml	100.00	32.00	P. del Mar (mz 1)	Tubo 8"	ok	Cuad. Tuberos	ok	1 Retro	ok	32%	Roberto Navarro.- Paró la retro por falla en sist. Hd.
									1 Ballarina	ok		
Pozo de visita	pta	3.00	1.00	P. Mar	Cemento	ok	Cuad. Albañil	ok	1 Retro	ok	33%	Roberto Navarro.- Paró la retro por falla en sist. Hd.
					Arena	ok						
					Grava	ok						
					Tabique	ok						
Reparaciones descargas	pta	15.00	15.00	Mz. 2 y 3	Tubo 8"	ok	Cuad. Tuberos	ok	1 Retro	ok	100%	Roberto Navarro
									1 Ballarina	ok		
% de cumplimiento general:											76%	

La columna de Cantidad Programada (Cant. Progr.) es la meta de la semana que empieza y el viernes de esa misma semana se llena la columna de Cantidad Real (Cant. Real), con lo cual se obtienen los porcentajes de cumplimiento general (76% para este caso) y de P.A.C. (60% para este mismo caso). Aquí lo importante es obtener el por qué no se cumplen las metas, para actuar en consecuencia y

Principales Causas de Incumplimiento

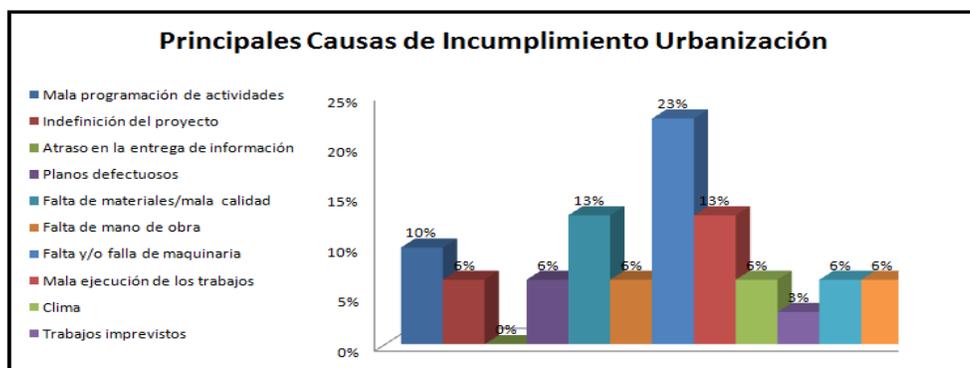
Producto de la información de las órdenes de trabajo se tiene también el registro de las principales causas de incumplimiento de cada semana las cuales deben ser comentadas en las juntas semanales para proponer soluciones inmediatas en la medida de lo posible. Esta información se vació en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 15. Registro de Causas de Incumplimiento

Causas de incumplimiento:	% incidencia:	Responsable:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Mala programación de actividades	10%	Urbanización														1	1		1			
Indefinición del proyecto	6%	Proyectos															1	1				
Atraso en la entrega de información	0%	Proyectos																				
Planos defectuosos	6%	Proyectos		1				1														
Falta de materiales/mala calidad	13%	Compras			1							1	1				1					
Falta de mano de obra	6%	Urbanización					1		1													
Falta y/o falla de maquinaria	23%	Taller	1	1		1		1			1		1									1
Mala ejecución de los trabajos	13%	Urbanización											1					1	1	1		
Clima	6%	n/a																	1	1		
Trabajos imprevistos	3%	Proy/Urba					1															
Mala calidad agregados	6%	Proveedor			1	1																
Problemas con municipio	6%	Jurídico									1				1							

La idea de llevar este registro es la de identificar los principales puntos a atender para hacer del flujo de las actividades una línea más estable y por lo tanto más predecibles, que es lo que busca a grandes rasgos el Sistema de El Ultimo Planificador. Sirve también para prever problemas que se presentarán en proyectos posteriores, dejando un precedente a los futuros encargados de la empresa evitando así que la información se vaya con las personas al cambiar de fuente laboral.

La tabla anterior se grafica de la siguiente manera.



Gráfica 12. De Las Causas de Incumplimiento

2.5. Observaciones y comentarios

La implementación de cualquier metodología de trabajo diferente a la que se ha venido manejando implica cierta resistencia al cambio y por consiguiente es necesaria la comunicación continua con el personal encargado de preparar y dar seguimiento a los formatos antes expuestos. En este caso sin duda lo más difícil fue el inculcar a los encargados de obra el uso de la Orden de Trabajo ya que es el documento con el cual se dejan asentados los acuerdos que se tienen en las juntas y sin este documento no se tiene la información para hacer funcionar el sistema.

En resumen se puede decir que las *principales barreras* para implementar la metodología son las siguientes:

- Dificultad para que la información fluya; es un trabajo constante que muchas veces tiende a dejarse de lado por las presiones de la construcción. Las áreas de las cuales provienen muchos problemas no compartirán la información.
- Tendencia a querer sobre evaluarse; es necesario tener candados con los cuales verificar la información que llega, de lo contrario los encargados tratarán de mejorar su evaluación mintiendo en sus resultados.
- Lo normal, la resistencia al cambio. En este sistema por lo general viene de los mandos medios ya que son ellos los que deben generar gran parte de la información, lo cual implica trabajo. En cambio en los mandos inferiores

genera cierto entusiasmo y una mayor comprensión de los problemas de la obra.

Por el contrario los *principales beneficios* que genera la implementación de esta metodología son los siguientes:

- Se crea un historial; se deja un registro escrito de los problemas pasados y la solución aplicada.
- Brinda claridad en la identificación de problemas; se basa la toma de decisiones en números y no en sentimientos estimados.
- Elimina el factor social de las evaluaciones; se tiene un registro exacto de cuáles son los encargados que entregan los mejores resultados.
- Mejora la comunicación; con las juntas se genera un sentimiento de unión y se dejan en claro las metas del equipo y no de cada integrante por separado.

3. Análisis

3.1. Introducción

En este capítulo se realizará el análisis de la información obtenida con los formatos expuestos en el capítulo anterior para determinar si se cumple o no la hipótesis inicial de esta Tesis, así como para definir los principales aspectos buenos o malos de la metodología *Last Planner*. Se realizará el análisis en el mismo orden que el capítulo anterior, es decir primero la Obra 1, después la Obra 2 y por último se realizará la comparativa de la información de los 2 proyectos.

3.2. Método de Análisis

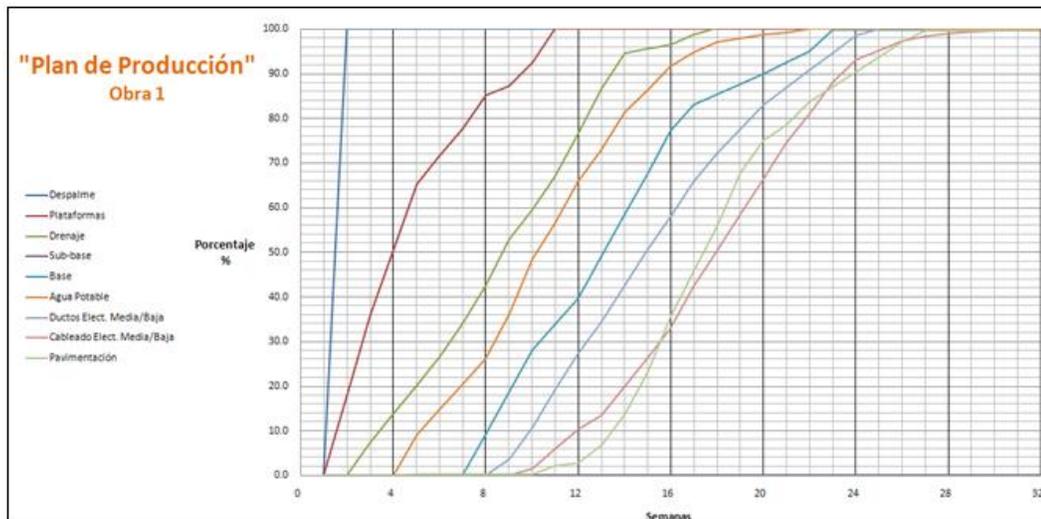
Aquí se describen los pasos que se tomarán para hacer el análisis de la información recabada, los cuales tendrán el siguiente orden:

1. Se realizará una explicación del porque de las diferencias *entre la producción semanal planeada y la real*, así como la comparativa gráfica del comportamiento de cada una de las actividades de las dos obras.
2. Se obtendrá la *variación de la productividad* de cada uno de los conceptos y proyectos para después compararlos y obtener el incremento o disminución de la misma de una obra a otra.
3. Se hará un análisis de la *variación del P.A.C.* de los encargados de obra a lo largo del Proyecto 2.

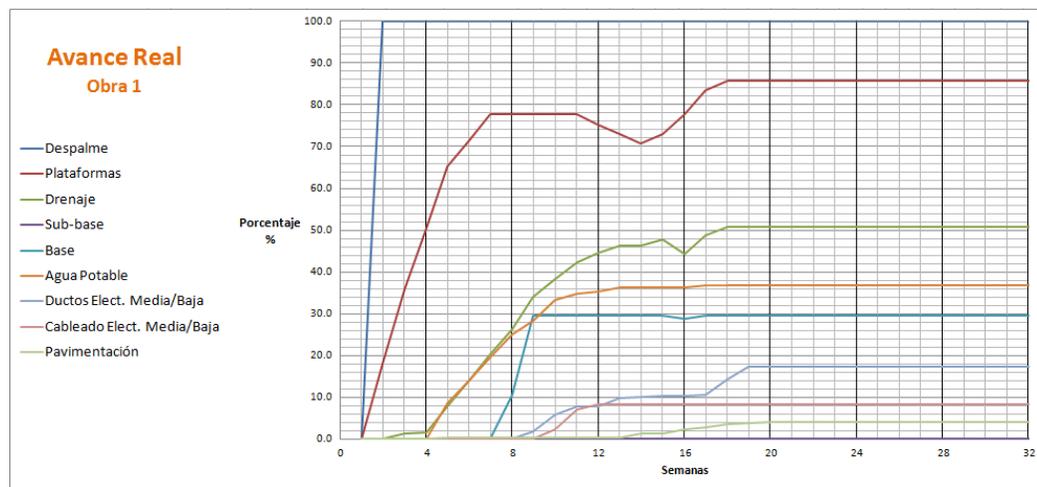
3.3. Análisis de los resultados

3.3.1. Producción Semanal Obra 1

Abajo se muestran las dos gráficas de producción semanal, la primera representa el programa de obra y la segunda representa el avance real.



Gráfica 13. Lookahead Obra 1



Gráfica 14. Avance Real Obra 1

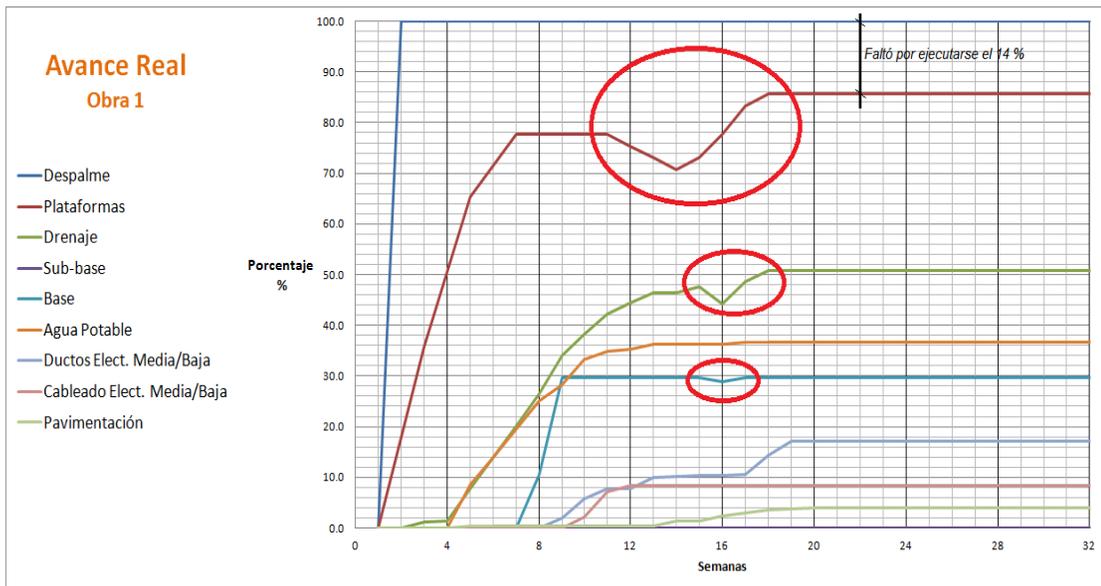
Con la comparación de estas dos gráficas se pudieron hacer correcciones de velocidades de trabajo, así como del orden de ejecución de los mismos. Desgraciadamente este proyecto sufrió variaciones durante su construcción por lo que se tuvieron que realizar muchos re-trabajos incluyendo el levantamiento de vialidades ya existentes, así como líneas de drenaje ya instaladas. Lo cual se vio

reflejado en la tabla de avances como avances negativos y en la gráfica se vio como un zigzag de arriba hacia abajo.

Otro aspecto importante que se puede apreciar es que prácticamente todas las actividades iniciaron según lo programado, por ejemplo la actividad de Drenaje inició en la semana 2, según lo programado, el Agua Potable inició en la 4, también según lo programado, únicamente la actividad de pavimentación se podría decir que inició retrasada por 3 semanas, esto permite apreciar que a partir de la semana 9 se comenzaron a tener problemas graves en el proyecto.

En la actividad Plataformas del avance real se tiene entre la semana 11 y 14 un descenso en el avance, esto se debe a que en este lapso de tiempo se deshicieron plataformas ya terminadas debido a un cambio en el tamaño del modelo de vivienda, lo que implicó un re trabajo que también se reflejó en drenajes y por lo tanto en las vialidades (base).

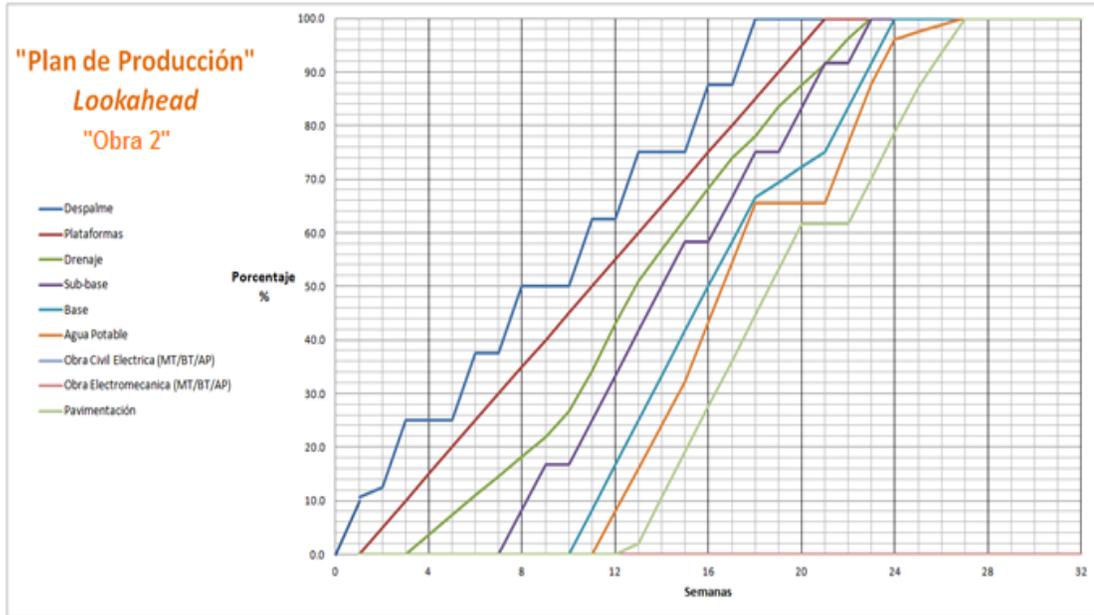
Por último, como se puede ver, la obra quedó inconclusa y sólo se entregaron las primeras 2 plataformas (faltando el 14% para finalizarlas todas) con todos los servicios funcionando, las demás quedaron sólo empezadas, pero ninguna terminada al 100%.



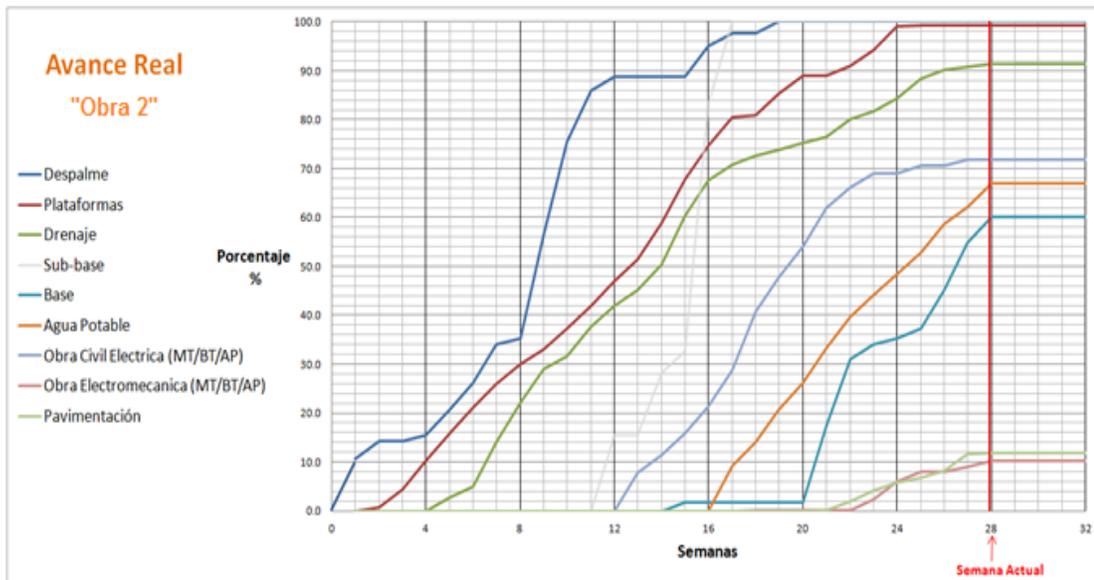
Gráfica 15. En los círculos rojos se ven graficados los re trabajos más fuertes.

3.3.2. Producción Semanal Obra 2

Al igual que la obra anterior se muestran las dos gráficas de producción semanal, la primera representa el programa de obra y la segunda representa el avance real.



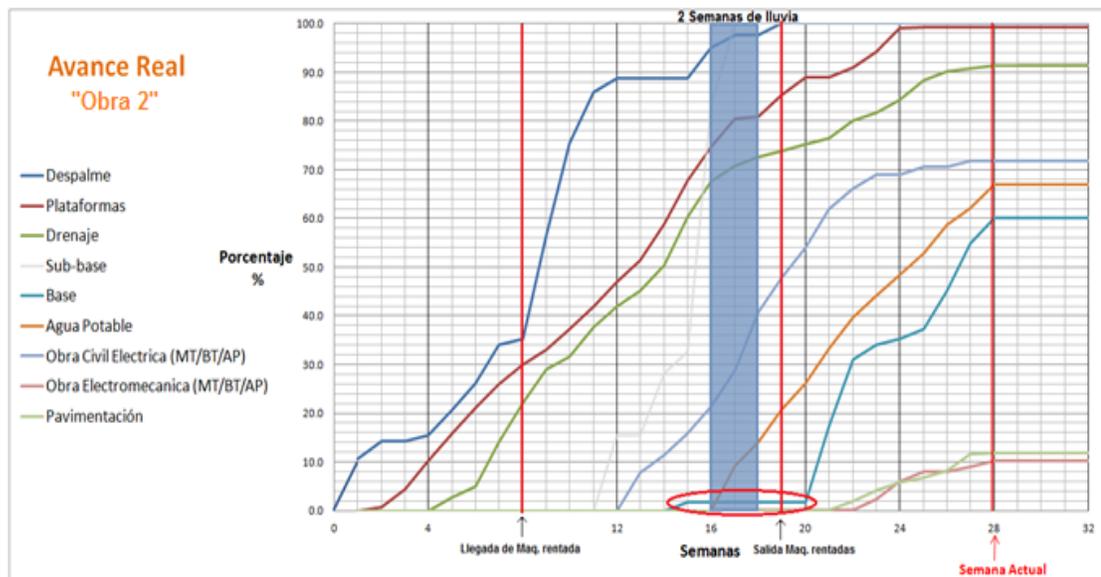
Gráfica 16. Lookahead Obra 2



Gráfica 17. Avance Real Obra 2

Como se puede apreciar hay una notable diferencia entre lo planeado y lo realmente ejecutado, sin embargo, en la actividad de “Plataformas” se puede ver la mayor similitud entre las 2 gráficas, esto se debe sin duda a que es la actividad en la que los rendimientos históricos se han controlado mejor en la empresa, ya que la conformación de plataformas es la que da tramo a todas las demás actividades de la edificación y por lo tanto su avance es primordial para todo el tren de trabajo.

La actividad de “Drenaje” también tuvo un buen comportamiento las primeras 16 semanas de trabajo, sin embargo, a partir de esa semana se tuvo una marcada desaceleración en el ritmo, lo cual se debió a la mezcla de varios factores, se tuvieron 2 semanas de fuertes lluvias (semanas 17 y 18) que causaron inundaciones y obligaron a detener muchos frentes de trabajo, esto sumado a una problemática en los suministros de material y múltiples fallas de la maquinaria necesaria para realizar las excavaciones. Este suceso se ve también reflejado en las líneas de “Plataformas” y “Base (Vialidades)”. Esta última teniendo que suspenderla por más de un mes para reparar los daños dejados por el temporal. Esto nunca se previó ya que era el mes de Enero, en el cual son muy raras este tipo de lluvias.



Gráfica 18. Analisis del Avance Real

En la gráfica de arriba se puede ver el lapso de tiempo en el que se rentaron máquinas para soportar el ritmo de trabajo, el achurado azul muestra las 2 semanas de lluvia que causaron retrasos, por último en el círculo rojo se encierra el cambio de orden en los trabajos de base en vialidades, trasladando esta actividad después de los trabajos de agua potable y ductería eléctrica.

Un detalle que resalta es la distancia que hay entre la línea de “Drenaje” y “Obra Civil Eléctrica”, esto se debe a que se cambió el tipo de material y los espesores de capa en la sub-base (razón por la cual la línea de “Sub-base” aparece muy desvanecida y completada al 100% en la semana 17). Con estos cambios prácticamente se eliminó la capa de sub-base y se aumentó el espesor de la base. Haciendo que en la visión global del proyecto se vea como que la “Obra Civil Eléctrica” comenzó muy tarde.

Por último, es de notar la paridad con la que se desenvuelven cada una de las líneas, lo cual hace pensar que para un próximo proyecto se pueden re-pensar los buffers dados a cada línea, acomodándolos de mejor manera y minimizando o ampliando el buffer según sea el caso.

3.3.3. Variación de la Productividad

Como ya se dijo en la Introducción, para esta Tesis se definirá la productividad de la siguiente manera: *“La relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos”*, es decir, cuanto menor sea el tiempo que lleve a obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema. Así que primero se obtuvo la producción por concepto es decir la producción de cada uno de los conceptos de trabajo que contiene el catálogo de las dos obras a medir, como se muestra en la tabla de la siguiente página.

Posteriormente se compararon las producciones de las dos obras por cada concepto, aquí vale la pena hacer una aclaración, sólo se compararon los conceptos que se repiten en las 2 obras, es decir, si un concepto sólo aplica para una de las dos obras se desechó del ejercicio, esto para hacer que el resultado sea lo más real posible.

Tabla 16. Medición de la Producción

Obra 1				
Concepto	Un.	Cant. Total	Tiempo Total (sem)	Producción
Despalme				
Despalme de terreno en 15 cms. de espesor promedio con maquina. Incluye: Equipo, herramienta y todo lo necesario par su correcta ejecucion.	M2	19,925.92	1.00	19,925.92
Carga y acarreo de material producto de despalme en camion a banco de tiro ubicado a 6 km de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	2,988.89	1.00	2,988.89
Plataformas				
Formacion de base de 30 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motoconformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	7,463.05	10.00	746.31
Drenaje				
Suministro y colocacion de tuberia de PVC Novafort de 10" de diam. Incluye: Acostillado de tuberia con material producto de excavacion, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	24.80	3.00	8.27
Suministro y colocacion de tuberia de PVC Novafort de 8" de diam. Incluye: Acostillado de tuberia con material producto de excavacion, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	299.00	9.00	33.22
Pozo de visita de seccion variable de 0.90 a 0.60 m de 1.50 m de profundidad a base de muros de tabique r.r.	PZA	11.00	7.00	1.57
Suministro y colocación de descargas 4"	PZA	81.00	6.00	13.50
Base				
Formacion de base de 15 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motoconformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	355.16	3.00	118.39
Agua Potable				
Suministro y colocacion de tuberia de 2" PVC hidraulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	396.81	9.00	44.09
Suministro y colocacion de "TEE" de 2" PVC hidraulico	PZA	4.00	2.00	2.00
Suministro y colocacion de "CODO 90 °" de 2" PVC	PZA	1.00	1.00	1.00
Suministro y colocacion de "TAPON" de 2" PVC	PZA	2.00	1.00	2.00
Atraques de concreto simple de 30 x 30 x 30 cms,	PZA	6.00	2.00	3.00
Toma domiciliaria en linea de 2" a base de tubo de kitec azul 1216 de 1/2" de 1.50 m de long., Incluye: abrazadera de PVC de 2" 1/2", valvula de insercion de 1/2", valvula esfera Fig. 550 13 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", conector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	PZA	62.00	4.00	15.50
Pavimentación				
Banqueta de concreto fc=150 kg/cm2 de 5 cms de espesor.	ML	100.00	4.00	25.00
Guarnicion de concreto simple de 15 x 30 cms "tipo pecho de paloma", concreto fc=200 kg/cm2.	ML	371.29	5.00	74.26

Tabla 17. Medición de la Producción

Obra 2

Concepto	Un.	Cant. Total	Tiempo Total (sem)	Producción
Despalme				
Despalme de terreno en 15 cms. de espesor promedio con maquina. Incluye: Equipo, herramienta y todo lo necesario par su correcta ejecucion.	M2	134,814.18	9.00	14,979.35
Carga y acarreo de material producto de despalme en camion a banco de tiro ubicado a 6 km de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	26,288.77	8.00	3,286.10
Plataformas				
Formacion de base de 30 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motoconformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	46,235.00	22.00	2,101.59
Drenaje				
Suministro y colocacion de tuberia de PVC Novafort de 10" de diam. Incluye: Acostillado de tuberia con material producto de excavacion, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	376.82	6.00	62.80
Suministro y colocacion de tuberia de PVC Novafort de 8" de diam. Incluye: Acostillado de tuberia con material producto de excavacion, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	2,935.60	11.00	266.87
Pozo de visita de seccion variable de 0.90 a 0.60 m de 1.50 m de profundidad a base de muros de tabique r.r.	PZA	93.00	17.00	5.47
Suministro y colocación de descargas 6"	PZA	1,291.00	19.00	67.95
Base				
Formacion de base de 20 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motoconformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	16,094.00	10.00	1,609.40
		-		
Agua Potable				
Suministro y colocacion de tuberia de 2" PVC hidraulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	4,135.12	13.00	318.09
Suministro y colocacion de "TEE" de 2" PVC hidraul	PZA	6.00	1.00	6.00
Suministro y colocacion de "CODO 90 " de 2" PVC	PZA	5.00	2.00	2.50
Suministro y colocacion de "TAPON" de 2" PVC	PZA	10.00	1.00	10.00
Atraques de concreto simple de 30 x 30 x 30 cms,	PZA	35.00	4.00	8.75
Toma domiciliaria en linea de 2" a base de tubo de kitec azul 1216 de 1/2" de 1.50 m de long., Incluye: abrazadera de PVC de 2" 1/2", valvula de insercion de 1/2", valvula esfera Fig. 550 13 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", conector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	PZA	876.00	12.00	73.00
Pavimentación				
Banqueta de concreto f'c=150 kg/cm2 de 5 cms de espesor.	ML	2,754.69	7.00	393.53
Guarnicion de concreto simple de 15 x 30 cms "tipo pecho de paloma", concreto f'c=200 kg/cm2.	ML	4,075.50	6.00	679.25

Tabla 18. Medición de la Producción

Variación de la Productividad				
Concepto	Un.	Producción Obra 1	Producción Obra 2	Var. De la produc.
Despalme				
Despalme de terreno en 15 cms. de espesor promedio con maquina. Incluye: Equipo, herramienta y todo lo necesario par su correcta ejecucion.	M2	19,925.92	14,979.35	75%
Carga y acarreo de material producto de despalme en camion a banco de tiro ubicado a 6 km de distancia aprox. Incluye: Equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	2,988.89	3,286.10	110%
Plataformas				
Formacion de base de 30 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motoconformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	746.31	2,101.59	282%
Drenaje				
Suministro y colocacion de tuberia de PVC Novafort de 10" de diam. Incluye: Acostillado de tuberia con material producto de excavacion, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	8.27	62.80	760%
Suministro y colocacion de tuberia de PVC Novafort de 8" de diam. Incluye: Acostillado de tuberia con material producto de excavacion, engrasado de junta de hule, materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	33.22	266.87	803%
Pozo de visita de seccion variable de 0.90 a 0.60 m de 1.50 m de profundidad a base de muros de tabique r.r.	PZA	1.57	5.47	348%
Suministro y colocación de descargas 6"	PZA	13.50	67.95	503%
Base				
Formacion de base de 20 cms de espesor promedio a base de material producto de banco "tepetate" en capas de 15 cms de espesor compactado al 95% de su PVSM. Incluye: Material, acarreo de banco a obra, tendido y acamellonado de material con motoconformadora, compactado, equipo, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	M3	118.39	1,609.40	1359%
Agua Potable				
Suministro y colocacion de tuberia de 2" PVC hidraulico RD 32.5. Incluye: Materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	ML	44.09	318.09	721%
Suministro y colocacion de "TEE" de 2" PVC	PZA	2.00	6.00	300%
Suministro y colocacion de "CODO 90 " de 2"	PZA	1.00	2.50	250%
Suministro y colocacion de "TAPON" de 2" P	PZA	2.00	10.00	500%
Atraques de concreto simple de 30 x 30 x 30 c	PZA	3.00	8.75	292%
Toma domiciliaria en linea de 2" a base de tubo de kitec azul 1216 de 1/2" de 1.50 m de long., Incluye: abrazadera de PVC de 2" 1/2", valvula de insercion de 1/2", valvula esfera Fig. 550 13 mm, tubo galv. De 1/2", codo galv. De 1/2", conector de 1/2" galv. Incluye: materiales, mano de obra, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecucion.	PZA	15.50	73.00	471%
Pavimentación				
Banqueta de concreto f _c =150 kg/cm ² de 5 cms de espesor.	ML	25.00	393.53	1574%
Guarnicion de concreto simple de 15 x 30 cms "tipo pecho de paloma", concreto f _c =200 kg/cm ² .	ML	74.26	679.25	915%

Variación General de la Productividad 579%

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, la diferencia entre la producción de la obra 1 y la obra 2 es bastante elevada, teniéndose un incremento promedio del 579%, esta variación resultó inesperada, sin embargo, se puede explicar por varias razones:

- La obra 1 desgraciadamente tuvo problemas desde su inicio, con cambios de proyecto con los trabajos ya empezados, lo que implicó un retroceso en el avance ya que se tuvieron que levantar líneas de drenajes ya instaladas, así como cambios en niveles de plataformas de vivienda.
- La obra 1 quedó inconclusa y con un avance general del 26.94 %, lo que provocó que en muchas actividades no se superará la fase inicial en la que por lo general los rendimientos son menores a los que se tienen una vez que se ha establecido un cierto avance y se han afinado algunos aspectos de los procesos.
- En el último mes no se tuvo certeza sobre el futuro de la obra, por lo que se disminuyó o incluso se detuvieron varios frentes de trabajo, dejando únicamente los más básicos (plataformas y ductería eléctrica) y a un ritmo bastante bajo.

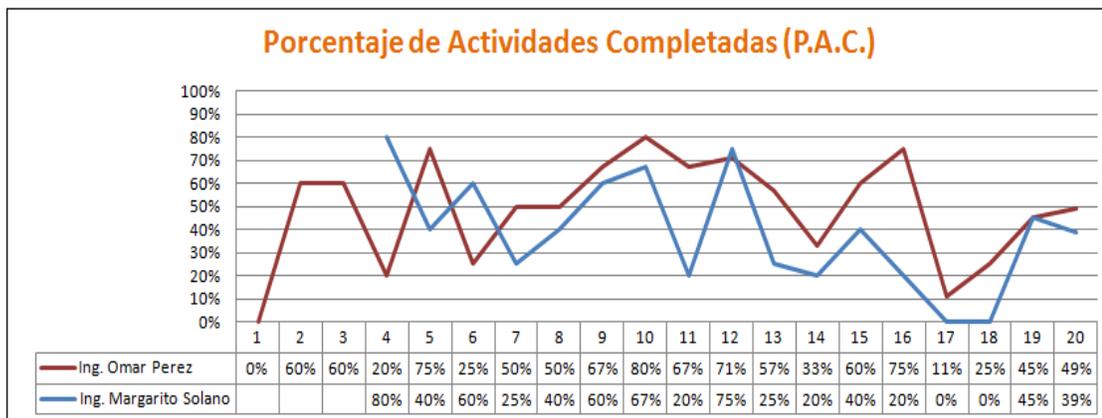
3.3.4. Análisis del P.A.C. (Obra 2)

El Porcentaje de Actividades Completadas de esta obra se midió semanalmente y es producto del llenado de la orden de trabajo para evaluar el desempeño de cada residente del proyecto.

En este caso hay dos encargados, el Ing. Omar Pérez que inició la obra y se encargó de los trabajos de drenajes y agua potable y el Ing. Margarito Solano encargado de los trabajos de movimiento de tierras (plataformas y vialidades). Como se comentó, el Ing. Omar Pérez fue el que se encargó de los primeros trabajos en la obra, incluyendo el inicio del despalme del terreno y el trazado inicial de las primeras plataformas, así como dar el inicio a los drenajes es por esto que su gráfica inicia antes de la del otro encargado.

En la gráfica de abajo se puede apreciar la fuerte variabilidad que se presentó a lo largo de las 20 semanas en que se realizó la medición, para la línea roja se puede

ver que entre la semana 7 a la 13 se tuvo un lapso de relativa estabilidad seguido de un fuerte descenso, este incremento coincide con la llegada de la maquinaria rentada, teniendo una tendencia parecida en la línea azul salvo un abrupto descenso en la semana 11 que se debió a que no sólo se cumplió una de las 5 actividades de esa semana, sin embargo, las otras 4 actividades tuvieron buen comportamiento siendo la más baja de un 82% de cumplimiento, siendo pues esta semana muy buena en cuanto avance.



Gráfica 19. Del P.A.C.

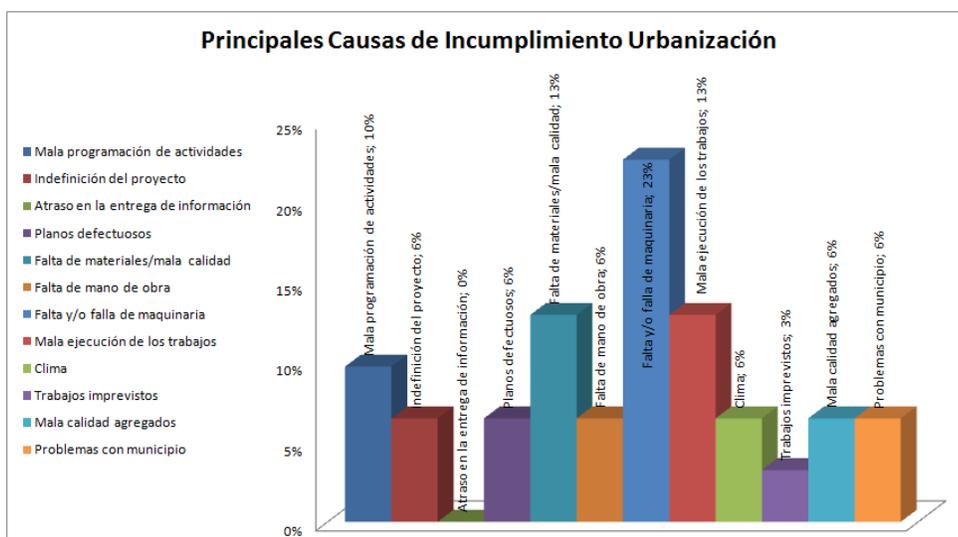
Para la semana 13 ya se tiene una tendencia al descenso en los cumplimientos siendo esta tendencia causada por dos factores que afectaron a ambos encargados, una fue la aparición de una capa de piedra a sólo 60 cms. de profundidad lo que retraso los trabajos de drenaje y por consiguiente los trabajos de movimiento de tierras en este caso de las vialidades. Posteriormente se puede apreciar al igual que en la grafica de avance el efecto que tuvo la lluvia en las líneas de los cumplimientos de los encargados, llegando incluso a ser del 0% dos semanas consecutivas para el encargado de movimiento de tierras.

Aunado al levantamiento del P.A.C. se llevó registro de las causas por las que no se cumplió cada semana con la meta.

Tabla 19. Causas de Incumplimiento

Causas de incumplimiento:	% incidencia:	Responsable:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Mala programación de actividades	10%	Urbanización														1	1		1			
Indefinición del proyecto	6%	Proyectos															1	1				
Atraso en la entrega de información	0%	Proyectos																				
Planos defectuosos	6%	Proyectos		1				1														
Falta de materiales/mala calidad	13%	Compras			1							1	1				1					
Falta de mano de obra	6%	Urbanización					1		1													
Falta y/o falla de maquinaria	23%	Taller	1	1		1		1		1		1										1
Mala ejecución de los trabajos	13%	Urbanización											1					1	1	1		
Clima	6%	n/a																		1	1	
Trabajos imprevistos	3%	Proy/Urba					1															
Mala calidad agregados	6%	Proveedor			1	1																
Problemas con municipio	6%	Jurídico									1				1							

Dicho registro se obtuvo también de la información proveniente de la orden de trabajo en conjunto con la bitácora de obra, se tomó la clasificación que propone el documento de *Last Planner* y se le adicionaron algunos conceptos que se presentaron en el transcurso de la obra, por ejemplo, *Problemas con el municipio*. Para este proyecto, por ejemplo, se tiene que la principal fuente de retrasos fue “Falta y/o falla de maquinaria”, seguido por “Mala ejecución de los trabajos” y “Falta de Materiales/mala calidad”. Usando esta información se tomaron decisiones a largo plazo para la empresa, siendo la más importante la inversión en el área de maquinaria ya que es ahí donde se tiene la mayor causa de incumplimientos por parte de los residentes.



Gráfica 20. Causas de Incumplimiento

Otro aspecto importante a considerar es el de la mejora en la calidad de la mano de obra, ya que según la gráfica, la segunda causa de incumplimiento es la *“Mala ejecución de los trabajos”*, siendo este cambio de una naturaleza bastante delicada, ya que implica el cambio en el personal con que se cuenta, de esta forma se puede analizar cada orden de trabajo para determinar a qué individuos de la organización se le debe considerar para capacitación e incluir en el equipo a personal con mayor experiencia en ciertas áreas, como, por ejemplo, en las cuadrillas de tuberos que es básico para tener una buena instalación.

3.4. Conclusiones y comentarios

Como conclusión de este capítulo se puede decir lo siguiente:

1. Ninguna de las 2 obras tuvo una similitud clara en cuanto al programa de obra original y el avance real recolectado, razón por la cual se deben mejorar los programas de obra para hacerlos más apegados a la realidad usando siempre los rendimientos históricos que se vayan acumulando en la vida de las empresas.
2. La mejora en la producción de la obra 1 a la obra 2 se vio potenciada en gran medida a los graves problemas que se tuvieron en el primer proyecto, teniendo como resultado que los rendimientos de la obra 1 fueran bastante bajos, y a la hora de compararlos con los de la obra 2 se obtuvo un incremento en la producción que difícilmente se lograría al comparar 2 obras “sanas”.
3. El análisis del P.A.C. arrojó conclusiones muy concretas y útiles para la toma de decisiones de cualquier empresa constructora, en este caso, indica que se debe centrar la atención en el equipo y maquinaria con que se cuenta, así como mejorar la calidad de la mano de obra y asegurar de alguna manera el correcto suministro de los insumos necesarios para el avance. Atendiendo a estos 3 conceptos se podría tener una mejora significativa en el corto plazo.

Conclusiones

Introducción

Con esta parte se cierra esta Tesis, aquí se detallarán las conclusiones a las que se llegó con el análisis de la información recabada en el transcurso de este trabajo, se definirá si la hipótesis se cumplió y en qué medida, así también se definirán las principales barreras y beneficios a la hora de implementar la metodología en cuestión. Por último se darán algunas recomendaciones para el caso en que algún investigador quiera ahondar en el tema y se recomendarán algunas posibles líneas de investigación afines.

Conclusiones

Las conclusiones a las que se llegó con este trabajo se presentaran en el siguiente orden:

- Conclusiones sobre la implementación de la metodología Last Planner.
- Principales barreras detectadas.
- Principales beneficios detectados.
- Conclusión sobre la hipótesis de este trabajo y análisis.

Conclusiones sobre la implementación de la metodología Last Planner.

Al implementar la metodología Last Planner en los procesos de la empresa se detectaron varios factores que dificultan y/o facilitan en diferente medida la implementación, a continuación se enlistan los que se consideraron más importantes:

Principales Barreras:

- **Dificultad para que la información fluya;** es un trabajo constante que muchas veces tiende a dejarse de lado por las presiones de la construcción. Las áreas de las cuales provienen muchos problemas no compartirán la información.

- **Tendencia a querer sobre evaluarse;** es necesario tener candados con los cuales verificar la información que llega de lo contrario los encargados trataran de mejorar su evaluación mintiendo en sus resultados.
- **Lo normal, la resistencia al cambio;** En este sistema por lo general viene de los mandos medios ya que son ellos los que deben generar gran parte de la información, lo cual implica trabajo. En cambio en los mandos inferiores genera cierto entusiasmo y una mayor comprensión de los problemas de la obra.

Principales Beneficios:

- **Se crea un historial;** se deja un registro escrito de los problemas pasados y la solución aplicada.
- **Brinda claridad en la identificación de problemas;** se basa la toma de decisiones en números y no en sentimientos estimados.
- **Elimina el factor social de las evaluaciones;** se tiene un registro exacto de cuáles son los encargados que entregan los mejores resultados.
- **Mejora la comunicación;** con las juntas se genera un sentimiento de unión y se dejan en claro las metas del equipo y no de cada integrante por separado.

Conceptos Claves para la implementación de la Metodología Last Planner:

- Juntas semanales
- Compromiso
- Medición
- Análisis de las causas de incumplimiento

Conclusión sobre la hipótesis de este trabajo y análisis.

La hipótesis planteada para la realización de esta Tesis se definió como sigue:

“La aplicación de la metodología Last Planner puede mejorar la Productividad en las obras de construcción”

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo se definieron como sigue:

1. Medir la producción semanal de cada frente de trabajo, así como el porcentaje de cumplimiento de actividades programadas de los encargados de obra y comparar los resultados de una obra aplicando la metodología Lean y otra sin aplicarla.
2. Realizar una síntesis de cuáles son los aspectos que fueron más fáciles de aplicar y que brindaron los mejores resultados.

Como ya se dijo en el capítulo anterior el incremento en la productividad de la Obra 1 a la Obra 2 se vio fuertemente potenciado por los problemas que se tuvieron desde el inicio de la Obra 1, sin embargo al ser precisamente este tipo de problemas los que la metodología busca erradicar, se puede concluir que:

Al aplicar la metodología *Last Planner* efectivamente se tiene una mejora en la productividad en obras de vivienda de interés social, respondiendo a los objetivos se definió un aumento en la productividad de 579%, como ya se dijo esto fue debido los problemas de la “Obra 1”, problemas que aplicando la metodología *Last Planner* se pudieron preveer.

Adicionalmente, se pudo probar la implementación de la filosofía LEAN aplicando la metodología Last Planner y se concluye que su aplicación es bastante práctica y representó una gran ventaja para mejorar la comunicación entre el área productiva (obra) y el área administrativa (oficina central), asentando varios parámetros medibles y comparables con los siguientes proyectos lo cual permite iniciar un proceso de mejora continua y aprendizaje, convirtiendo la información en un documento muy importante al final de la obra que debería ser usado como libro de consulta para los integrantes de la empresa antes durante y después de cada proyecto.

Recomendaciones

Derivado de la experiencia adquirida durante la realización de esta investigación se presentarán algunas recomendaciones para quien en un futuro desee estudiar el

tema de esta Tesis, aportando de esta forma una lista de factores que pudieran facilitar las próximas investigaciones:

1. Tomar en cuenta para la selección de las obras a medir la factibilidad económica del proyecto, ya que en este caso la información se vio alterada por los problemas de una de las obras.
2. Mantener actualizado un registro, y sobre todo tratar de investigar los rendimientos históricos de la empresa y su equipo de producción.
3. Al ser la producción en la construcción tan variable de una obra a otra por factores intrínsecos de la actividad, es razonable que para tener mejores resultados se realice la medición del mayor número de proyectos con lo que se logrará tener un mejor resultado.

Futuras investigaciones

En este capítulo se refirieron algunos estudios que se quedaron en el tintero y que a mi consideración deberían ser estudiados con más profundidad, sin embargo, por cuestión de tiempo y de acuerdo a las limitaciones que se fijaron en esta Tesis no se tocaron, pero sería interesante que otro tesista las retomara para profundizar en el tema.

Sería de extremo interés el realizar la comparación de la variación de la productividad entre dos o más proyectos en los que se aplique la Metodología Last Planner.

Bibliografía

- [The Last Planner™](#)
by Glenn Ballard (1994) Northern California Construction Institute, Monterey, California.
- [What Is Lean Construction™](#)
by Gregory A. Howell (1999).
- [The Machine That Changed The World](#)
Womack & Jones (1990).
- [The Last Planner System of Production Control](#)
Glenn Ballard (2000).
- [Last Planner™ Collaborative Production Planning, Collaborative Programme Coordination](#)
Alan Mossman (2005).
- [Lean Construction](#)
Luis F. Alarcon (1997).
- [Administración de Operaciones de Construcción](#)
Alfredo Serpell (1993).
- [Planificación y Control de Proyectos](#)
Alfredo Serpell & Luis F. Alarcón (2000).