

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA
PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE
PROYECTOS**

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

Abner Guzmán Tejada

ASESOR: Ing. Xavier Brioso

Lima, Noviembre de 2014

RESUMEN

La filosofía lean construction se inició en la década de 1990 mediante la adaptación de las teorías de producción de las grandes fabricas (Lean Production) a la industria de la construcción. Sin embargo su difusión y aplicación en nuestro país está reducido a un grupo selecto de empresas que vienen aplicando esta metodología hace algunos años con resultados alentadores.

El presente trabajo se centra en la aplicación de la filosofía lean construction como método de planificación, ejecución y control de un proyecto de construcción desarrollado en la ciudad de lima. A lo largo del presente trabajo se describen los principales conceptos y herramientas de la filosofía lean para poder generar una base teórica solida que respalde la aplicación de herramientas y el análisis de resultados en los proyectos. Además, se analiza y describe de forma detallada como se aplican las herramientas más importantes de esta filosofía (Last Planner System, Sectorización, Nivel general de actividad, Cartas de Balance, etc.) con la finalidad de difundir la metodología de aplicación de cada herramienta y servir de guía para profesionales o empresas que busquen implementar lean construction en sus proyectos. Por otro lado se analizan los resultados de productividad obtenidos a lo largo del proyecto y se comparan con estándares de obras de construcción en el país con la finalidad de demostrar los buenos resultados que brinda esta filosofía y de esta forma alentar a que se expanda a una cantidad mayor de empresas del rubro construcción.

Finalmente se analiza el desarrollo y performance del proyecto para poder sacar conclusiones y propuestas de mejora que puedan ser aplicadas por la empresa, y otras empresas, en la ejecución de sus próximos proyectos aplicando la metodología de mejora continua.



FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PUCP

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y Control de proyectos"
 Área : Construcción
 Asesor : Ing. Xavier Brioso Lescano
 Alumno : ABNER GUZMÁN TEJADA
 Código : 2006.0545.2.412
 Tema N° : 2 2 2
 Fecha : Lima, 20 de marzo de 2014



INTRODUCCIÓN

El rubro de la construcción viene creciendo significativamente en el Perú debido al déficit de infraestructuras existente. Sin embargo, la mayoría de empresas se rige por un sistema de construcción tradicional con procedimientos constructivos ineficientes lo que nos limita como país a crecer con mayor velocidad. Al bajo nivel de productividad se suma el problema de la seguridad laboral del sector. Estos indicadores nos permiten visualizar la escasa evolución que ha tenido el sector construcción en el Perú a pesar de su apogeo económico.

La planificación y ejecución de los proyectos de construcción en el Perú está en proceso de cambio. Su implementación está acompañada de un avance tecnológico que no está a la medida de la industrialización, pero que poco a poco va haciendo más competitivo y productivo nuestro rubro. Estos cambios que vienen dándose en el Perú, incluyen nuevas metodologías de construcción, entre las cuales está la filosofía *Lean Construction*. Esta filosofía tiene la intención de mejorar a gran nivel la producción de nuestra industria con su metodología de trabajo enfocada en la reducción de los desperdicios a través de las herramientas que propone, siendo las más importantes de ellas el *Last Planner System*, el tren de actividades, el diseño de buffers, entre otras. Se complementa la filosofía con herramientas de optimización de procesos tales como el nivel general de actividad, las cartas de balance, entre otras.

En el presente trabajo se desarrollan y aplican los conceptos del "*Lean Construction*" o "Construcción sin pérdidas" a un proyecto de edificaciones para poder estudiar los resultados del uso y compararlo con estándares de resultados de obras realizadas mediante la metodología tradicional de construcción en el Perú. Asimismo, se hacen propuestas de otras herramientas que se pueden utilizar en futuros proyectos para optimizar el desempeño.

OBJETIVOS

- Hacer de conocimiento los últimos conceptos y aplicaciones de la filosofía "*Lean Construction*" e indicar cuáles son los beneficios que adquieren las empresas al aplicarlos en la manera que planificamos y ejecutamos nuestros proyectos.



FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PUCP

- Mostrar los resultados de la aplicación del sistema "Last Planner" o "Ultimo Planificador" con el fin de cumplir con el plazo establecido y minimizar la variabilidad en nuestros proyectos.
- Aplicar herramientas de control a nuestra programación, mediante seguimientos semanales, identificando las causas de incumplimiento que afectan a nuestra programación, de manera que podamos obtener resultados cada vez mejores en la manera que programamos.
- Identificar y mostrar los beneficios de la aplicación de la Sectorización en los proyectos de edificaciones, donde veremos cómo se crea una curva de aprendizaje en el personal de obra y lo eficiente que se vuelve el control y el avance de la obra en cuanto a la optimización de los recursos.
- Optimizar los procesos constructivos mediante el uso de herramientas Cartas de Balance y Nivel general de Actividad.
- Mostrar los resultados a nivel general de un proyecto de edificaciones realizado bajo las herramientas Lean Construction, identificar las herramientas usadas y los resultados obtenidos en el proyecto.

PLAN DE TRABAJO

- Identificar a los actores involucrados y poner en práctica todos los conceptos del Lean Construction.
- Describir los trabajos que se realicen, durante la planificación y ejecución de la obra, verificando si realmente lo que se programa, se ejecuta en campo.
- Evaluar todas las etapas de programación, desde la Planificación Maestra, pasaremos por planificación mensual (Lookahead) y sus restricciones.
- Con las programaciones semanales se obtendrá el porcentaje de las tareas cumplidas de cada semana y se analizarán las que no fueron cumplidas, a modo de ir mejorando la programación siendo esta cada vez más cercana a la real.
- Se sacarán conclusiones de las causas de incumplimiento más frecuentes.
- Se verificará la mejora que se da en los rendimientos de las cuadrillas mediante un método de trabajo repetitivo y que ella se refleje claramente en una curva de aprendizaje de los trabajadores.
- Se analizará la productividad total de la obra mediante el nivel general de actividad
- Se analizarán las cuadrillas más incidentes de la obra y se optimizarán mediante el uso de cartas de balance.
- Se sacarán conclusiones sobre las ventajas y desventajas del sistema.
- Se propondrán mejoras al sistema analizando nuevas metodologías de planificación y programación.

ALCANCES

- Se ejecutará lo descrito en el plan de trabajo a un proyecto de edificaciones real de una empresa que practique la filosofía Lean Construction.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.




ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCION 1

1.1. Introducción General 1

1.2. Objetivos..... 1

1.3. Metodología de Estudio 2

1.4. Resultados Esperados..... 3

CAPITULO 2: LA FILOSOFÍA LEAN 5

2.1. Antecedentes históricos 5

2.2. Lean Production:..... 6

2.3. Lean Construction..... 10

2.4. Lean Project Delivery System: 14

2.5. Integrated Project Delivery (IPD)..... 20

2.6. Target Value Design (TVD) 21

CAPITULO 3: CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION 23

3.1. Productividad: 23

3.2. Variabilidad:..... 24

3.3. Just in time 25

3.4. Curva de aprendizaje 25

3.5. Sectorización..... 27

3.6. Tren de actividades 28

3.7. Buffers 29

3.8. Last Planner System 31

3.9. La Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints)..... 42

CAPITULO 4: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 44

4.1 Descripción de la empresa 44

4.2 Descripción del proyecto..... 45

4.3 Herramientas aplicadas: 47

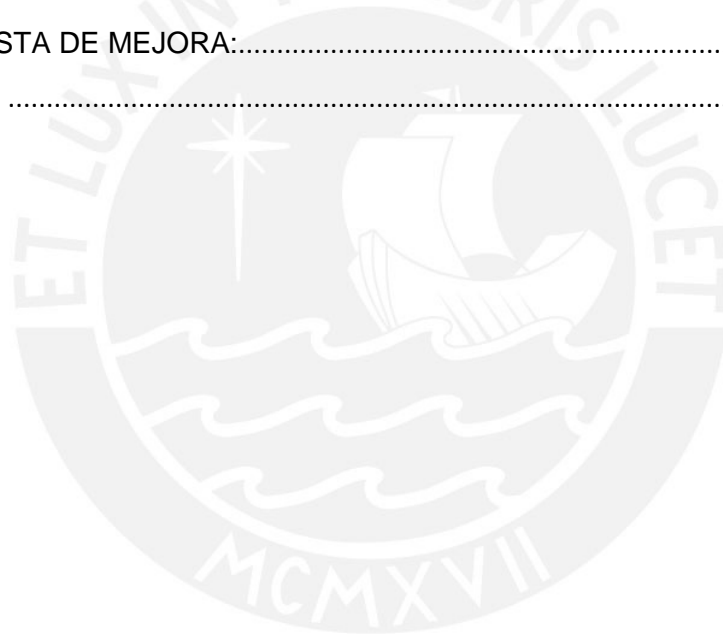
CAPITULO 5: APLICACIÓN DE LA FILOSOFIA LEAN EN EL PROYECTO 48

5.1. Sectorización..... 49

5.2. Tren de Actividades..... 56

5.3. Dimensionamiento de Cuadrillas Mediante el Circuito fiel..... 57

5.4. Last Planner	61
5.5. Análisis de Restricciones	70
5.6. Lecciones Aprendidas	72
5.7. Productividad	73
CAPITULO 6: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN	81
6.1. Niveles de productividad	81
6.2. Optimización de Procesos	88
6.3. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC).....	97
6.4. Curva de Aprendizaje (medición de rendimientos).....	107
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA	112
7.1. CONCLUSIONES:.....	112
7.2. PROPUESTA DE MEJORA:.....	115
BIBLIOGRAFIA:	119



CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1. Introducción General

El rubro de la construcción viene creciendo significativamente en el Perú debido al déficit de infraestructuras existentes. Sin embargo, la mayoría de empresas se rige por un sistema de construcción tradicional con procedimientos constructivos ineficientes lo que nos limita como país a crecer con mayor velocidad. Al bajo nivel de productividad se suma el problema de la seguridad laboral del sector. Estos indicadores nos permiten visualizar la poca evolución que ha estado teniendo el sector construcción en el Perú a pesar de su apogeo económico.

La planificación y ejecución de los proyectos de construcción en el Perú está en proceso de cambio. Su implementación está acompañada de un avance tecnológico que no está a la medida de la industrialización, pero que poco a poco va haciendo más competitivo y productivo nuestro rubro. Estos cambios que vienen dándose en el Perú, incluyen nuevas metodologías de construcción, entre las cuales está la filosofía *Lean construction*. Esta filosofía tiene la intención de mejorar a gran nivel la producción de nuestra industria con su metodología de trabajo enfocada en la reducción de los desperdicios a través de las herramientas que propone, propias de su sistema o de otras corrientes, siendo las más importantes de ellas el *Last Planner System*, Sectorización, tren de actividades, buffers, nivel general de actividad y las cartas de balance.

En el presente trabajo se aplican los conceptos del *Lean construction* a la construcción sin pérdidas, alternativa que se viene usando con buenos resultados en las mejores empresas del mundo y desde hace algunos años en nuestro país, a un proyecto de edificaciones para poder estudiar los resultados del uso y compararlo con estándares de resultados de obras realizadas mediante la metodología tradicional de construcción en el Perú.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la difusión de los conceptos de la filosofía de construcción llamada *Lean Construction*, que viene mostrando interesantes resultados en los países en los que se aplica y poco a poco viene ganando terreno en el Perú. Esto se debe a que las empresas del sector están conscientes del grado artesanal que tiene la construcción en nuestro país y le abren las puertas a una nueva metodología que

mejorara indudablemente el estado del sector, alentara su crecimiento y por ende el del país.

En este trabajo se planea transmitir el conocimiento adquirido en base a la implementación y aplicación de *Lean Construction* en una empresa del medio y en particular en una de las obras que esta empresa maneja, para así observar al detalle el procedimiento de planificación, ejecución y control de un proyecto bajo los lineamientos que propone esta nueva filosofía. También se describirán las herramientas que propone el *Lean Construction* para mejorar la productividad en nuestras obras con la ayuda de un concepto simple como la reducción de los desperdicios o perdidas, estas herramientas tienen como finalidad incrementar el valor del producto para los clientes finales y a su vez incrementar las ganancias de la empresa, lo cual se lograra con una correcta gestión de la construcción que es lo que *Lean Construction* nos propone.

Finalmente además de difundir los conocimientos teóricos y prácticos del *Lean Construction*, queremos mostrar los resultados que se obtienen de la aplicación de sus herramientas y conceptos, para sustentar con resultados las mejoras que esta filosofía propone y con esto alentar a que su implementación sea cada vez mayor en los proyectos de construcción tanto en la capital como en otras ciudades del Perú, ya que como sabemos las empresas tienen una finalidad que es generar utilidad y una manera de persuadir las o alentarlas para que usen la *filosofía Lean Construction* es demostrar que genera resultados positivos en los proyectos, los cuales repercuten en ahorros para la empresa y por consiguiente incrementan sus ganancias.

1.3. Metodología de Estudio

La metodología con que se desarrollara este trabajo será la siguiente:

- ✓ Se seleccionara un proyecto en el cual se aplique la filosofía *Lean Construction*
- ✓ Se analizaran y describirán las herramientas aplicadas en el planeamiento, control y ejecución del proyecto.
- ✓ Se describirá el proceso constructivo
- ✓ Se analizara una partida en especial, aplicando para esto las herramientas que el *Lean Construction* propone.
- ✓ Se harán mediciones de productividad a nivel general y en particular para las partidas estudiadas, diferenciando los trabajos productivos (TP), trabajos

Contributorios (TC) y trabajos no Contributorios (TNC) y se compararan con el promedio de lima.

- ✓ Se realizaran mediciones acerca del cumplimiento de las programaciones semanales mediante el PPC y se analizaran las causas de incumplimiento para generar una lista de lecciones aprendidas que ayuden a mejorar continuamente.
- ✓ Se analizaran los resultados obtenidos en general y como repercuten en lo económico para la empresa.
- ✓ Finalmente se concluirá sobre los resultados obtenidos y los beneficios que brinda la aplicación de esta filosofía en proyectos de edificaciones con el fin de incentivar su aplicación para una mejora de todo el sector construcción en el Perú.

1.4. Resultados Esperados.

Debido a la aplicación de la filosofía Lean Construction en un proyecto de edificaciones, los resultados que se esperan obtener se pueden dividir en las siguientes ramas.

1.4.1. En la Productividad:

Refiriéndonos a la productividad lograda gracias a la aplicación de la filosofía *Lean Construction*, se espera obtener resultados superiores al promedio en la ciudad de lima, lo cual se comparara con los rendimientos promedios usados para edificaciones (rendimientos presupuestados) y con los niveles de productividad (TP, TC y TNC) promedios del sector, usando para esto como referencia el libro de Virgilio Ghio Castillo (Productividad en obras de construcción Diagnostico, Critica y Propuesta, 2001), en el cual se realizaron mediciones de estos niveles de productividad en un conjunto de obras de la capital obteniendo un valor promedio que se espera superar en la obra estudiada.

1.4.2. En los Plazos:

Una de las herramientas más importantes del *Lean Construction* está enfocada a la planificación y al cumplimiento de la misma, en nuestro caso de estudio se hará uso del *Last Planner System* como herramienta para la planificación y control de las programaciones, por lo que se espera ejecutar la obra en los plazos establecidos. Los resultados se analizaran según el cumplimiento de las programaciones semanales, lo cual se medirá con el PPC (Porcentaje de plan completado) y si bien es cierto que es casi imposible mantener un orden de cumplimiento de 100%, se espera obtener valores cercanos al 80% lo cual representaría un porcentaje de cumplimiento bastante bueno.

1.4.3. En lo Económico:

Se espera obtener resultados alentadores en lo económico debido a la mejora de la productividad, el cumplimiento de los plazos, una correcta asignación de recursos y la eliminación de las pérdidas en la construcción. Todos estos campos tienen una repercusión directa en lo económico y la correcta ejecución del proyecto bajo los parámetros *Lean Construction* hará que estas mejoras se transformen en ahorros para la empresa y en un mejor producto para el cliente, haciendo que tanto la empresa como el cliente estén contentos con el producto final.



CAPITULO 2: LA FILOSOFÍA LEAN

2.1. Antecedentes históricos

Los primeros pensamientos de Lean Construction como filosofía de trabajo tienen sus orígenes en Japón cerca del año 1950, los cuales fueron aplicados en el denominado sistema de producción Toyota (TPS- Toyota production system) elaborado por los ingenieros Shigeo Shingo y Taiichi Ohno . La idea fundamental en el sistema de producción de Toyota era la producción de cantidades de productos relativamente pequeñas a un costo muy bajo, empleando los conceptos de eliminación del desperdicio y la mejora continua.

Los resultados del sistema que aplicaba Toyota habían pasado las fronteras del país asiático y se había expandido por todo el mundo, los buenos resultados del sistema hicieron que Toyota le quite mercado a las empresas automotrices americanas, por lo cual a finales de los años 80 una comitiva de investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) viajaron a Japón a investigar este nuevo sistema que a su regreso lo denominaron Lean manufacturing o Lean production y se encargaron de difundirla alrededor de todo el mundo.

El lean Production es una filosofía aplicable al sector industrializado y se enfoca principalmente en la reducción de los principales tipos de desperdicios (sobreproducción, inventario, tiempo de espera, etc.), además tiene nuevas metodologías que brindan resultados de productividad mucho mayores a los que se tenían en esa época.

Introduciéndonos en el campo de la construcción y a los típicos problemas que esta industria presenta, como programaciones poco confiables o erradas, exceso de desperdicios y una inadecuada administración de los recursos. Se han hecho muchos esfuerzos por mejorar los problemas en la administración general de proyectos de construcción, es así que en busca de una solución a esto en 1992 el ingeniero irlandés Lauri Koskela publica un documento llamado *Application of the New Production Philosophy to Construction*, donde se muestran los primeros acercamientos de la filosofía del *Lean Production* a la construcción, sistematizando los conceptos más avanzados de la administración moderna (Mejoramiento Continuo, Justo a Tiempo) que junto con la ingeniería de métodos reformula los conceptos tradicionales de planificar y controlar obras proponiendo en su tesis una nueva filosofía de Control de Producción .

2.2. Lean Production:

El lean Production es un sistema que tiene como finalidad eliminar o reducir al máximo los elementos que no aporten de manera positiva en recursos, tiempo, espacio u otros; para agregarle valor al producto, ya que como sabemos lo que busca el Lean production es agregarle valor a sus productos eliminando actividades innecesarias (desperdicios).

Las actividades en un proceso de producción se pueden separar como se muestra en el siguiente grafico.



Figura #1 Clasificación de actividades según Lean Production (Fuente: Propia)

Uno de los conceptos fundamentales de la teoría Lean Production es ver el proceso de producción como un flujo de materiales e información que van desde las materias primas hasta el producto final que llegara al cliente. Esto se grafica en el siguiente diagrama.

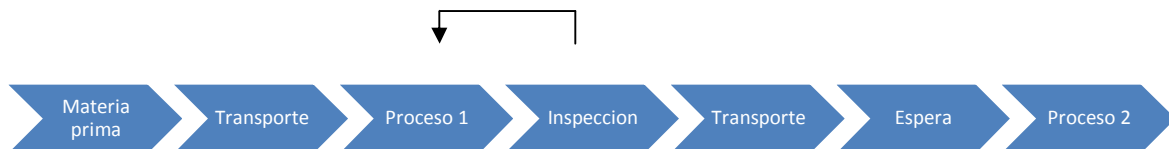


Figura #2 Modelo de flujo de Procesos. (Fuente: Propia)

En este gráfico podemos observar, además del proceso de producción, las actividades que definimos en el gráfico anterior, por ejemplo tenemos los procesos 1 y 2 que son actividades que agregan valor al producto. También tenemos al transporte y el tiempo de espera, estas actividades no agregan valor al producto y por lo tanto se deben separar en necesarias y no necesarias, el tiempo de espera es una actividad no necesaria por lo cual se debe tratar de eliminar y así reducir los tiempos para generar menores pérdidas, por otro lado el transporte es una actividad necesaria para pasar de un proceso a otro y no se puede eliminar, sin embargo este tipo de actividades se pueden reducir haciendo una correcta planificación lo cual también generara un gran ahorro de tiempo en todo el proceso.

La nueva filosofía de producción considera los siguientes elementos dentro de su diseño y control de la producción¹:

✓ **Identificar actividades que no agregan valor.**

Se identifican las actividades que no agregan valor y se tratan de reducir y en el mejor de los casos eliminar para generarle ganancias al proyecto, estas pueden ser en costo, tiempo, etc. Por lo tanto identificar estas actividades es primordial para reducir las pérdidas.

✓ **Incrementar el valor del producto.**

Los beneficios obtenidos de eliminar las pérdidas en general deben enfocarse en incrementar el valor del producto para el cliente final, esto se puede lograr poniéndonos en perspectiva del cliente y haciendo que nuestro producto iguale y en el mejor de los casos supere las expectativas que estos tienen sobre el producto.

✓ **Reducir la variabilidad.**

La variabilidad afecta negativamente todos los ámbitos de la producción y también es algo negativo para el cliente, por lo cual es importante la reducción de la variabilidad para evitar problemas con las programaciones y la satisfacción del cliente.

¹ Koskela, Lauri. "Aplicación de la nueva Filosofía de Producción a la construcción". 1992

✓ **Reducción del tiempo del ciclo.**

El tiempo que dura un ciclo se puede reducir con la teoría de lotes de producción y lotes de transferencia, la cual nos dice que si dividimos nuestra producción (lote de producción) en lotes pequeños (lotes de transferencia) que vamos transfiriendo de proceso a proceso, nuestro ciclo tendrá una duración menor que si introducimos todo el lote a un proceso y esperamos a que todo el paquete esté listo para llevarlo al siguiente proceso o actividad.

✓ **Simplificación de procesos.**

La simplificación de procesos consiste en mejorar el flujo por medio de la reducción de los procesos involucrados para de ese modo controlar mejor estos procesos y reducir la variabilidad y el costo de realización de cada proceso.

✓ **Incrementar la transparencia en los procesos.**

Mientras mayor sea la transparencia de un proceso serán mayores las posibilidades de inspeccionarlo y así evitar errores que pasaran a ser trabajos rehechos, los cuales son pérdidas para el proyecto.

✓ **Mejoramiento continuo.**

Este principio está basado en la filosofía Japonesa Kaisen, esta se basa en la identificación de las causas de no cumplimiento de las actividades para tratar de solucionarlas en siguientes proyectos y así ir mejorando continuamente.

✓ **Referenciar los procesos (Benchmarking).**

Esto se basa en comparar nuestros procesos con los procesos de la empresa líder en nuestro campo de acción para tener ideas de mejora basándonos en el potencial de las empresas de la competencia.

Como podemos observar todos estos principios tienen un fin común que es la mejora de todo el proceso de producción y la reducción de todas las actividades que no agregan valor, con el fin de lograr un flujo simple, uniforme y un tiempo de ejecución menor.

Las actividades que no agregan valor son definidas como Pérdidas que según el *Lean Production* se divide en 7 tipos.

- **Sobre Ë Producción**

Se refiere a producir más de lo que demanda el cliente, ya sea este el cliente final del producto o la actividad sucesora en el proceso de producción. Es el peor tipo de pérdida porque da lugar a otra que es el inventario.

- **Esperas**

Es el tiempo perdido entre procesos o dentro de un proceso específico debido a la falta de materiales, herramientas, equipos o información. Representa el mayor porcentaje de los trabajos no Contributorios.

- **Transporte**

Este tipo de pérdida no se refiere al transporte en sí porque como lo veremos más adelante es una actividad que si bien no agrega valor es completamente necesaria para realizar las actividades productivas. Se refiere al exceso de esta actividad, es decir no tener identificados puntos de acopio que hagan que se transporte continuamente los materiales sin generar apoyo a la producción.

- **Sobre Ë Procesamiento**

Cargar de mayor trabajo del necesario a una actividad simple, los sobrecostos en los que incide no son asumidos por el cliente y generan pérdidas para el proyecto. Es la pérdida más difícil de identificar y reducir.

- **Inventario**

Se refiere a la acumulación de productos o materiales por parte de los subprocesos por diferencias en las demandas entre estos (flujos no balanceados). Este tipo de desperdicio genera también transportes y esperas por lo que eliminarlo es fundamental para obtener ahorros.

- **Movimientos**

Cualquier tipo de movimiento que no es necesario para completar de manera adecuada una actividad, estas pueden ser de personas como de equipos. Este tipo de pérdida está ligado con el estudio de tiempos y movimientos; y se tiene que realizar un estudio mucho más exhaustivo para eliminarlo.

- **Defectos**

Son las pérdidas por los trabajos mal hechos o que presentan defectos por lo que no se pueden entregar a la siguiente actividad en ese estado y para resolver dichos defectos se tiene que incurrir en un costo que tiene que ser asumido por la empresa.

Adicionalmente a los 7 desperdicios se está proponiendo un nuevo desperdicio que sería el llamado Making DO², este desperdicio se debe a una incorrecta forma de trabajo, es decir realizar actividades cuando no se tiene todo listo para realizarla y por ende demanda una cantidad de trabajo mayor a la realmente necesaria para poder compensar la falta de recursos u otros requisitos de la actividad.

0.3. Lean Construction

El Lean construction como mencionamos antes nació de una adaptación del Lean Production que estaba enfocado a las empresas manufactureras, entonces se puede entender que existieron dificultades en este proceso de adaptación debido a los distintos que puede ser el proceso de construcción comparado con otras industrias más especializadas.

Primeramente la industria de la construcción se veía desde el modo tradicional como una industria de conversión la cual tomaba materiales, los transformaba y los entregaba como producto terminado y sabemos que el sistema de producción Lean es visto como un flujo y las teorías que tiene se aplican a una producción de flujo. Por tal motivo la filosofía lean construction considera la construcción ya no como solo una transformación, sino como un flujo de materiales y recursos para la obtención de un producto, para que de esta manera se puedan aplicar los principios de la producción lean, ya que según Ballard el modelo de flujo de procesos permite visualizar las abundantes pérdidas que usualmente se encuentran en la construcción y que el modelo de conversión no nos permite ver.

² Making-Do – The eighth category of waste. Lauri Koskela

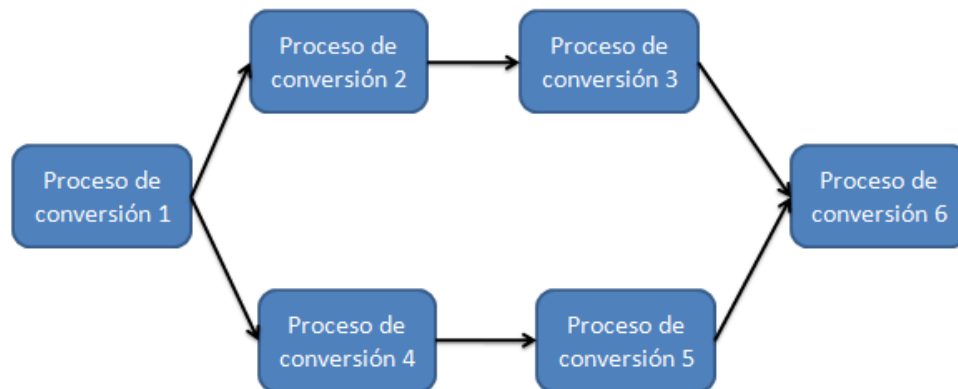


Figura #3 Modelo de conversión de procesos (Ghio, 2001)

La complejidad de la industria de la construcción también juega en contra para aplicar los principios del lean production. Cada proyecto de construcción es diferente y se desarrolla en un ambiente incierto incluso proyectos similares son desarrollados de manera totalmente distinta. La variabilidad es un factor inherente a la construcción ya que, debido a la complejidad que posee, hay muchos agentes que intervienen en las diversas etapas. Hay que recordar que prácticamente en todas las construcciones se trabaja con subcontratos, los cuales no siempre están dispuestos a depurar su forma de trabajo en pro de una mejora general.

A pesar de estas complicaciones que presentan los proyectos de construcción se pudo adaptar el lean production a esta industria y así crear la nueva filosofía de construcción llamada *Lean Construction+*, esta nueva filosofía tiene el mismo enfoque que es maximizar el valor para el cliente reduciendo al máximo las pérdidas.

Sistema de Producción Efectivo:

La filosofía *Lean Construction* busca dar una solución a los problemas que se tiene en la metodología actual de construcción en lo que respecta al costo, plazo y productividad en las obras, la metodología que propone para lograr dicho objetivo es generar un sistema de producción efectivo, para lo cual se tienen que cumplir con 3 objetivos básicos según orden de prioridad.

1. Asegurar que los flujos no paren

En esta etapa que es la más importante la filosofía lean construction propone centrarnos en que el flujo sea continuo, sin preocuparnos de la eficiencia de los flujos y procesos. Esto se debe a que al tener flujos continuos el trabajo no se detendrá y podremos observar las fallas en cada proceso y los flujos entre estos para eliminarlos como siguiente medida.

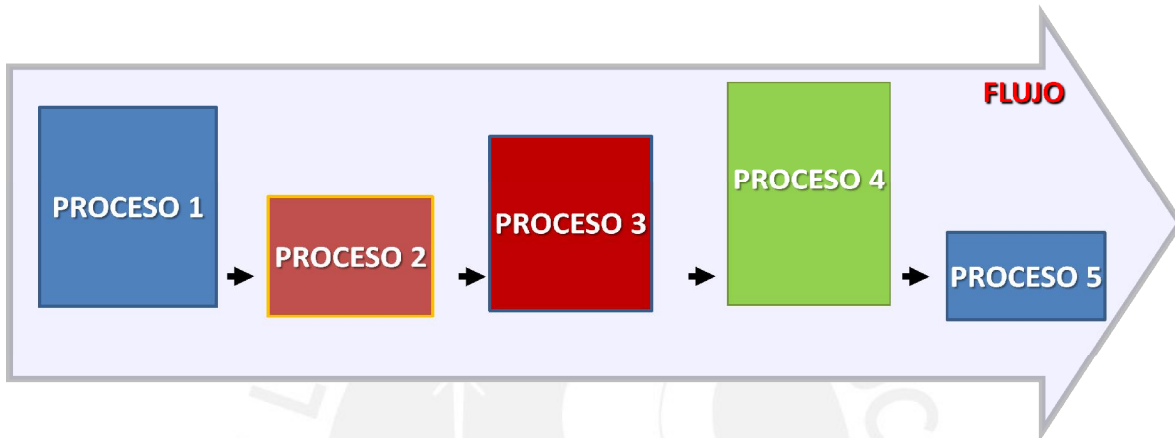


Figura #4 Modelo de flujo (Fuente: Capítulo Peruano LCI)

Como se puede apreciar en la imagen en esta primera etapa se logra continuidad del proceso general, pero salta a la vista que se tienen pérdidas debido a que la capacidad de producción de cada proceso es distinta y por consiguiente también lo son los flujos.

Como medidas para lograr el primer objetivo la filosofía Lean Construction propone 2 tipos de acciones importantes que son el manejo de la variabilidad y el uso del sistema *Last Planner*.

Manejo de la variabilidad: tiene mayor importancia en proyectos de infraestructura y que están alejados de las ciudades, ya que en esas situaciones la variabilidad es mucho mayor que para el caso de edificaciones. *Lean Construction* propone manejar la variabilidad con el uso de Buffers.

Sistema *Last Planner*: Esta herramienta tiene mayor importancia para proyectos de edificaciones donde la variabilidad es menor y un poco más controlable, este sistema logra asegurar que lo planificado se ejecute con mayor probabilidad de éxito, es decir incrementa la confiabilidad de la construcción.

2. Lograr flujos eficientes

Es el segundo objetivo que se tiene que cumplir para tener un sistema de producción efectivo y este se logra dividiendo el trabajo total equitativamente entre los procesos para de esa manera tener procesos y flujos balanceados. Para lograr esto se utilizan los principios de física de producción y el tren de actividades.

Física de producción: se utilizan conceptos de la teoría de restricciones según los cuales se debe de balancear los flujos entre procesos porque todo el sistema está restringido por el proceso que genera el menos flujo y es dicho proceso el que determina la capacidad de producción del sistema.

Tren de actividades: propone la división de la cantidad de trabajo en partes iguales que puedan ser ejecutadas por cada proceso en un mismo tiempo balanceando adecuadamente los recursos y estableciendo una secuencia lineal de actividades.

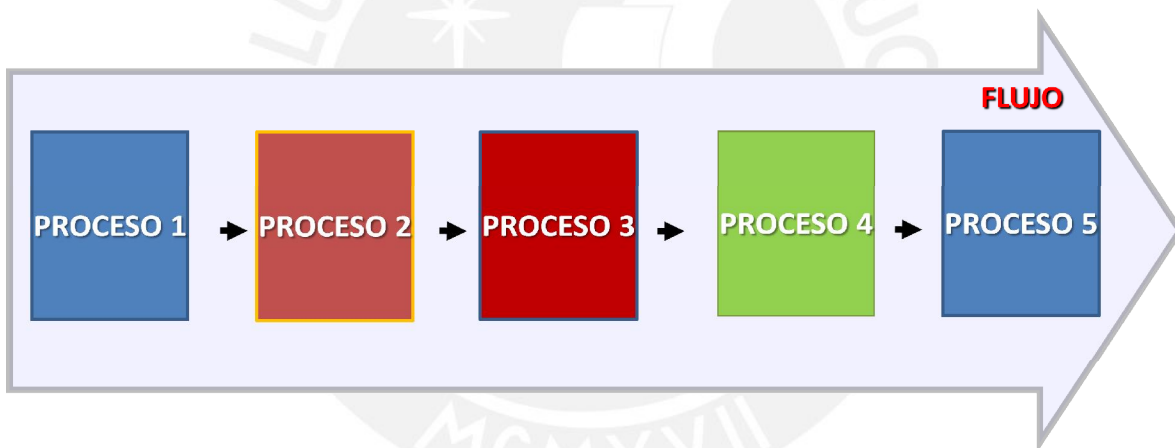


Figura #5 Modelo de flujo con flujos eficientes (Fuente: Capítulo Peruano LCI)

Al aplicar las herramientas mencionadas se obtendrá el flujo del sistema que se muestra en la imagen, según el cual se tiene un flujo continuo y simétrico entre los procesos cumpliendo así el segundo objetivo.

3. Lograr procesos eficientes

Con los objetivos anteriores cumplidos el tercer paso para lograr el sistema de producción efectivo que busca la filosofía Lean Construction es lograr que los procesos sean eficientes, lo cual se hará en base a la optimización de procesos con las herramientas que propone la filosofía Lean.

Optimización de Procesos: las herramientas que se propone para lograr esta optimización en cada proceso son las cartas de balance y el nivel general de actividad, a partir del uso de dichas herramientas se puede entender el estado de un proceso y la manera de optimizarlo.

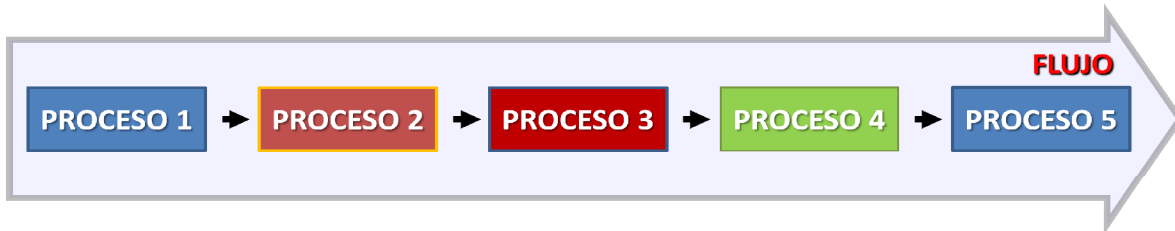


Figura #6 Modelo de flujo con procesos eficientes (Fuente: Capitulo Peruano LCI)

Como se aprecia en la imagen lo que se gana con este último objetivo es dimensionar adecuadamente los procesos y recursos eliminando el desperdicio dentro de cada proceso y logrando que todo el sistema de producción sea efectivo, ya que se tendrá un flujo continuo con procesos eficientes y por lo tanto el flujo dentro del sistema también lo será.

0.4. Lean Project Delivery System:

El LCI lo define como una implementación organizada de principios y herramientas lean combinadas para permitir a un equipo operar un proyecto³

El Lean Construction Institute (LCI) desarrolló el Lean Project Delivery System (LPDS) como una nueva y mejor metodología para desarrollar los proyectos de construcción expandiendo los conceptos Lean traídos del estudio de las teorías de producción en la industria seriada a todas las fases de un proyecto.

Inicialmente se aplicaba las herramientas y teorías Lean solamente en la etapa constructiva o de operaciones, debido a los buenos resultados observados en el campo de la construcción se fueron extrapolando estas teorías hacia las distintas áreas o fases que abarca un proyecto dando inicio así a un sistema Lean que abarca no solo la parte operativa de un proyecto sino todo su ciclo de vida.

³ Traducción del glosario del Lean Construction Institute (Anexos)

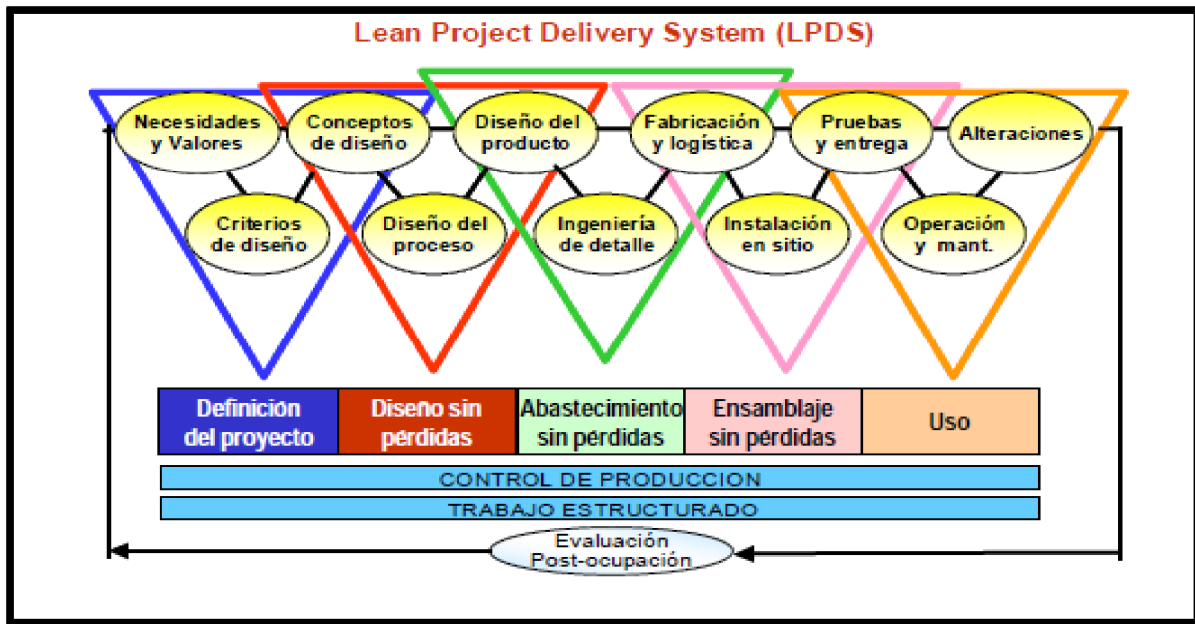


Figura #7 Lean Project Delivery System (Ballard, 2000)

El modelo del LPDS consta de 14 módulos, 11 de estos están organizados en 5 triadas o fases las cuales están interconectadas entre sí demostrando la interrelación de cada fase con las colindantes, además de 1 módulo de control de producción y uno de estructuración del trabajo, los cuales fueron concebidos para extenderse a través de todas las fases del proyecto, así como el módulo de evaluación post-ocupación el cual enlaza el final de un proyecto con el inicio de otro. (Figura #7)

Las 5 triadas que propone el LPDS son las siguientes:

- **Definición del Proyecto (Project Definition)**

La fase de Definición del Proyecto está conformada por 3 módulos: Las necesidades y Valores que analiza y estudia las necesidades de los clientes finales y las expectativas de los inversionistas, los criterios de diseño que son las pautas que se toman en cuenta para la concepción de una idea como proyecto, las cuales provienen de la experiencia y conocimiento relacionado al tema; y los conceptos de diseño que es la conceptualización de los 2 módulos mencionados en alternativas o esquemas del proyecto que termina en un anteproyecto.

- **Diseño Lean (Lean Design)**

La fase del diseño Lean se inicia con el último módulo de la fase anterior (Conceptos de diseño) y es con este módulo que está enlazado con la fase anterior, le sigue el módulo de Diseño del Proceso que es el diseño de los pasos y procedimientos para lograr la fabricación efectiva y eficiente del producto o proyecto ya definido; y el tercer módulo de esta fase es el Diseño del Producto que consiste en estructurar adecuadamente las actividades a realizar para generar un conjunto de especificaciones que definan como será el producto final.

- **Abastecimiento Lean (Lean Supply)**

La fase de abastecimiento sin pérdidas está conectada con la anterior con el módulo del diseño del producto, es decir para iniciar con el abastecimiento sin pérdidas es necesario tener definido y diseñado el producto final o proyecto. En esta fase se tiene el módulo de Ingeniería de detalle, el cual va de la mano con el diseño del producto y ambos son indispensables para poder lograr el tercer módulo que es la fabricación y logística, ya que si no sabemos o no tenemos definido el producto que haremos o no tenemos la información detallada y exacta no se podrán fabricar o tramitar los materiales necesarios para el inicio de la siguiente fase.

- **Ejecución Lean (Lean Assembly)**

La fase de ensamblaje sin pérdidas representa la parte netamente productiva o la que podrías denominar como Lean Construction, esta inicia con la fabricación y logística que brindan los materiales, las herramientas y todos los recursos necesarios para la construcción. El segundo módulo de esta fase comprende la instalación o construcción in situ del proyecto que representa la producción como la conocemos en un proyecto, finalmente esta fase tiene un módulo de salida que serían las pruebas al producto ensamblado y la entrega.

- **Uso**

La fase de uso es la última de las 5 triadas que propone el LPDS y se inicia con el módulo final de la fase anterior, es decir con las pruebas y la entrega; además abarca el módulo de operación y mantenimiento que se desarrolla durante toda la vida del

proyecto y una fase de alteraciones que comprende las reparaciones o modificaciones que pueda sufrir el proyecto inicial.

Además de los 11 módulos mencionados en las triadas se tienen otros 3 que son los siguientes

- **Control de Producción:**

El control de Producción es un módulo que abarca todas las fases del proyecto y consiste en el control de los flujos de trabajo y las unidades de producción. Este módulo tiene como herramienta principal de control de producción al Last Planner System.

- **Estructuración del Trabajo:**

Este módulo tiene como objetivo hacer que el flujo de trabajo durante la construcción sea más confiable, eficiente y le añada valor al cliente. La estructuración del trabajo también se da durante todo el tiempo de duración del proyecto, desde su concepción como idea hasta su uso, esto hace que todas las decisiones concernientes a la estructuración del trabajo se puedan tomar en cualquiera etapa del proyecto.

Finalmente se tiene la evaluación Post . Ocupación que se es el nexo entre un proyecto terminado y uno nuevo, este módulo de evaluación funciona como un mecanismo de retroalimentación y mejora continua, ya que al evaluar el proceso de entrega y uso de un proyecto se pueden tener conclusiones importantes que sirvan para mejorar la calidad del proyecto en general y maximizar el valor que pueda obtener el cliente.

Herramientas Lean del LPDS

Dentro del sistema de entrega de proyectos lean se han desarrollado muchas herramientas para cada una de las fases con la finalidad de aplicar las enseñanzas teóricas de esta filosofía al momento de ejecutar los trabajos. Las herramientas del LPDS son en total 42 y se dividen en cada fase de la siguiente manera⁴:

⁴ Información tomada de: Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos lean (LPDS), Inés Castillo - 2014

LPDS	Numero	Herramienta	Fuente
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al 2011
	2	CUADERNO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al 2011
	3	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Pablo Orihuela et al 2011
	4	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Pablo Orihuela et al 2011
	5	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Ines Castillo 2014
	6	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPOSITOS	Pablo Orihuela et al 2011
	7	DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)	Yoji Akao 1978
DISEÑO LEAN	8	REPORTE A3	Toyota
	9	ESTACIONAMIENTO	Cynthia Tsao et al 2002
	10	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Carlos Formoso et a 1999
	11	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	Carlos Formoso et a 1999
	12	LISTA DE TAREAS	Luis Alarcón et a 1998
	13	LISTA DE CHEQUEO	Luis Alarcón et a 1998
	14	SOLICITUD DE INFORMACIÓN (RFI)	Grupo internacional de Lean Construction
	15	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Instituto de la industria de la construcción 1986
ABASTECIMIENTO LEAN	16	CENTROS LOGISTICOS	Iris Tommelein et al 2007
	17	5S	Toyota
	18	MATRIZ MULTICRITERIO	Pablo Orihuela et al 2008
	19	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Toyota
	20	KANBAN	Toyota

EJECUCIÓN LEAN	21	FIRST RUN STUDIES	Instituto de la construcción lean
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	Alfredo Serpell 1990
	23	CARTA DE BALANCE	Alfredo Serpell 1990
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Nakagawa y Shimizu 2004
	25	POKA YOKE	Shingueo Shingo 1960
	26	MANUALES DE PROCESOS	Ines Castillo 2014
	27	ANDON	Toyota
	28	ONE TOUCH HANDLING	Glenn Ballard et al 2002
USO	29	EVALUACIONES POST-OCUPACIÓN	Instituto de la construcción lean
	30	MANUAL DEL CLIENTE	Ines Castillo 2014
	31	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Ines Castillo 2014
	32	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Cupertino et al 2011
	33	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	Cupertino et al 2011
CONTROL DE PRODUCCIÓN	34	PLANIFICACIÓN MAESTRA	Grupo internacional de Lean Construction
	35	PLANIFICACIÓN POR FASES	Glenn Ballard 2000
	36	LOOKAHEAD PLANNING	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Glenn Ballard y Greg
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO	Glenn Ballard y Greg
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Glenn Ballard y Greg
	40	LINEAS DE BALANCE	Goodyear Tire & Rubber Company
TRABAJO ESTRUCTURADO	41	5 WHYS	Toyota
	42	BUFFERS	Grupo internacional de Lean Construction

Figura #8 Herramientas del LPDS (Tesis Ines Castillo, 2014)

2.5. Integrated Project Delivery (IPD)

Es un sistema integrado de entrega de proyectos que busca alinear intereses, objetivos, y practicas renovando la organización, el sistema de operación y los términos comerciales que rigen el proyecto. Los principales miembros del equipo del proyecto son el arquitecto, los consultores técnicos, así como el contratista general y los subcontratistas principales de especialidad. Estos miembros forman una organización capaz de aplicar los principios y prácticas del sistema de entrega de proyectos lean (LPDS).

El sistema integrado de entrega de proyectos busca involucrar a todos los participantes de un proyecto (proyectistas, consultores, contratistas, proveedores, especialistas, etc.) para poder generar un producto con valor agregado hacia el cliente, generando ahorro para este y mayores utilidades para las empresas involucradas.

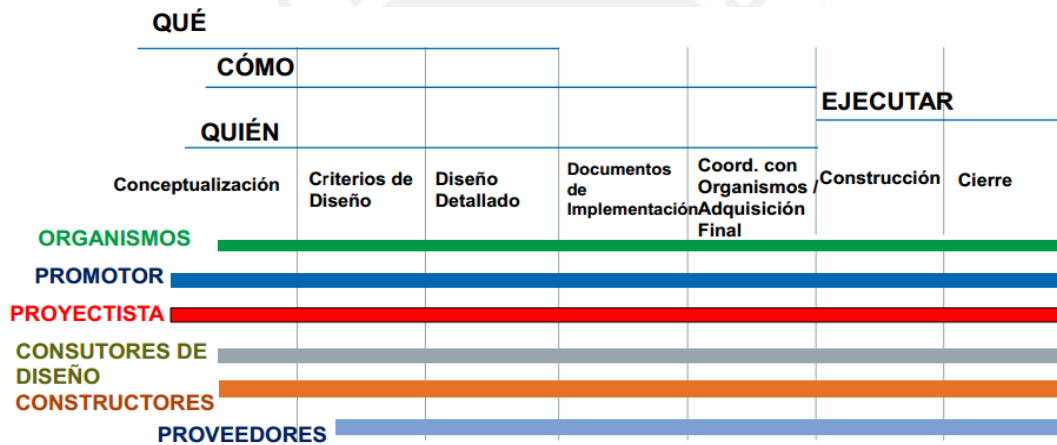


Figura #9 Propuesta del IPD (Fuente: Brioso, 2014)

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el Integrated Project Delivery (IPD) propone que desde la etapa de la conceptualización del proyecto se tenga la participación de los involucrados (Organismos, Promotor, Proyectistas, consultores y constructores) para generar un producto con valor agregado no solo para el cliente sino para todos los involucrados en el proyecto. La metodología convencional por lo contrario muestra que cada participante del proyecto participa únicamente de las etapas en las que tiene acción directa sin poder hacer un cambio que agregue valor significativo al proyecto, ya que mientras más avanzado esta es más complicado que un cambio de aplique.

En el Perú aún se está conociendo esta metodología, pero debido a la forma en que se maneja la construcción en el país es poco probable que se llegue a aplicar a gran escala.

0.6. Target Value Design (TVD)

Es una práctica de gestión disciplinada que se usa a lo largo de un proyecto para asegurar que las instalaciones cumplen las necesidades operativas y el valor requerido por el cliente. Tiene como finalidad ser entregado cumpliendo con el presupuesto del cliente (por debajo del valor del mercado) y promueve la innovación en todos los procesos de creación del proyecto, para incrementar el valor del proyecto hacia el cliente y minimizar los costos al eliminar los desperdicios.⁵

El diseño enfocado en el valor invierte la práctica común de diseño con respecto a lo convencional, por ejemplo en el siguiente cuadro se muestra cómo se desarrolla un proyecto con la metodología tradicional y TVD:

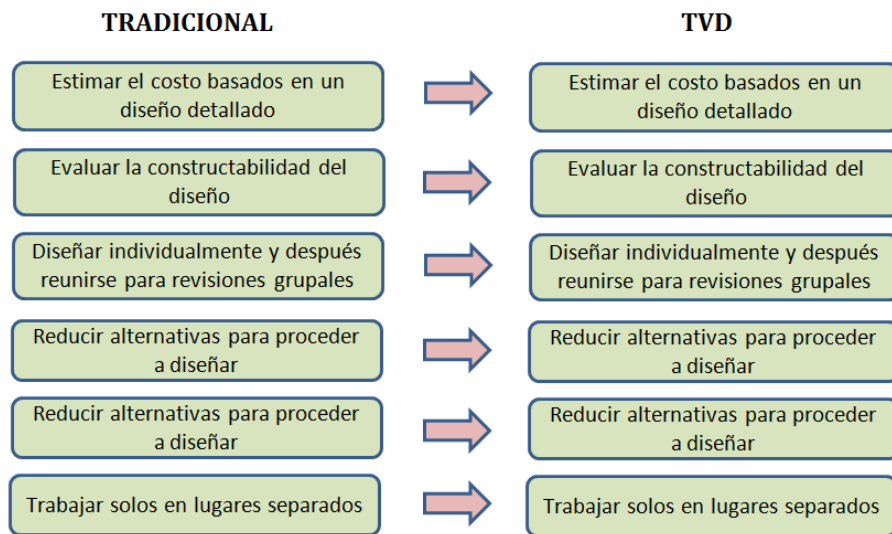


Figura #10 Propuesta del IPD (Fuente: Brioso, 2014)

El equipo general de diseño tiene como meta diseñar el producto con un costo objetivo (Tarjet Cost) que es establecido por el mismo equipo y es inferior al costo aceptable por el cliente, esto tiene como objetivo crear la necesidad de impulsar la innovación y reducción de pérdidas en el proceso de diseño y construcción.

El siguiente grafico muestra las diferencias entre el costo de mercado (Market Cost), el costo aceptado por el cliente (Allowable Cost) y el costo objetivo (Tarjet Cost); así como el proceso de conversión a lo largo del tiempo.

⁵ Traducción del glosario del Lean Construction Insitute (Anexos)

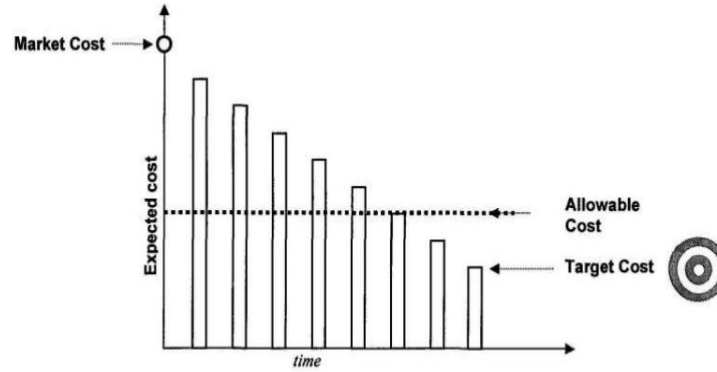


Figura #11 Términos de costeo asociados con TVD (Rybkowski S., 2009)⁶

En el siguiente grafico se muestra el proceso realizado para poder alcanzar el costo objetivo de un proyecto. Este procedimiento consiste en la reducción del costo, a partir de los cambios de ingeniería, constructabilidad e interacciones directas de proveedores y contratistas, en cada uno de los subsistemas o etapas del proyecto y a su vez dentro de cada una de estas etapas en las partidas que la conforman.

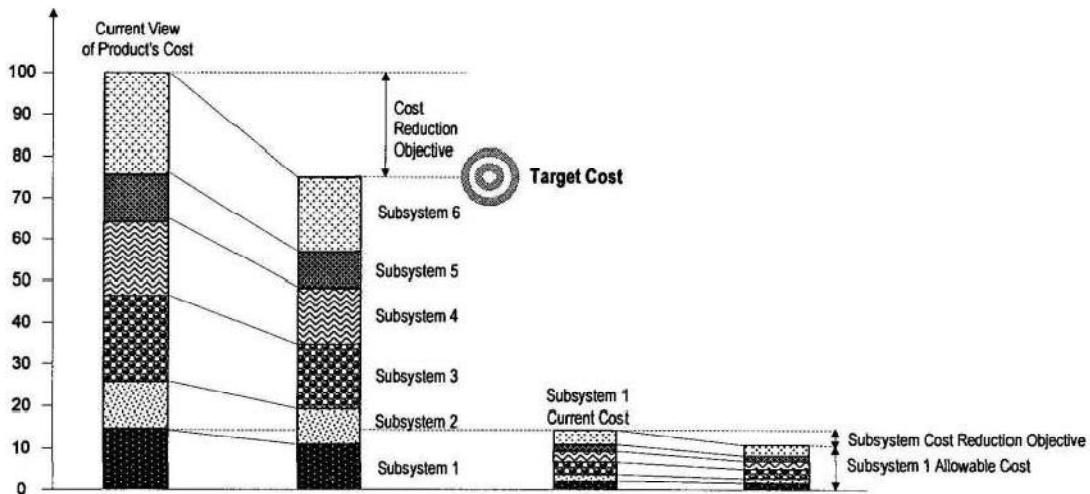


Figura #12 Ahorro en costos compartidos por subsistemas como resultado de los ejercicios de Target Costing (Rybkowski S., 2009)⁷

⁶ Información tomada de: BRIOSO, XAVIER. “Material de la diplomatura de Gestión de Proyectos de Construcción”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.

⁷ Información tomada de: BRIOSO, XAVIER. “Material de la diplomatura de Gestión de Proyectos de Construcción”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.

CAPITULO 3: CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

3.1. Productividad:

Existen varios conceptos de productividad, Botero y Álvarez (2004) citan a Serpell (1999) quien sostiene que la productividad es una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.

También se podría definir como una relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Lo que significa que una productividad mayor implica una mayor producción utilizando la misma cantidad de recursos.

Según estudios sobre la ocupación del tiempo de los trabajadores en la construcción se consideró que los trabajadores pueden realizar tres tipos de actividades (Serpell, 2002).

- **Trabajo Productivo (TP):**
Corresponde a las actividades que aportan en forma directa a la producción de alguna unidad de construcción. Ejemplo, vaciar concreto, asentar ladrillos, colocar cerámicos, etc.
- **Trabajo Contributorio (TC):**
Es el trabajo de apoyo, se define como el trabajo que es necesario para que se pueda ejecutar el trabajo productivo, pero que no aporta valor a la unidad de construcción. Es considerado una pérdida de segunda categoría y se debe minimizar al máximo posible para mejorar la productividad. Ejemplo, recibir y dar indicaciones, leer planos, transporte de material, etc.
- **Trabajo No Contributorio (TNC):**
Corresponde a cualquier otra actividad realizada por el trabajador y que no se clasifica en las anteriores categorías, por lo tanto se consideran pérdidas, ya que son actividades que no son necesarias, tienen un costo y no agregan valor por lo que se busca eliminarlas para mejorar el proceso productivo. Ejemplo, esperas, descansos, trabajo rehecho, etc.

3.2. Variabilidad:

Podemos definir la variabilidad para el caso de los proyectos de construcción como la ocurrencia de eventos distintos a los previstos por efectos internos y externos al sistema, está presente en todos los proyectos y se incrementa con la complejidad, velocidad, ubicación y magnitud de los mismos. Estos eventos son aleatorios y no se pueden predecir ni eliminar en su totalidad, es decir se puede predecir que ocurrirán imprevistos mas no sabemos de qué tipo ni cuando, aun así se deben de tomar en cuenta ya que no hacerlo hará que se incrementen significativamente y que generen un impacto mayor en el proyecto.

Para el caso específico de los proyectos de construcción la variabilidad es gran problema debido a la cantidad de actividades que se tiene dentro de todo el proceso de construcción. Se sabe que la confiabilidad de una actividad predecesora es del orden del 95%, lo cual es una buena confiabilidad tratándose de un proceso, pero al tener muchas actividades predecesoras el porcentaje de confiabilidad cae enormemente hasta un valor del 8% para 50 actividades predecesoras.

Actividades Predecesoras	Confiabilidad del Proceso	Confiabilidad del último Proceso
1	95%	95%
2		90%
5		77%
10		60%
20		36%
30		21%
50		8%

Figura #13 Tabla de porcentajes de actividades predecesoras (Fuente Capitulo Peruano LCI, 2012)

Según los lineamientos de la filosofía *Lean Construction* las metas de nuestra producción son producir el producto, maximizando los desperdicios y minimizando las perdidas, la manera de minimizar las perdidas como primer paso para conseguir las 2 primeras metas es el correcto manejo de la variabilidad que es la principal fuente de desperdicios en la construcción (Baja productividad, trabajos no óptimos, paras en los procesos, etc.)

Por todo lo expuesto se entiende que se tiene que hacer algo para atacar la variabilidad, el primer paso debería ser disminuirla a medida de lo posible para tener una variabilidad

mínima, luego de esto se tienen que plantear herramientas dentro de la obra para disminuir el impacto negativo que genera.

1.3. Just in time

El Just in time (justo a tiempo) tiene una ideología simple, que el inventario es una pérdida para la producción porque incurre en costos innecesarios, por tal motivo este modelo de gestión de recursos que está basado en los principios del lean production trata de minimizarlo al máximo gestionando adecuadamente el abastecimiento de materiales.

Just in time es un sistema para la producción o suministro de la cantidad correcta de materiales o productos en el momento justo que es necesario para la producción.⁸

Haciendo una definición simple de lo que propone este modelo de gestión de recursos se puede decir que el enfoque del Just in time es tener el material adecuado, en el momento adecuado, en el lugar correcto y en la cantidad exacta.⁹

Implementar la ideología del Just in time en las obras del Perú y en particular de Lima, requiere de un arduo trabajo en la planificación por parte de la obra y en la búsqueda de proveedores serios que tengan interés de practicar esta metodología como política de funcionamiento en su propia empresa, ya que como sabemos los proyectos de construcción dependen en gran parte de los proveedores que nos abastecen de material y aunque existan medios para gestionar adecuadamente los recursos a utilizar en obra como por ejemplo el *Lookahead*, combinarlo con la ideología que presenta el Just in Time sería asumir demasiados riesgos porque estamos poniendo el avance de obra en las manos de los proveedores y dependemos del tipo de servicio que ellos brindan el cual siempre es distinto al que prometen y además nos exponemos a los efectos de la variabilidad que en general la filosofía *Lean Construction* busca reducir.

1.4. Curva de aprendizaje

El concepto de curva de aprendizaje fue descrito por primera vez por T.P. Wright en 1936 en un estudio de tiempos requeridos para hacer piezas de aviones, en este estudio se observó que a medida que el trabajo se realiza los trabajadores van adquiriendo mayor experiencia en las labores y por consiguiente el tiempo de ejecución del trabajo se reduce.

⁸ Traducción del glosario del Lean Construction Institute (Anexos)

⁹ Ryan Grabosky

Wright encontró una relación entre el porcentaje de aprendizaje y la disminución de tiempos en el trabajo asignado, nos dice que cuando una persona haga el trabajo el doble de veces ($2n$) el tiempo de ejecución se verá reducido al porcentaje de aprendizaje, a continuación se presenta una tabla con los resultados del experimento elaborado por T.P. Wright en 1936.

Time required to make airplane parts			
N repetitions	Time / Ratio	Ratio	
	Unit T_n/T_1	$T_n/T_{n/2}$	
1	10		
2	8	0.8	0.8
3	7	0.7	
4	6.4	0.64	0.8
5	6	0.6	
6	5.6	0.56	0.8
7	5.3	0.53	
8	5.1	0.51	0.8

Figura #14: Tiempo requerido para fabricación de partes de avión (T.P. Wright, 1936)

Estos datos se pueden expresar en un grafico que muestra la reducción del tiempo de ejecución del trabajo a medida que va avanzando el tiempo y por ende incrementando el aprendizaje de los operarios, hasta llegar a un nivel de especialización en el cual el tiempo de ejecución del trabajo se mantiene constante.

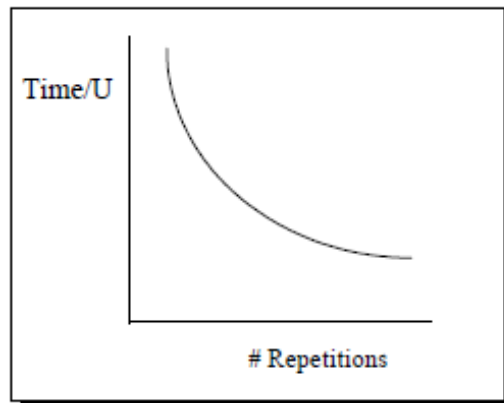


Figura #15: Curva Tiempo de ejecución Vs Numero de repeticiones (T.P. Wright, 1936)

Finalmente cabe mencionar que este concepto es muy utilizado por el lean construction, ya que se enfoca en asignar trabajos específicos a cada cuadrilla para que los trabajos se hagan repetitivos y así poder aprovechar este concepto.

Finalmente se muestra el grafico de la curva de aprendizaje en los trabajadores, está dividida en 3 partes, la primera que muestra un inicio lento del aprendizaje, en la segunda se incrementa el aprendizaje a un nivel más acelerado que en la anterior para finalmente llegar a la tercera parte en la cual casi no se incrementa el aprendizaje con el pasar del tiempo porque se ha llegado a un nivel optimo.

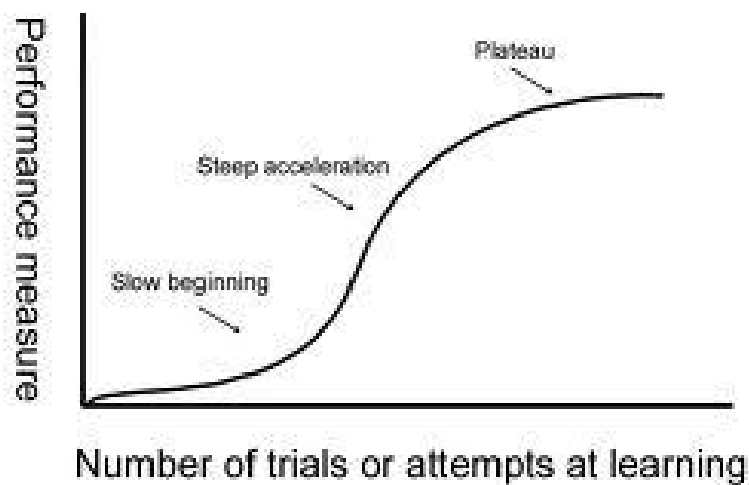


Figura #16: Curva de Rendimiento Vs Número de Repeticiones (T.P. Wright, 1936)

1.5. Sectorización

Se llama sectorización al proceso de división de una actividad o tarea de la obra en porciones más pequeñas llamadas sectores, cada sector deberá comprender un metrado aproximadamente igual a los demás para así mantener un flujo continuo entre sectores. El metrado asignado a los sectores deberá ser factible de realizarse en un día.

La sectorización está relacionada con la teoría de lotes de producción y lotes de transferencia, ya que al dividir el trabajo en sectores más pequeños estamos dividiendo nuestro lote de producción en lotes más pequeños que serán los que transferimos a las actividades siguientes (lotes de transferencia). Asimismo al sectorizar se está optimizando los flujos de recursos en la obra, lo cual genera un beneficio para todo el sistema de producción.

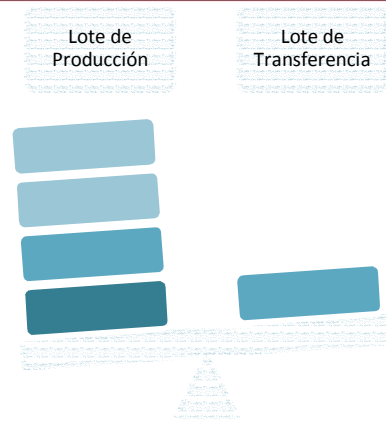


Figura #17: Comparación Lotes de Producción vs Lotes de Transferencia (Fuente: EDIFICA)

La sectorización en la construcción se hace con la finalidad de dividir el trabajo en partes más manejables y poder formar lo que llamamos el tren de trabajo, con esto se podrá separar las cuadrillas por especialidad y optimizar los rendimientos de cada cuadrilla haciendo uso de la curva de aprendizaje.

1.6. Tren de actividades

El tren de actividades es una metodología similar a las líneas de producción en las fábricas, en las cuales el producto avanza a lo largo de varias estaciones transformándose en cada una de ellas. Para el caso de la construcción que no es una industria automatizada como las fabricas y no se tiene la posibilidad de mover el producto a lo largo de varias estaciones se creó el concepto de tren de actividades, según el cual las cuadrillas de trabajo van avanzando unos tras otros a través de los sectores establecidos anteriormente en el proceso de sectorización, con esto se pretende tener un proceso continuo y ordenado de trabajo, además de poder identificar fácilmente los avances a través de la ubicación de las cuadrillas en un sector determinado.

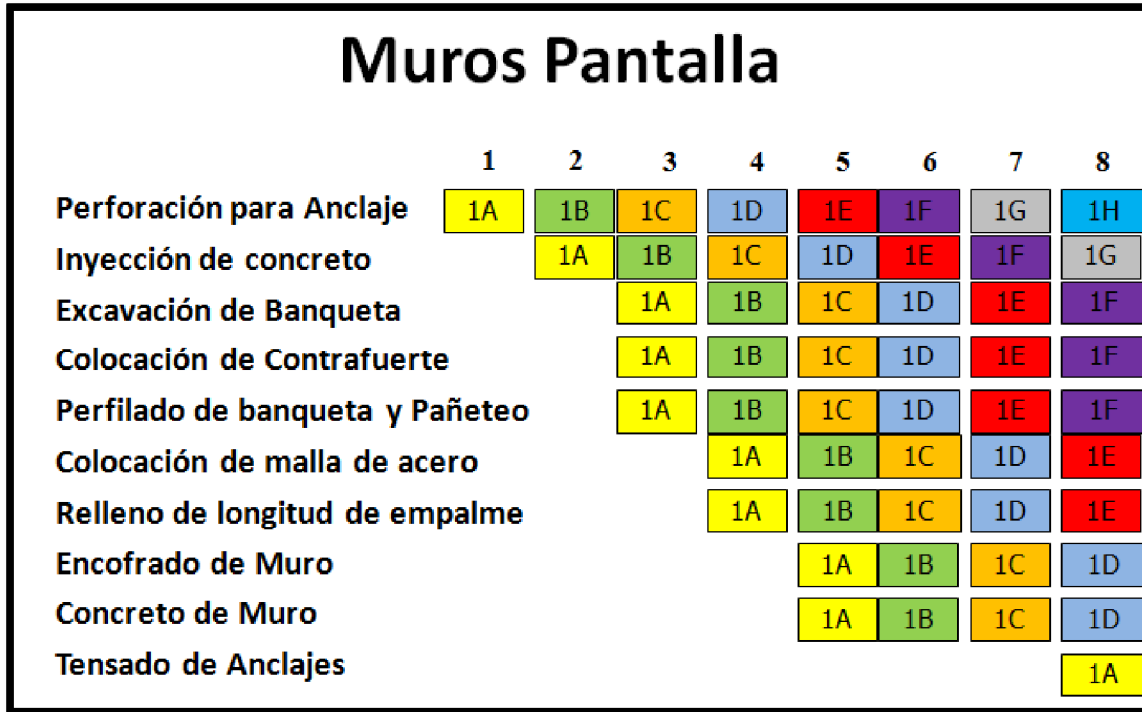


Figura #18 Ejemplo de tren de actividades en muros pantalla (Fuente: EDIFICA)

Como principales ventajas de la aplicación de los trenes de trabajo se tiene:

- ✓ Incrementa la productividad.
- ✓ Mejora la curva de aprendizaje.
- ✓ Se puede saber lo que se avanzara y gastara en el día.
- ✓ Se puede saber el avance que se tendrá en un día determinado.
- ✓ Disminuye la cantidad de trabajos rehechos.

1.7. Buffers

El planeamiento y la programación en los proyectos de construcción son fundamentales para el éxito de cada proyecto, ya que definen la secuencia, ritmo y duración de todos y cada uno de los procesos constructivos que engloba el proyecto. Sin embargo, las técnicas de programación convencionales no han abordado eficientemente la naturaleza variable de los proyectos, lo que se traduce en retrasos y mayores costos. Aunque ya se está usando la metodología propuesta por la filosofía Lean Construction a través del Last Planner que reduce considerablemente los efectos de la variabilidad para el proyecto, pero aun existe cierta variabilidad que no se puede controlar mediante esta herramienta y

es por eso que se plantea el uso de Buffers para contrarrestar los efectos de la variabilidad que escapan del sistema Last Planner.

Se entiende como Buffer un colchón o amortiguador, como sería su traducción al español, que se tiene como alternativa para contrarrestar los efectos negativos de la variabilidad en la construcción.

Los Buffers pueden ser de 3 tipos:

- **Buffer de Inventario:**

El Buffer de inventario es muy común en los proyectos de construcción y es necesario debido a la poca confiabilidad que tienen los proveedores de este rubro. Se entiende como buffer de inventario el tener una cantidad mayor a la necesaria de materiales y/o equipos para evitar que el flujo se detenga ante la falla en la entrega de algún recurso.

- **Buffer de Tiempo:**

El Buffer de tiempo representa generar un colchón de tiempo para el proyecto que se pueda usar en el caso de que haya complicaciones y de esa manera no salimos del plazo establecido. En el caso de los proyectos de EDIFICA es común el uso de este tipo de Buffers, ya que en nuestras programaciones solo se cuentan 5 días útiles por semana (Lunes a Viernes) dejando el día sábado como un Buffer de tiempo para realizar los trabajos que no hayan sido cumplidos en los 5 días contados en la programación y de esta manera mejorar el porcentaje del PPC que se mide con el Last Planner.

- **Buffer de Capacidad**

Los Buffers de Capacidad son principalmente partes o partidas no críticas de la obra que se dejan de programar o realizar según el curso normal del proyecto para que se realicen cuando sea necesario un lugar de trabajo para el personal debido a la falta de frente o para colocar los materiales excedentes. En el caso de EDIFICA se usa este tipo de Buffer en varias actividades como por ejemplo se deja la nivelación del último sótano para ocasiones en las que no se tenga un frente de trabajo para una determinada cuadrilla y para no perder las horas de ese personal se le asigna dicha actividad. Además también se tiene el vaciado de la

losa del último sótano y el ducto de monóxido como otro Buffer de Capacidad para usarlo en el caso de que se haya excedido el pedido de concreto premezclado o que no se tengan listos los elementos a vaciar, así el concreto no se desperdicia y no genera pérdidas para el proyecto.

Los Buffers son una buena alternativa para reducir la variabilidad en los procesos de producción en construcción, sin embargo, no existen modelos analíticos que dimensionen tamaños de Buffers óptimos, ni metodologías que los administren adecuadamente. El uso de tamaños de Buffers óptimos facilitará el desarrollo de programas de construcción de mayor capacidad predictiva, así como también, una adecuada administración de éstos mejorará el flujo de producción en terreno en los proyectos. Sin embargo, se tiene que realizar un arduo trabajo para elaborar procedimientos óptimos de dimensionamiento de Buffers.

1.8. Last Planner System

El Last planner system es una herramienta de la filosofía Lean construcción que se ubica dentro del LPDS en la fase de control de la producción y engloba otras herramientas de control de producción como la planificación maestra, planificación por fases, lookahead, plan semanal, porcentaje de plan cumplido y causas de no cumplimiento.

Basándose en la teoría Lean Production, Herman Glenn Ballard y Gregory A. Howell desarrollaron un sistema de planificación y control de proyectos llamado Last Planner System⁺, este sistema fue publicado por primera vez por Glen Ballard (1994)¹⁰ como herramienta para contrarrestar los principales obstáculos en la construcción, que para los autores son:

- ✓ La planificación no se concibe como un sistema, sino que descansa plenamente en la experiencia del profesional a cargo.
- ✓ La gestión se enfoca en el corto plazo, descuidando el largo plazo.
- ✓ No se hacen mediciones del desempeño obtenido.
- ✓ No se analizan los errores de programación ni las causas que las originan.

El Last Planner⁺ o último planificador es el que ejecuta el LPS, se define como la persona o grupo de personas que tienen la función específica de asignar el trabajo y transmitirlo

¹⁰ Glen Ballard, "The Last Planner". Northern California Construction institute Monterey, CA. 1994.

directamente a campo, es decir están en el último nivel de planificación y se encargan de que toda la planificación se transmita efectivamente a los trabajadores de campo. Adicionalmente la función del último planificador es lograr que lo que *queremos* hacer coincida con lo que *podemos* hacer y finalmente ambas se conviertan en lo que *vamos a* hacer. Esto se puede relacionar con el siguiente esquema.

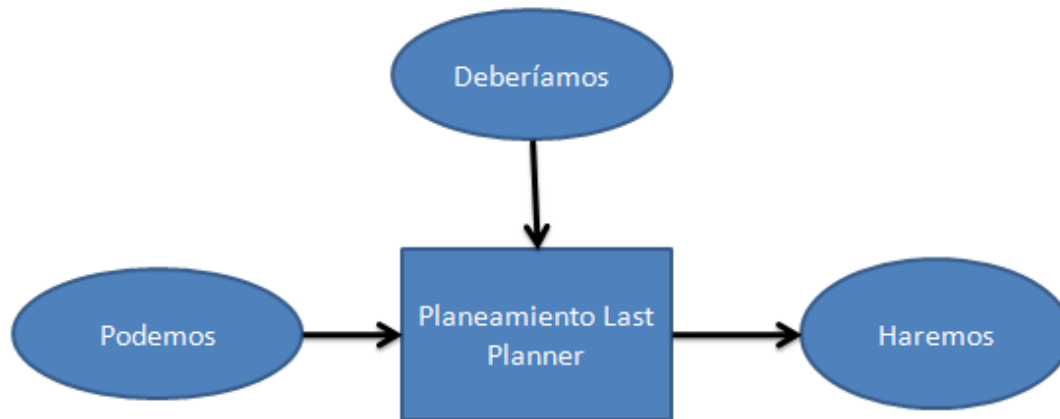


Figura #19 Formulación de la asignación en el planeamiento LP (Ballard, 2000)

Según Ballard (1994). *En los esquemas convencionales de manejo de obra en construcción, se invierte mucho tiempo y dinero generando presupuestos y planificaciones de obra; el esfuerzo de planificación inicial se convierte durante la ejecución de la construcción en un esfuerzo de control. Todo funcionaria bien si viviésemos en un mundo perfecto+ Pero, como se sabe la planificación suele desviarse de lo propuesto prácticamente el primer día de la obra causando un efecto dómimo y perjudicando las actividades siguientes, por esto se genera la necesidad de replanificar gran parte del proyecto, al ir disminuyendo las holguras. Dentro de la planificación general se genera una presión mayor por terminar más rápido, esto hace que los costos de mano de obra y equipos suban radicalmente trayendo como consecuencia, el uso de una gran cantidad de recursos por lo que se obtiene una eficiencia muy baja para lograr terminar la obra en los plazos establecidos¹¹.*

¹¹ Información extraída del texto Planificación y Control de Producción Para la Construcción: Sistema del Ultimo Planificador. L. Alarcón.

La teoría del último planificador está enmarcada en un esquema de planificación a corto plazo con el fin de asignar trabajos que tengamos la seguridad de que serán cumplidos y a través del cumplimiento de las programaciones cortas se pueda cumplir la programación a largo plazo. Está demostrado que las planificaciones con un horizonte muy grande generalmente no se cumplen y existe desconfianza sobre estas, ya que los trabajos en obra tienden a desviarse de la programación a unos días de haber empezado.

El modelo de *Last Planner* se puede decir que actúa como un escudo que ayuda a convertir una planificación insegura en una planificación confiable, tal como se muestra en el siguiente grafico.

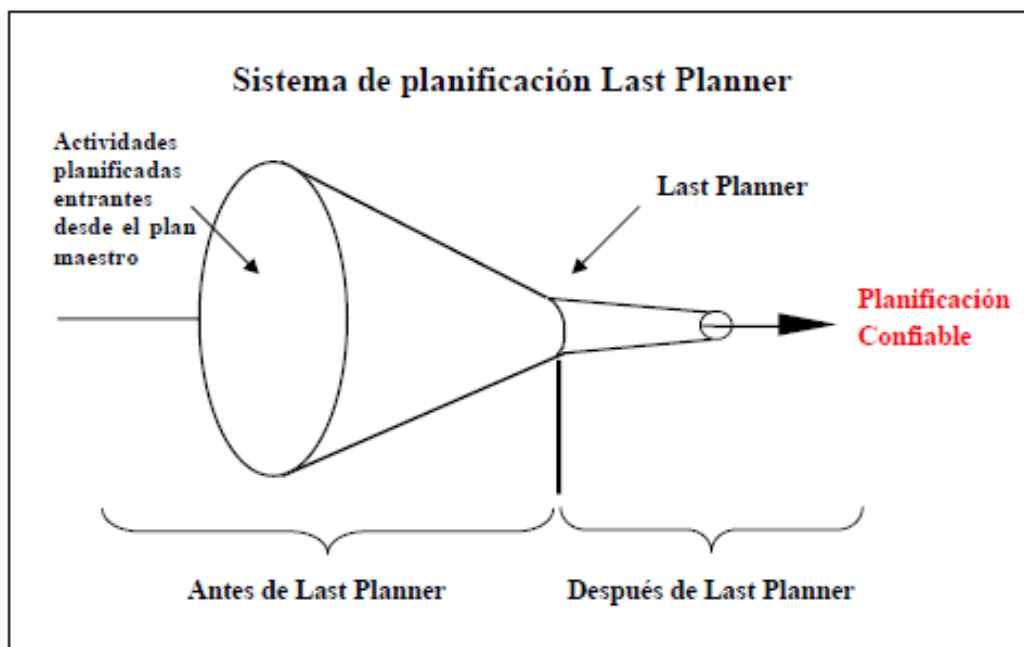


Figura # 20 Representación grafica del Last planner system (Rojas, 2005)

Ballard buscaba que el Last Planner no sea solo una herramienta de programación sino también de control, por lo cual también adjunto al modelo Last Planner el PPC (plan percent complete) para verificar el cumplimiento de las programaciones semanales y medir la eficiencia de la planificación operacional así como el valor real de confiabilidad del proceso de planificación y programación en un determinado proyecto.

En la primera publicación que se hizo sobre last planner, Ballard planteo un esquema en el cual se observa como interviene el Last Planner en la planificación de una obra, los

cambios y mejoras que esto representa para toda la planificación y por consiguiente para el desarrollo del proyecto.



Figura # 21 Esquema Last Planner (V. Ghio, 2001)¹²

El último planificador proporciona las herramientas para que la programación a largo plazo sea cumplida con éxito, empieza acortando la programación en una de mediano plazo llamada *lookahead+*, la cual varía entre periodos de 3 a 5 semanas, además aquí se hace un análisis de las restricciones que presentan las actividades dentro del programa y luego se pasa a una programación más corta que es la semanal, a la cual se llevan todas las actividades libres de restricciones extraídas del *lookahead*, esto hace que se pueda tener la certeza de que no habrá inconvenientes para cumplir con la programación establecida en la semana.

¹² Información extraída del texto Productividad en obras de construcción, V. Ghio.

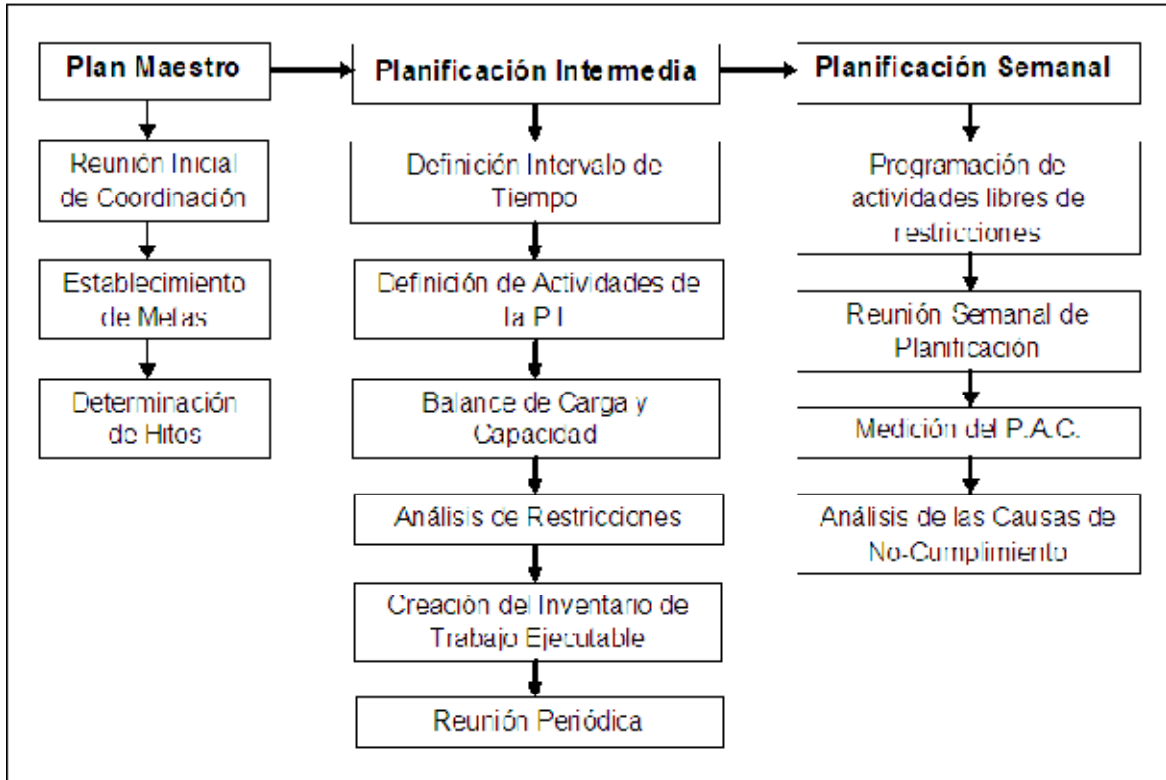


Figura # 22 Estructura fundamental del Last Planner System (Adriazola y Torres, 2004)

1.8.1. Planificación maestra

La planificación maestra o master Schedule es un plan que identifica los principales acontecimientos o hitos de un proyecto (Inicio, entrega al cliente, procura de componentes de largo plazo, movilizaciones en campo, diseño completo, licencias, etc.) y sus fechas. A menudo es la base para los acuerdos contractuales entre el cliente, contratista y otros miembros del equipo de trabajo del proyecto.¹³

Esta programación es la base para todo el sistema Last Planner, ya que de esta se desprenderán las programaciones de mediano y corto plazo, por lo tanto es muy importante que esta se realice teniendo en cuenta el desempeño real de la empresa en obra.

- **Líneas de Balance**

El método de Líneas de Balance fue desarrollado en la década de 1940, durante la segunda guerra mundial, por un grupo de trabajo encabezado por George E. Fouch que

¹³ Traducción del glosario del Lean Construction Institute (Anexos)

estaba encargado de monitorear la producción de las empresas Goodyear Tire & Rubber Company. A partir de entonces ha sido constantemente aplicada a la construcción, siendo la primera experiencia registrada la de Lumsden en 1998.

Actualmente se cuentan con varias opciones para el planeamiento y control de proyectos como CPM (Método de la ruta crítica), PDM (Método de diagramas de precedencias), PERT (Técnica de programación, evaluación y revisión) y LDB (Método de líneas de balance). Sin embargo, cada una de estas tiene características distintas en cuanto al tipo de información que proporcionan y al nivel de detalle que pueden llegar. Con estas técnicas se logra determinar la ruta crítica del proyecto que son las actividades de cuya duración depende la duración total del proyecto.

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

A continuación se muestra una comparación entre un gráfico de barras y un gráfico de líneas de balance para las mismas actividades de un proyecto.

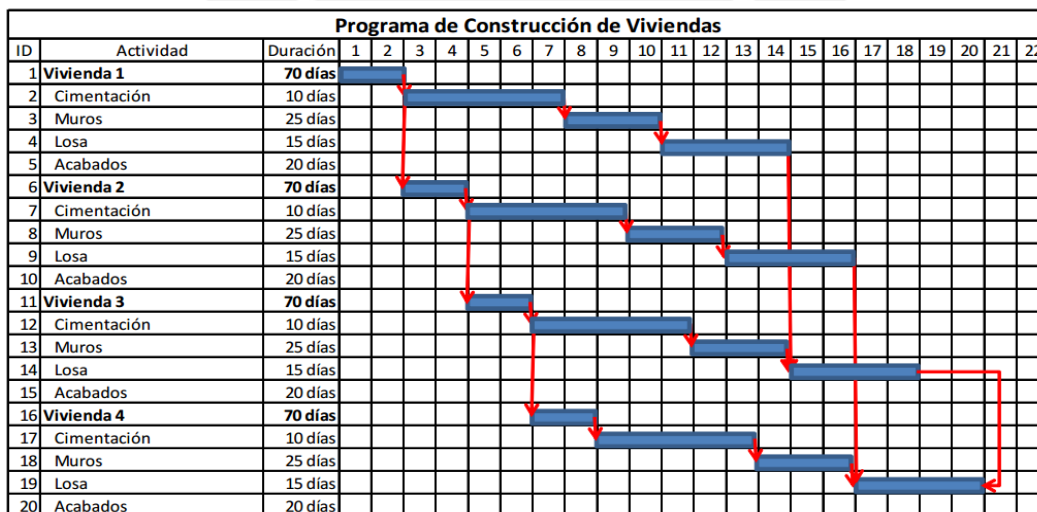


Figura # 23 Programa de construcción de viviendas por barras (Fuente: J. H. Loria)¹⁴

¹⁴ Loria, Jose Humberto. "Programación de obras con la técnica de líneas de balance". 2010

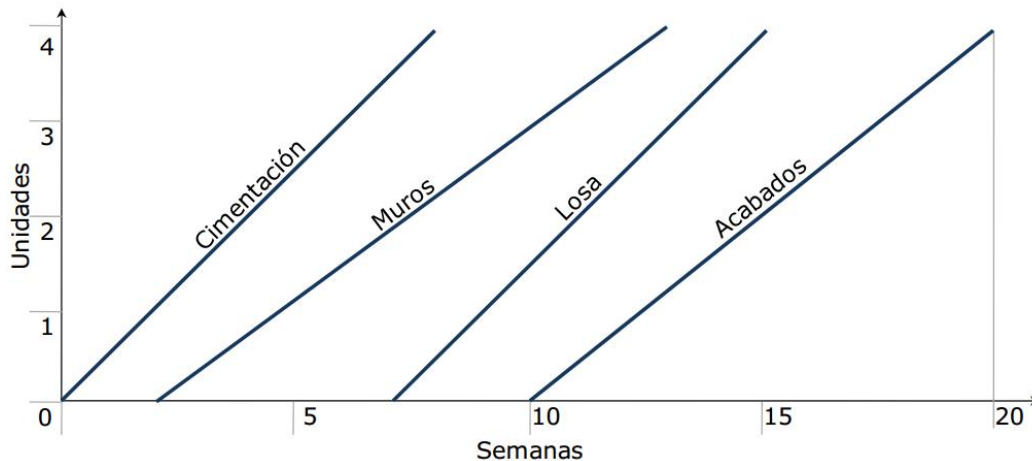


Figura # 24 Programa de construcción de viviendas por líneas de balance (Fuente: J. H. Loria)

Los principales beneficios que se pueden obtener de una programación con líneas de balance son las siguientes.

- Las líneas de balance consolidan un grupo de actividades similares en una sola línea por lo que pueden representar un gran número de actividades de una manera más simple que un diagrama de barras.
- Las líneas de balance muestran el ritmo de trabajo con el cual se deben realizar las actividades para cumplir con el cronograma mientras que un diagrama de barras solo muestra la duración de cada actividad a lo largo del proyecto.
- La grafica de Gant o barras muestra relaciones directas entre actividades a diferencia de una grafica de líneas de balance que muestra la relación de un grupo de actividades con respecto al grupo subsecuente.
- En un diagrama de barras se tiene 2 dimensiones (tiempo y actividades) con lo cual podemos ver la duración de cada actividad, en un grafico de líneas de balance se pueden visualizar 3 dimensiones (Tiempo, lugar y actividades) lo cual hace que sea mucho más útil ya que transmite una cantidad mayor de información.
- Un cronograma de líneas de balance sirve también para mostrar el ritmo real de trabajo, analizar el estado real de avance del proyecto y la fecha de terminación. Además se puede reajustar los ritmos de trabajo para obtener una nueva programación de manera muy rápida a diferencia de un grafico de barras en el cual se puede tener un estado real del proyecto, pero es necesario una gran cantidad de recursos para reprogramar todo el plan.

1.8.2. Phase plan o Pull Plan (Pull Planning)

La programación por fases es usada para desarrollar un planeamiento de trabajo más detallado que el cronograma general de obra que especifica hitos en cada fase importante del proyecto. En la programación por fases se analiza los trabajos a realizarse para cumplir con el hito, las interacciones entre los distintos especialistas involucrados en la fase y los entregables de cada responsable. Los entregables o restricciones establecidas en el programa de fase quedan como acuerdos que tiene que cumplir todo el equipo de trabajo.

La planificación de la fase se realiza bajo técnicas **pull+** (realizar solo el trabajo que sea necesario para una actividad sucesora), para esto se inicia la planificación desde la fecha de entrega hacia atrás, logrando así realizar solo el trabajo que será necesario para trabajos inmediatamente siguientes, con esto se logra enfocarnos en los trabajos que agregan valor y reducir la sobreproducción (uno de los 7 tipos de desperdicios) que genera inventario de trabajo ejecutable.

La metodología establecida por el LCI para realizar la programación por fases se basa en hojas o post it que se colocan a lo largo de una pizarra en la cual se detallan las fases y el tiempo del proyecto, cada post it representa una actividad o restricción que debe ser liberada para poder continuar con los trabajos, estos se colocan en la pizarra con un responsable, una fecha de entrega y un requerimiento ya sea de trabajo o información.

Para realizar la programación por fases primero se debe establecer la secuencia lógica de actividades según el proceso constructivo y ordenar los post it de la pizarra acorde a esa secuencia, luego se debe determinar la duración de cada actividad puesta en la pizarra para establecer la duración total de la fase (se debe colocar el tiempo real o ideal de cada actividad, sin incluir holguras). Una vez establecido esto el equipo de trabajo debe reexaminar en plan en cuanto a la lógica del proceso y la duración de actividades para definir la holgura de la fase y qué hacer con ella, para esto se tienen 3 opciones (1. Asignarlo a la actividad o actividades con mayor potencial de variabilidad, 2. Retrasar el inicio de la fase, 3. Acelerar el inicio de la fase). Finalmente si el tiempo establecido para la fase es menor al hito se debe reprogramar el hito y buscar recuperar el tiempo en otras fases.

El beneficio principal de esta metodología es que convierte la planificación ~~impuesta~~ que antes era desarrollada por el ingeniero de producción y/o ingeniero residente en una planificación colaborativa, es decir todos los involucrados participan activamente de la creación, modificación y ejecución de la planificación. Con esto se logra que todos se sientan involucrados con la producción y se incrementa la confiabilidad del plan.

Descripción del proceso de la planificación por fases:

Según Alarcón (2012), se sigue el siguiente proceso:

1. Definir la estructura
 - Se tiene que definir los sectores, actividades, equipos y responsables de la fase para poder establecer cómo se llevara la planificación.
2. Armar el panel
 - Se deberá armar el panel incluyendo en el eje de los verticales todas las actividades involucradas en la fase y en el eje horizontal el tiempo que normalmente se controla por semanas.
3. Desarrollar la planificación
 - Alarcón establece 7 pasos para desarrollarlo:
 1. Definir y presentar la fase
 2. Recorrer el plan de fin a inicio. Registro de la información.
 3. Recorrer y reexaminar la lógica del plan. Lluvia de ideas.
 4. Factibilidad de la lluvia de ideas. Separación de buffers/holguras.
 5. Revisar el plan con nuevas duraciones.
 6. Administrar el tiempo en función de la incertidumbre
 7. Resumir el trabajo realizado y los acuerdos alcanzados con el equipo
4. Reexaminar el programa
 - En esta parte se debe agregar las holguras y reajustar el plan general, determinar nuevas duraciones de actividades, detectar restricciones importantes y finalmente resumir el trabajo realizado y los acuerdos tomados por el equipo.

5. Revisar las restricciones

- Los post it agregados a la pizarra representar actividades (algunas pueden convertirse en restricciones), pero para que se cumplan las actividades y por consiguiente el plan se tienen restricciones, en esta parte se trata de identificar dichas restricciones para asegurar el flujo según lo planeado.

6. Cumplir los acuerdos

- La esencia de la programación por fases es que los acuerdos hechos por el equipo de trabajo conjunto tienen la fuerza de un contrato.

1.8.3. Look Ahead Plan

Según el LCI, el lookahead plan es una planificación de intervalo corto, basado en la planificación de fase, que identifica todas las actividades a ser ejecutadas en las próximas semanas (el número de semanas puede variar en función de la variabilidad y el tiempo necesario para el levantamiento de restricciones de cada proyecto). El Lookahead plan es actualizado cada semana y siempre identifica las actividades nuevas que ingresan al plan (6 semanas después) para que de esta manera el equipo de gestión del proyecto pueda adoptar las medidas necesarias para asegurar que el trabajo esté listo para ejecutarse en la semana indicada.¹⁵

Como su nombre lo explica el Lookahead (mirar adelante) tiene la finalidad de dirigir los esfuerzos de la construcción no a controlar la programación para evitar errores, sino a prevenirlos gestionando lo necesario para las actividades que se esperan ejecutar en el futuro cercano, promoviendo tomar acciones en el presente para obtener buenos resultados en el futuro.

Para poder cumplir con su finalidad el lookahead no solo incorpora una programación de las actividades a realizar en el periodo determinado para el lookahead, sino también se incorporan los requerimientos que harán posible que las actividades del plan pasen a la programación semanal.

Frecuentemente se suele suponer que los factores que siempre nos afectan son externos y están fuera de nuestro control, pero lo cierto es que la mayoría de los factores que afectan a las obras dependen de nosotros. En ese sentido el Lookahead planning logra

¹⁵ Traducción del glosario del Lean Construction Institute (Anexo)

que tomemos el control de forma anticipada del impacto generado en nuestra producción por la mano de obra, materiales, equipos, información, etc. Es decir planificaremos la disponibilidad de los recursos para cuando realmente los necesitemos. Según Ghio (2001) un porcentaje considerable de los factores que afectan la eficiencia y la productividad en las obras tienen como causa fundamental el no contar con los recursos necesarios en el momento que se requieren.

1.8.4. Inventario de trabajo ejecutable (Workable backlog)

Cuando liberamos las restricciones de alguna actividad, esta actividad pasa inmediatamente a una lista de actividades que podemos ejecutar. Esta lista es el llamado inventario de trabajos ejecutables. En esta etapa, estamos pasando desde las actividades que se deben hacer, hacia las actividades que se pueden hacer. En el inventario de trabajo ejecutable no sólo pueden haber tareas de las semanas futuras, sino que también puede haber tareas que se debían o podían haber ejecutado en la semana en curso; pero que no lo hicieron al no ser consideradas en las asignaciones semanales. Esto es muy común ya que la idea es mantener un ITE que asegure un trabajo realizable por unidades con el doble de capacidad que las que se tienen efectivamente en obra, esto con el objetivo de no tener nunca unidades ociosas por el motivo de no tener potenciales trabajos para ejecutar en caso que falle la realización de alguna actividad considerada en el programa semanal. No hay que ser siempre tan negativos y podemos ponernos en el caso que las actividades programadas se cumplan antes de lo esperado. Esto también puede ser un foco de tiempo ocioso para la unidad si es que no hubiera trabajo listo para ejecutar. Entonces, teniendo un inventario de tareas potencialmente realizables, puedo elegir qué haré desde un universo de lo que puedo hacer.

1.8.5. Programación semanal (Weekly work plan)

La programación semanal es un programa de corto plazo que se desprende del lookahead en el cual se ha hecho un análisis de restricciones previo para eliminar las restricciones y así asegurar que los trabajos que se vayan a programar puedan contar con los recursos necesarios, es decir se toman las actividades que fueron libradas de restricciones y por lo tanto formaban parte del ITE.

Las metodologías de medición que aplica el lean están basadas principalmente en las programaciones semanales, tal es el caso del PPC (porcentaje de plan cumplido), por

consiguiente es muy importante para obtener buenos resultados que estos programas se cumplan en la mayor parte posible y algunas características fundamentales para lograr este propósito son las siguientes.

- ✓ Levantar restricciones en el lookahead.
- ✓ La cantidad de trabajo asignada debe ser la adecuada según la cuadrilla.
- ✓ Escoger correctamente la secuencia de los trabajos a realizar.
- ✓ Definir correctamente los trabajos y asegurarse que llegue a campo de manera entendible para los encargados.

1.8.6. Programación diaria

La programación diaria es el último escalón en la metodología de planificación y programación que propone el sistema last Planner dentro de la filosofía lean construction, esta programación se desglosa de la programación semanal, la cual es una programación de corto plazo, con la finalidad de ser transmitida a campo para que todos los equipos tengan claro las actividades que tienen que realizar en la jornada de trabajo. Esta programación la elabora el último planificador partiendo de los resultados del día y siguiendo lo programado para la semana, por lo cual también se usa para controlar los avances diarios dentro de la obra para que a partir de estos se controlen los avances semanales y de esto realizar el PPC correspondiente.

La programación diaria al ser una programación que va de la oficina técnica de la obra al campo tiene que tener características distintas a las anteriores, ya que se necesita que todos los involucrados en el proceso de construcción (maestro, capataces, operarios, etc.) entiendan la información que se trata de transmitir, por consiguiente se puede realizar de manera gráfica en pequeños planos separando las actividades para que se puedan identificar con facilidad y evitar confusiones al momento de asignar tareas en campo, o de manera textual detallando adecuadamente los elementos y su respectiva ubicación.

1.9. La Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints)

A principios de los años 1980 el Dr. Eliyahu Goldratt, escribió su libro *La Meta* y empezó el desarrollo de una nueva filosofía de gestión llamada *Teoría de Restricciones* (TOC por sus siglas en inglés). La TOC nació como solución a un problema de optimización de la producción. Hoy en día se ha convertido en un concepto evolucionado que propone

alternativas para integrar y mejorar todos los niveles de la organización, desde los procesos centrales hasta los problemas diarios.

La Teoría de las Restricciones (TOC) establece que un conjunto de procesos interrelacionados y dependientes entre sí generan una producción según la capacidad del proceso más lento. La forma de aumentar la velocidad del conjunto es incrementando la capacidad del proceso más lento. Esta teoría se centra en los factores limitantes a los cuales los denomina como restricciones o «cuellos de botella».

En toda empresa existe por lo menos una restricción, caso contrario esta generaría ganancias ilimitadas¹⁶. Siendo las restricciones los factores que bloquean la obtención de dichas ganancias, se induce que toda gestión debe apuntar a encontrar y controlar las restricciones.

La teoría de restricciones se aplica para una línea de producción o un sistema compuesto por varios procesos. La construcción se divide en varios procesos pequeños que trabajan uno después de otro similar a una línea de producción de una fábrica con la única diferencia que en el caso de las fábricas el producto pasa por las estaciones de trabajo y en la construcción son las estaciones de trabajo las que recorren el producto, es así que estos conceptos son totalmente aplicables para el campo de la construcción y es de aquí de donde nace la optimización de flujos y procesos que describe la filosofía lean.

¹⁶ E. Goldratt: “La meta”, 1984.

CAPITULO 4: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 Descripción de la empresa

EDIFICA es una empresa constructora e inmobiliaria que nace en el año 2006, propiedad de un grupo de empresarios egresados de la facultad de Ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La empresa se dedica a la promoción y desarrollo de proyectos inmobiliarios y a la construcción tanto de los proyectos propios como de proyectos de clientes externos.

✓ *Misión*

Somos una empresa inmobiliaria y constructora de nacionalidad peruana. Desarrollamos viviendas eficientes, de gran calidad arquitectónica y de buena relación precio-producto. Nuestros proyectos satisfacen las necesidades del mercado objetivo y mejoran la calidad de vida de nuestros clientes. Trabajamos con la finalidad de que nuestra marca sea sinónimo de tranquilidad y seguridad para el comprador durante el proceso de compra y Postventa. Para lograr todo esto, apostamos muy fuerte por el desarrollo profesional y el talento de nuestro equipo, y trabajamos externamente con los mejores profesionales del medio.

✓ *Visión*

Seremos la empresa inmobiliaria y constructora líder del Perú. Influiremos de manera significativa en la construcción, el crecimiento y el bienestar del país.

✓ *Compromiso*

El mayor compromiso es con nuestros clientes. Trabajamos día a día para mejorar nuestros servicios y la calidad del producto que entregamos. También estamos comprometidos con nuestros trabajadores, a quienes ayudamos a realizarse personal y profesionalmente¹⁷.

EDIFICA se dedica a la evaluación, promoción, desarrollo, construcción y venta de proyectos inmobiliarios residenciales. Inicia su primer proyecto en el 2006, que constaba de un edificio de vivienda de 8 departamentos en el distrito de Surco con un total de US\$ 500,000 en ventas.

¹⁷ Información tomada de la pagina web de la empresa (www.edifica.com.pe)

Desde entonces ha crecido en promedio más de 100% al año. Actualmente la empresa cuenta con 18 proyectos terminados, 7 en construcción y 2 en cartera, tiene una planilla de más de 200 empleados y continúa expandiéndose.

En el 2010, la empresa tuvo una facturación de US\$ 12000,000, termino el año 2011 con una facturación de alrededor de US\$ 16000,000 y para el año 2014 se estimó superar los US\$ 50000,000 en ventas.

Desde sus inicios en el año 2006 los fundadores de esta empresa vieron la necesidad de hacer algo distinto a la metodología común que se usaba en otras empresas para resaltar en un rubro en el cual la competencia es altísima. Como respuesta a esto la empresa decidió adoptar lo que en ese entonces era una filosofía de construcción muy novedosa y casi no usada en el país, el lean construction, desde ese momento empezó un proceso de implementación y aprendizaje continuo que cada vez le daría mejores resultados y ayudaba al crecimiento de la empresa que se fue posicionando en el mercado debido a los buenos productos que ofrecía y al acercamiento que tuvo con importantes universidades entre ellas la UNI y la PUCP así como también el colegio de ingenieros del Perú, ya que en dichos lugares ofrecía charlas sobre como la empresa utilizaba la filosofía lean para mejorar la calidad de sus productos y generar mejores ingresos para la empresa.

4.2 Descripción del proyecto

El proyecto Barranco 360° es un edificio de departamentos ubicado en el distrito de Barranco Av. San Martín 625, cuenta con 3 sótanos, 2 torres de 10 pisos y azotea, en donde alberga un total de 83 estacionamientos y 107 departamentos entre flats y dúplex con extensiones desde los 50m² hasta 86m², estos van desde 1 hasta los 3 dormitorios y tienen acabados de primera ya que están pensados para satisfacer la demanda de la mejor zona de Barranco y enfocados en niveles socioeconómicos medios y altos.

Barranco 360° está ubicado en un terreno de 1120 m² y abarca un área construida de 9717 m², 2,993 correspondiente a los sótanos y 6,723 m² a las torres, según el planeamiento inicial tiene una duración de 13 meses iniciando la construcción en diciembre del 2011 y finalizando en enero del 2013. Este proyecto tiene un presupuesto de S/. 11'690,455 incluidos IGV y gastos generales, cuenta con aproximadamente 100

obreros y un equipo de obra de 10 personas que mostraremos en el siguiente organigrama.



Figura #25 Foto del Proyecto Barranco 360° (Fuente: EDIFICA)

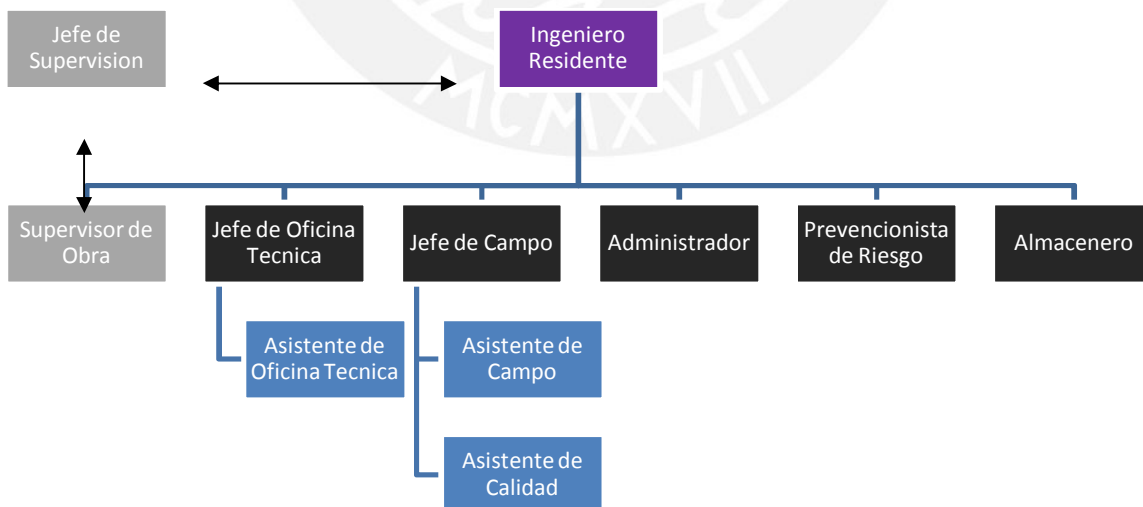


Figura #26 Organigrama de obra (fuente propia)

4.3 Herramientas aplicadas:

El proyecto de tesis se centra en el estudio y análisis de la aplicación de las herramientas lean en el proyecto Barranco 360. Sin embargo, debido a que el campo de acción de Edifica como empresa constructora no abarca todo el sistema de entrega de proyectos lean (LPDS) sino solo la parte de ejecución lean o construcción lean, nos centraremos en este módulo, analizando también los 2 módulos que van a lo largo de todo el sistema de entrega de proyecto lean que son el control de la producción y el trabajo estructurado.

En el siguiente cuadro se pueden observar las herramientas disponibles para cada modulo del sistema de entrega de proyectos lean, además se indican las herramientas usadas en el presente proyecto.

LPDS	Numero	Herramienta	Fuente	APLICADO
EJECUCIÓN LEAN	21	FIRST RUN STUDIES	Instituto de la construcción lean	SI
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	Alfredo Serpell 1990	SI
	23	CARTA DE BALANCE	Alfredo Serpell 1990	SI
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Nakagawa y Shimizu 2004	NO
	25	POKA YOKE	Shingueo Shingo 1960	NO
	26	MANUALES DE PROCESOS	Ines Castillo 2014	NO
	27	ANDON	Toyota	NO
	28	ONE TOUCH HANDLING	Glenn Ballard et al 2002	NO
CONTROL DE PRODUCCIÓN	34	PLANIFICACIÓN MAESTRA	Grupo internacional de Lean Construction	SI
	35	PLANIFICACIÓN POR FASES	Glenn Ballard 2000	NO
	36	LOOKAHEAD PLANNING	Glenn Ballard y Greg Howell 2004	SI
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Glenn Ballard y Greg Howell 2004	SI
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	Glenn Ballard y Greg Howell 2004	SI
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Glenn Ballard y Greg Howell 2004	SI
	40	LINEAS DE BALANCE	Goodyear Tire & Rubber Company	NO
TRABAJO ESTRUCTURADO	41	5 WHYS	Toyota	NO
	42	BUFFERS	Grupo internacional de Lean Construction	SI

Figura #27 Herramientas disponibles y aplicadas (fuente propia)¹⁸

¹⁸ Información extraída de: Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos lean (LPDS), Inés Castillo, 2014.

CAPITULO 5: APLICACIÓN DE LA FILOSOFIA LEAN EN EL PROYECTO

Los estudios de la presente tesis están abocados en el marco de acción de la empresa Edifica en su calidad de empresa constructora, por lo que la aplicación de la filosofía lean construction en el proyecto, que es motivo de estudio, está centrada principalmente en tres etapas del sistema lean de entrega de proyectos, las cuales son la construcción lean, el control de la producción y el trabajo estructurado.

Dentro de la fase de construcción lean se aplican las siguientes herramientas¹⁹:

- **First Run Studies:** Es el análisis y planeamiento inicial de un proyecto, dentro de esta herramienta se puede enmarcar la sectorización y el diseño del tren de actividades, ambas herramientas generan el dimensionamiento de cuadrillas.
- **Nivel General de Actividad:** Es una herramienta de estudio de procesos a nivel general con la cual se obtienen ratios de trabajos productivos, contributorios y no contributorios.
- **Carta de Balance:** Herramienta que se usa para el análisis de una partida específica y que brinda como el personal distribuye el tiempo de trabajo en cada actividad.

Dentro de la fase de control de producción se aplican las siguientes herramientas²⁰:

- **Last Planner System:** Es una herramienta, como bien dice, de control de producción que engloba el proceso de planeamiento, programación y control de un proyecto. Dentro de esta herramienta se aplicaron en el proyecto la planificación maestra, el lookahead, la planificación semanal, el porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento.

Finalmente dentro del trabajo estructurado se aplico la siguiente herramienta:

- **Buffers:** Es una herramienta que ayuda a mantener el flujo constante en un proyecto, generando alternativas viables ante los problemas que genera la variabilidad en la construcción.

¹⁹ Información extraída de: Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos lean (LPDS), Inés Castillo, 2014.

²⁰ Información extraída de: Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos lean (LPDS), Inés Castillo, 2014.

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

5.1. Sectorización

La sectorización es un proceso que se inicia cuando tenemos realizados los metrados correspondientes al proyecto y es una actividad necesaria para iniciar los siguientes pasos del mismo, como por ejemplo los trenes de trabajo, planificación, programación, dimensionamiento de cuadrillas, etc. ya que la programación maestra se hace tomando como unidad mínima los sectores y es indispensable tener la cantidad de sectores por piso para realizar una correcta planificación porque puede darse el caso de que esta cantidad de sectores varíe para los sótanos o algunas partidas críticas que tengan un avance lento.

EDIFICA viene aplicando este procedimiento desde la primera obra realizada en el año 2006 y por ser una actividad necesaria en todo el proceso de planeamiento y construcción ha introducido el concepto de mejora continua dentro de esta actividad buscando estandarizar el proceso de sectorización en sus siguientes proyectos, producto de esto se genero el siguiente procedimiento para la sectorización de proyectos de edificaciones, ya que es la rama en la que se mueve la empresa.

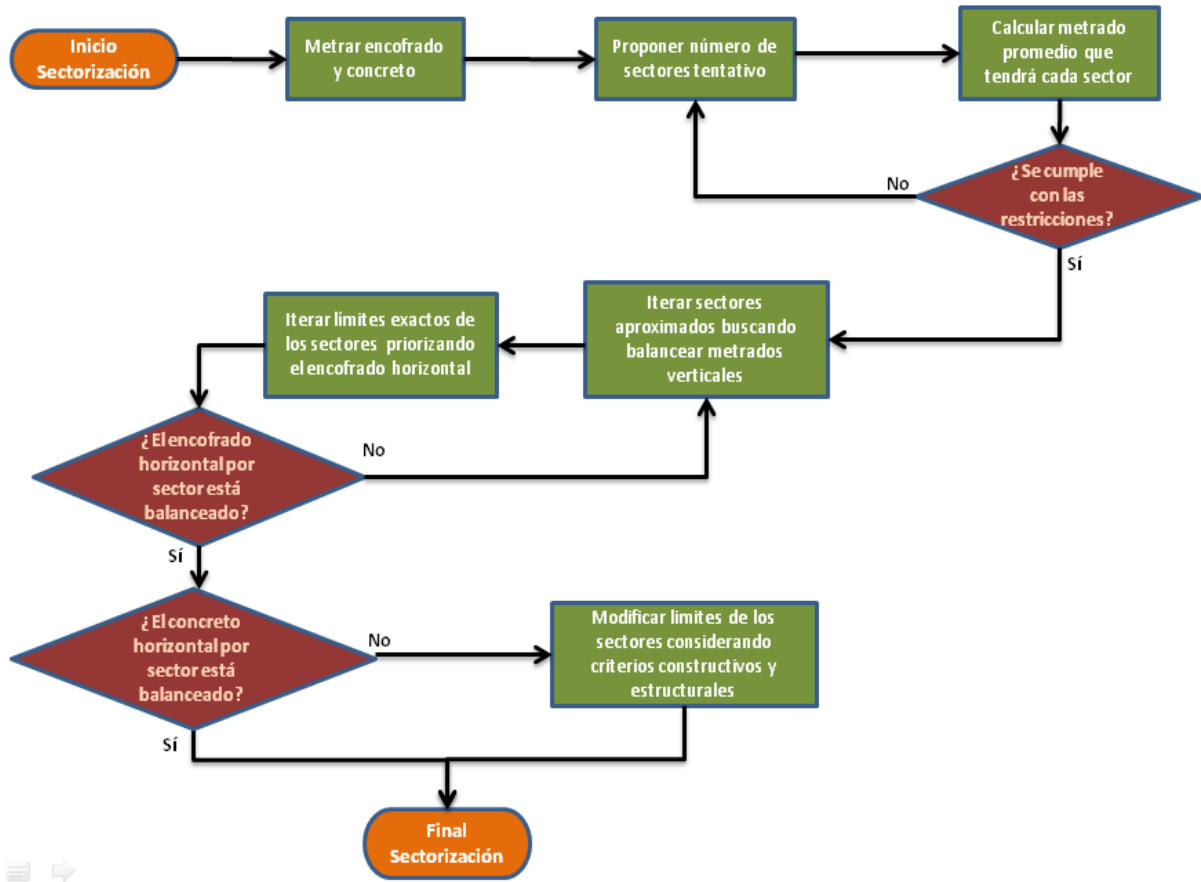


Figura #28 Proceso de sectorización para edificaciones (Fuente: Edifica) . ver anexo 5

Como la sectorización parte de tener los metrados listos el primer paso a realizar es proponer un número tentativo de sectores, cabe señalar que el número de sectores dependerá de las extensiones del proyecto, la cantidad de gente que se espera tener en obra y el procedimiento constructivo que se realizara. Dependiendo de estos factores se propone un número de sectores y se procede a calcular el metrado que le corresponde a cada sector, en esta etapa hay partidas que son claves como el vaciado de concreto que tiene una producción máxima diaria que depende de la tecnología seleccionada para el vaciado y no se lograra incrementar ese valor poniendo más gente a la partida, por lo tanto el metrado de vaciado de concreto en el día deberá ser menor al máximo posible según los rendimientos obtenidos en otras obras.

Si el número de sectores cumplió con las condiciones anteriores se procede a dibujar los sectores en las plantillas que se usa en la empresa (Planos dibujados en Excel), en esta etapa se trata de dividir el plano en el número de sectores dándole una secuencia lógica y

cierto orden a los mismos, además se busca balancear los metrados para que sean los más parecidos posibles entre si ya que es imposible que en cada sector se obtenga el metrado idéntico a los demás, este balanceo se logra tomando como base una parte del plano en Excel y añadiendo o quitando elementos para que vayan al sector siguiente. Usualmente este balanceo se hace con las partidas más influyentes como vaciado de horizontales, encofrado de horizontales y encofrado de elementos verticales, una vez que se tiene un esquema casi listo de los planos de sectorización se procede a revisar que el metrado de otras partidas también sean parecidos entre los sectores y se da el visto bueno a la sectorización, la cual queda plasmada en las plantillas de sectorización de la siguiente manera.

Después de describir el procedimiento que sigue la empresa para la realización de este procedimiento nos introducimos en el caso particular del proyecto en estudio (Barranco 360°), para este caso se dispuso una sectorización inicial de 4 sectores, ya que al escoger un número menor de sectores reduce el tiempo de duración del proyecto, sin embargo hay que tener consideraciones con el proceso constructivo y es por ese motivo que la sectorización se realizó con el número mínimo de sectores posibles según el proceso constructivo.

Según la sectorización en 4 sectores se dividió las actividades por día siendo las siguientes:

- Primer Día
 - Encofrado de verticales (Placas y Columnas)
 - Vaciado de Verticales (Placas y Columnas)
- Segundo Día
 - Encofrado de fondo más un lado de vigas
 - Acero de vigas
- Tercer Día
 - Encofrado de un lado de vigas
 - Encofrado de losas
 - Colocación de viguetas y bovedillas
 - Instalaciones sanitarias
- Cuarto Día
 - Acero de losas

- Instalaciones eléctricas
- Vaciado de losas

TREN DE 4 SECTORES					
SUPERESTRUCTURA	DÍAS				
	1	2	3	4	5
ACERO DE VERTICALES	1A	1B	1C	1D	2A
ENCOFRADO DE VERTICALES		1A	1B	1C	1D
CONCRETO DE VERTICALES		1A	1B	1C	1D
ENCOFRADO DE FONDOS Y COSTADOS DE VIGAS			1A	1B	1C
ACERO DE VIGAS			1A	1B	1C
ENCOFRADO DE LOSA + LADO 2 DE VIGA				1A	1B
COLOCACIÓN DE VIGUETAS PRETENSADAS				1A	1B
COLOCACIÓN DE LADRILLO BOVEDILLA				1A	1B
COLOCACIÓN DE IISS				1A	1B
COLOCACIÓN DE IIEE					1A
CONCRETO DE LOSA					1A

Figura #29 División de actividades por día (Fuente: Propia)

Sin embargo, la sectorización en 4 resultó ser bastante compleja para ejecutarla con un nivel de confiabilidad adecuado, esto dado que se tenía que cubrir un área bastante grande con lo cual era complicado cumplir con los vaciados de losa, además también se disponía de poco tiempo para armar las losas y las pruebas necesarias para las partidas de instalaciones sanitarias. Debido a que no se cumplía con la sectorización en 4 por los temas mencionados finalmente se optó por cambiarla a una de 5 sectores.

Con la información obtenida de los PPC semanales se realizó la comparación entre los niveles de cumplimiento en la etapa de casco cuando se trabajaba con 4 sectores y luego con 5, se midió por separado el PPC total así como también el correspondiente únicamente a las actividades de Casco para ver como afectaba el número de sectores al cumplimiento de la programación. Finalmente también se midieron los sectores programados y vaciados para cada caso obteniendo información del avance real del proyecto.

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Semana	Sectores	Actividades		PPC Casco	PPC Total	Sectores		Avance Sectores
		Programadas	Ejecutadas			Programados	Ejecutados	
21	4	10	5	50%	71%	4	4	100%
22	4	9	0	0%	40%	4	3	75%
23	4	9	4	44%	62%	5	4	80%
24	5	9	9	100%	92%	5	5	100%
25	5	9	7	78%	85%	5	5	100%
26	5	9	8	89%	85%	5	5	100%
27	5	9	8	89%	84%	5	5	100%
28	5	9	7	78%	71%	5	4	80%
29	5	9	9	100%	78%	5	5	100%
30	5	9	9	100%	78%	5	5	100%
31	5	9	9	100%	81%	5	5	100%
32	5	8	8	100%	77%	5	5	100%
33	5	8	8	100%	81%	2	2	100%

	PPC	PPC Casco	Avance Sector
Prom 4 Sec	58%	31%	85%
Prom 5 Sec	81%	93%	98%

Figura #30 Análisis de confiabilidad con 4 y 5 sectores (Fuente: Propia)

De la información mostrada se puede ver que cuando se trabaja con 4 sectores se tuvo un PPC promedio del 58% y de las partidas de casco programadas solo se ejecutó el 31% (menos de 1/3), lo cual repercutió en un avance del 85% de lo programado semanal, es decir si se debían realizar 5 sectores (1.25 pisos) por semana solo se estaba realizando 4.25 sectores (1.05 pisos) pero consumiendo los recursos para ejecutar 1.25 pisos.

Luego de cambiar a 5 sectores se incrementó el PPC general a 81% y se cumplieron las actividades de casco en un 93% con lo cual se llegó a cumplir con los sectores programados en un 98% (casi en su totalidad), es decir si se programaban 5 sectores por semana (1 piso) se cumplía con ejecutar el piso en el 98% de las veces, con lo cual se estaba teniendo casi el mismo avance que con una sectorización en 4, pero usando menos recursos.

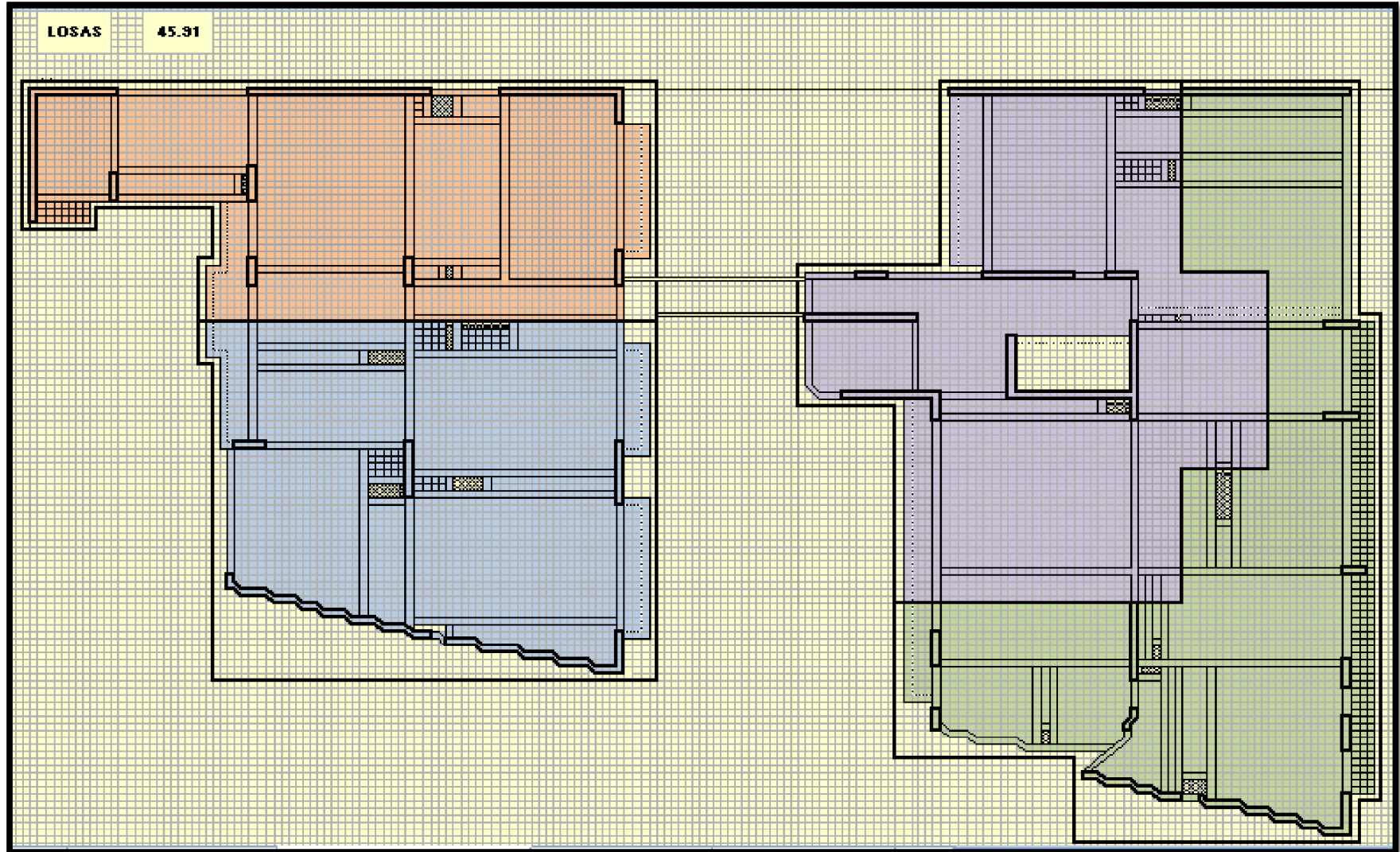


Figura # 31 Sectorización de la planta típica en 4 (Fuente: Edifica)

Programación detallada u horaria.

Hechos como los observados en esta obra nos demuestran la importancia de analizar a detalle la interacción de las actividades dentro del tren y la posibilidad de cumplir con lo estipulado. El procedimiento de sectorización indica que con los metrados se escoge un numero de sectores que debe cumplir ciertas restricciones para ser válido, pero esto no es suficiente para validar que el numero de sectores sea correcto, para esto se necesita realizar una programación detallada de las actividades dentro del tren y de la interacción de las cuadrillas con la zona de trabajo. La programación detallada toma como base el número de sectores y programa día a día las actividades para cumplir con dicha sectorización, al realizar este ejercicio se pueden ver las partidas críticas y si se podrá o no cumplir con dicha sectorización.

PROGRAMACIÓN DETALLADA PARA 4 SECTORES								
HORAS		DÍA 1	DÍA 2		DÍA 3		DÍA 4	
07:30	08:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADO LOSA + VIGAS	ACERO LOSA	IISS (AGUA) - IIEE	ACERO VERTICALES
08:00	09:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADO LOSA + VIGAS	ACERO LOSA	IISS (AGUA) - IIEE	ACERO VERTICALES
09:00	10:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
10:00	11:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
11:00	12:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
12:00	13:00							
13:00	14:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	VACIADO LOSA	ACERO VERTICALES
14:00	15:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO LOSA + VIGAS	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	VACIADO LOSA	ACERO VERTICALES
15:00	16:00	CONCRETO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO LOSA + VIGAS	IISS	ACERO LOSA	ACABADO DE LOSA	ACERO VERTICALES
16:00	17:00	CONCRETO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO LOSA + VIGAS	IISS	ACERO LOSA	ACABADO DE LOSA	ACERO VERTICALES
17:00	18:00				IISS			

Figura #32 Programación detallada para 4 sectores (Fuente Propia)

Si se hubiese realizado este ejercicio se hubiese notado que se tenía actividades criticas como encofrar y colocar viguetas en losas en menos de un día para dar pase a la partida de instalaciones que a su vez tenía menos de un día para terminar los trabajos con lo cual se dificultaba las pruebas requeridas por el área de calidad.

Finalmente al ver que no se cumplía con la sectorización en 4 (PPC bajo) se optó por cambiar a una sectorización en 5 en la cual se disponía de mayor tiempo para terminar un

sector y por lo tanto se podían ordenar de una manera más organizada las actividades para también poder optimizar rendimientos. Si bien es cierto que el hecho de realizar un piso cada 5 días alargaría el proyecto con respecto al avance anterior, se debe también analizar que el no cumplir con la programación genera mayores costos que lo que se podría ahorrar con 10 días de plazo.

PROGRAMACIÓN DETALLADA PARA 5 SECTORES										
HORAS		DÍA 1	DÍA 2		DÍA 3		DÍA 4		DÍA 5	
07:30	08:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + COSTADO DE VIGAS		VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
08:00	09:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + COSTADO DE VIGAS		VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
09:00	10:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + COSTADO DE VIGAS		VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
10:00	11:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + COSTADO DE VIGAS		VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
11:00	12:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + COSTADO DE VIGAS		VIGUETAS Y BOVEDILLAS	ACERO LOSA	IIEE	ACERO VERTICALES
12:00	13:00									
13:00	14:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + VIGAS	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	IISS	ACERO LOSA	VACIADO LOSA	ACERO VERTICALES
14:00	15:00	ENCOFRADO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + VIGAS	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	IISS	ACERO LOSA	VACIADO LOSA	ACERO VERTICALES
15:00	16:00	CONCRETO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + VIGAS	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	IISS	ACERO LOSA	ACABADO DE LOSA	ACERO VERTICALES
16:00	17:00	CONCRETO VERTICALES	ACERO VIGAS	ENCOFRADO VIGAS 1	ENCOFRADADO LOSA + VIGAS	VIGUETAS Y BOVEDILLAS	IISS	ACERO LOSA	ACABADO DE LOSA	ACERO VERTICALES
17:00	18:00									

Figura # 33 Programación detallada para 5 sectores (Fuente Propia)

En conclusión se debe analizar a detalle las actividades involucradas en nuestro tren y el tiempo que tenemos para lograr un sector (definido por el número de sectores), con esto podríamos tener mayor certeza de que vamos a cumplir con lo programado protegiendo de esta manera nuestra programación futura.

5.2. Tren de Actividades

En los proyectos de la empresa y en particular en el proyecto en mención (Barranco 360°) se busca implementar el concepto de las curvas de aprendizaje, según el cual el trabajo repetitivo nos lleva a una especialización que mejora la productividad en dicho trabajo, para lograr esto se utiliza principalmente el tren de actividades, el cual necesita que previamente se haya realizado el procedimiento de sectorización.

El tren de actividades brinda la facilidad de asemejar el sistema de construcción a un sistema mucho más industrializado en el cual se usan las líneas de ensamblaje, el tren de actividades tiene el mismo concepto adaptado a la construcción.

Para los proyectos de EDIFICA se realiza el tren de actividades para todas las partidas que se utilizarán en la obra, esto se realiza estableciendo una secuencia lineal y correlativa entre los sectores y piso para que las cuadrillas avancen por el lugar de trabajo como el producto lo haría por la línea de ensamblaje en una fábrica.

La aplicación del tren de actividades se puede observar en el Lookahead y las programaciones semanales que se mostraran en las siguientes páginas. A manera de ejemplo y para graficar la secuencia en los proyectos de edificaciones de manera más clara se coloca el siguiente ejemplo de un tren de trabajo en 4 sectores.

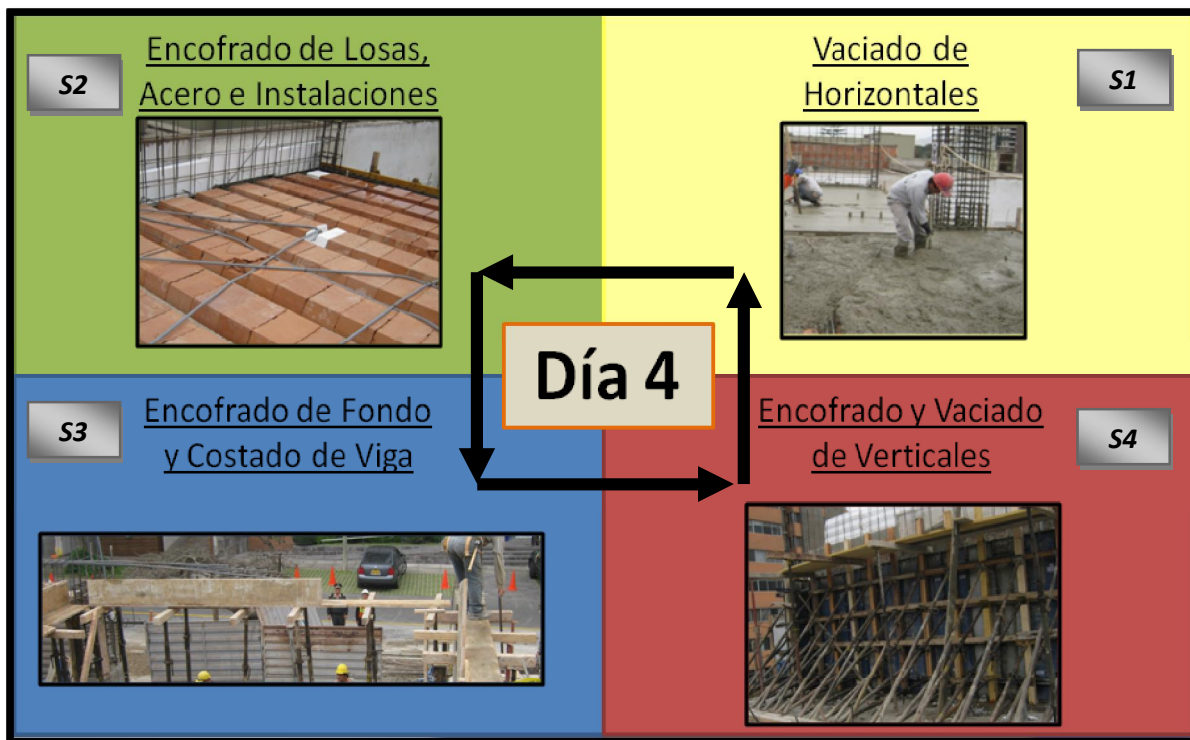


Figura #34 Ejemplo dinámico de Sectorización (Fuente: Edifica)

5.3. Dimensionamiento de Cuadrillas Mediante el Circuito fiel

En la construcción convencional se da que muchas veces el maestro de obra es el que decide el número de obreros a contratar, lo cual genera que se tenga en la mayoría de los casos un número excesivo de personal en la obra y por consiguiente los niveles de Trabajo Productivo se reduzcan.

Al no tener una metodología determinada para calcular el número de personas que se tendrá en la obra se tiene una incertidumbre en el caso de los atrasos, no se sabe si lo

que nos falta es mayor velocidad de producción o más personal y generalmente se intenta resolver este tipo de problemas incrementando el número de obreros por decisión del maestro. Además esto genera proyecciones deficientes en el uso de la mano de obra y nos quita el poder de negociación que se podría tener con ellos para cumplir las metas del proyecto.

Ante todas estas deficiencias identificadas en la contratación del personal en la metodología tradicional de construcción, se ha generado un procedimiento para el dimensionamiento de cuadrillas que va de la mano con los lineamientos de la filosofía Lean Construction y que busca eliminar todas las falencias mencionadas y darnos un total control en la cantidad de personal que tendremos en nuestra obra.

Este procedimiento o metodología es conocido como el Circuito Fiel y tiene como finalidad calcular el número exacto de personas que son necesarias para realizar una actividad (partida) y cumplir con los rendimientos establecidos al iniciar el proyecto y por consiguiente garantizar que se cumpla con un nivel de productividad mayor al promedio. Para realizar el circuito fiel se tiene que tener en cuenta las siguientes consideraciones.

Una vez realizada la sectorización se tienen los volúmenes de trabajo para las distintas cuadrillas que se tendrá en la obra, como se mencionó en la parte de sectorización lo ideal es que los volúmenes de trabajo sean iguales en cada sector, lo cual es casi imposible de lograr, pero si se obtienen metrados muy similares.

Los metrados por sectores son el punto de partida para el uso del Circuito fiel para el proceso de dimensionar cuadrillas, mediante el uso de esta herramienta se busca reducir al máximo el personal obrero en el proyecto contratando solo a la cantidad que en verdad necesitamos para ejecutar cada partida de nuestro presupuesto. Otro de los puntos primordiales para el uso de esta herramienta es el rendimiento presupuestado, en este punto se introduce la capacidad de la empresa en realizar los trabajos de manera más productiva mediante el uso de la filosofía Lean Construction, así los rendimientos presupuestados tienden a ser más bajos o más productivos que los promedios usados en el sector.

El rendimiento presupuestado ya influenciado por el tema Leanes la meta que tenemos que cumplir o mejorar en nuestra obra y por consiguiente se toma como punto de partida para la elaboración del circuito fiel.

Ya definidas las consideraciones y requerimientos previos procederemos con la metodología o descripción del procedimiento de uso del Circuito Fiel.

ENCOFRADO DE VERTICALES														
Personas	11													
h día	9.6													
	LAST DAY										Amortiguador	Amortiguador	Amortiguador	Amortiguador
Día de obra	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
hh	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	105.60	
hhacum	3,379.20	3,484.80	3,590.40	3,696.00	3,801.60	3,907.20	4,012.80	4,118.40	4,224.00	4,329.60	4,435.20	4,540.80	4,646.40	
met	101.94	135.21	142.43	120.50	101.94	135.21	142.43	120.50	101.94	-	-	-	-	
metacum	4,000.64	4,135.85	4,278.28	4,398.78	4,500.72	4,635.93	4,778.36	4,898.86	5,000.80	5,000.80	5,000.80	5,000.80	5,000.80	
Ren diario	1.04	0.78	0.74	0.88	1.04	0.78	0.74	0.88	1.04	-	-	-	-	
Ren. Acum.	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.87	0.89	0.91	0.93	
Rend. Pres	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Formación de Cuadrilla	Operario	6
	Oficial	0
	Peon	5
	Total	11

Dif Rend	0.16	0.13	0.11	0.09	0.07	hh/m2
Dif HH	776.80	671.20	565.60	460.00	354.40	HH
Dif Soles	9,710.00	7,047.60	5,938.80	4,830.00	3,721.20	S/.

Figura # 35 Corrida del Circuito fiel para 11 personas, Proyecto Barranco 360°
(Fuente:EDIFICA)

Procedimiento:

- Se procede a elegir la partida para la cual se desea dimensionar la cuadrilla
- Se establece el número de horas diarias trabajadas, para el caso de EDIFICA se considera un total de 9.6 horas debido a que solo se consideran los trabajos de lunes a viernes
- Calculamos el costo empresa de la HH para tener una idea del ahorro o la pérdida que nos puede representar incluir a más personas de las necesarias en la cuadrilla
- De los análisis de precios unitarios se toma el rendimiento presupuestado para la partida seleccionada
- Como para este punto ya se tiene elaborado el tren de trabajo, para nuestro caso 1 sector al día, se procede a colocar el metrado asignado para cada día según los sectores
- Como se mantiene el personal de manera constante las horas a trabajar al día siempre serán el número de personas multiplicado por 9.6 horas
- Con todos estos datos se procede a elaborar la tabla antes mostrada en la cual se tienen las HH diarias y acumuladas, los metrados diarios y acumulados, los rendimientos diarios y acumulados; y el rendimiento presupuestado

- Una vez elaborado el cuadro se sabe que las HH diarias depende el número de trabajadores, entonces esta herramienta consiste en iterar con cierto número y comparar el rendimiento obtenido con el presupuestado así se podrá asegurar que no se sobredimensione una cuadrilla

Citando el ejemplo colocado, se tiene que para la partida de Encofrado de Verticales (Placas y columnas) tenemos un rendimiento presupuestado de 1.00 hh/m² (Promedio ponderado de rendimientos), entonces si queremos cumplir con ese objetivo se debe de colocar un total de 11 personas para dicha cuadrilla, con los cuales se obtendría un rendimiento de 0.84 hh/m² y una diferencia de 0.16hh/m² que multiplicado por todo el metrado de la partida (5000.8 m²) nos daría un ahorro en esta partida de S/. 9,710. Adicionalmente en la parte de Buffer se calcula como afectaría a nuestro ahorro cada día que nos atrasemos en la partida y según los cálculos si nos llegamos a atrasar 4 días nuestros ahorros en esta partida se reducirían a solo s/. 3,721.20.

A manera de ejemplo adicional en la siguiente imagen se verá como varia el rendimiento si se colocan a 12 personas en la cuadrilla y el nivel de pérdidas que esto representa para la obra.

Se puede apreciar que se obtendría un rendimiento acumulado de 0.92hh/m², con el cual aun estamos por debajo rendimiento presupuestado en 0.08hh/m²obteniendo un ahorro de S/. 4910, pero en el caso de que se retrase la partida en 4 días se tendrían perdidas de s/. 714.

ENCOFRADO DE VERTICALES															
Personas	12														
h día	9.6														
											LAST DAY	Amortiguador	Amortiguador	Amortiguador	Amortiguador
Día de obra	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
hh	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	115.20	
hhacum	3,571.20	3,686.40	3,801.60	3,916.80	4,032.00	4,147.20	4,262.40	4,377.60	4,492.80	4,608.00	4,723.20	4,838.40	4,953.60	5,068.80	
met	120.50	101.94	135.21	142.43	120.50	101.94	135.21	142.43	120.50	101.94	-	-	-	-	
met acum	3,898.70	4,000.64	4,135.85	4,278.28	4,398.78	4,500.72	4,635.93	4,778.36	4,898.86	5,000.80	5,000.80	5,000.80	5,000.80	5,000.80	
Ren diario	0.96	1.13	0.85	0.81	0.96	1.13	0.85	0.81	0.96	1.13	-	-	-	-	
Ren. Acum.	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	
Rend. Pres	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Formación de Cuadrilla	Operario	6
	Oficial	0
	Peon	6
	Total	12

Dif Rend	0.08	0.06	0.03	0.01	-0.01	hh/m ²
Dif HH	392.80	277.60	162.40	47.20	-68.00	HH
Dif Soles	4,910.00	2,914.80	1,705.20	495.60	-714.00	S/.

Figura # 36 Corrida del Circuito fiel para 12 personas, Proyecto Barranco 360° EDIFICA

5.4. Last Planner

El Last Planner nos permite controlar la obra desde el planeamiento general hasta la realización de las actividades en campo, esto por intermedio de sus varios escalones de programación que ya describimos en la parte anterior.

En nuestro proyecto se aplicaron todas las etapas de planeamiento y programación sugeridas por este sistema y a continuación se mostrara la metodología con que se realizo cada una de ellas.

0.0.1. Planificación maestra

La Planificación Maestra es bastante similar a la Planificación general de obra que se realizaba con la metodología tradicional de construcción porque busca prever lo que pasara durante la ejecución del proyecto. Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre los 2 tipos de planificación, lo que le brinda mayor confiabilidad a la planificación maestra. La diferencia que mencionamos es que en la construcción tradicional se usa una planificación general de obra en la cual se extiende hasta el detalle la planificación, según esto se podría saber que viga estará vaciando en un día cualquier entre otras cosas. En contraste a esto el Last Planner presenta una planificación por hitos, en los cuales no se entra en tanto detalle para saber que haremos cada día sino que se pone hitos (fechas límites) que se tienen que cumplir. Para lograr dicho objetivo propone otras herramientas de planificación más detallada.

Analizando la planificación maestra del proyecto Barranco 360 se observa que se inicio el proyecto el lunes 26-12-2012 y tiene una duración aproximada de 1 año culminando el 14-12-2012. Como se menciona esta es una planificación por hitos, siendo los más importantes para este proyecto el movimiento de tierras, estabilización de taludes, cimentación, subestructura, superestructura, acabados, instalaciones y ascensor.

Centrándonos en la etapa en estudio que es el casco de la estructura podemos ver que este hito tiene como fecha de inicio el 27/03/2012 y fecha de fin el 09/07/2012, dentro de la superestructura que es donde se realizaron las mediciones de productividad se tienen los pisos como sub-hitos que más adelante se irán detallando mas en el Lookahead y programaciones semanales.

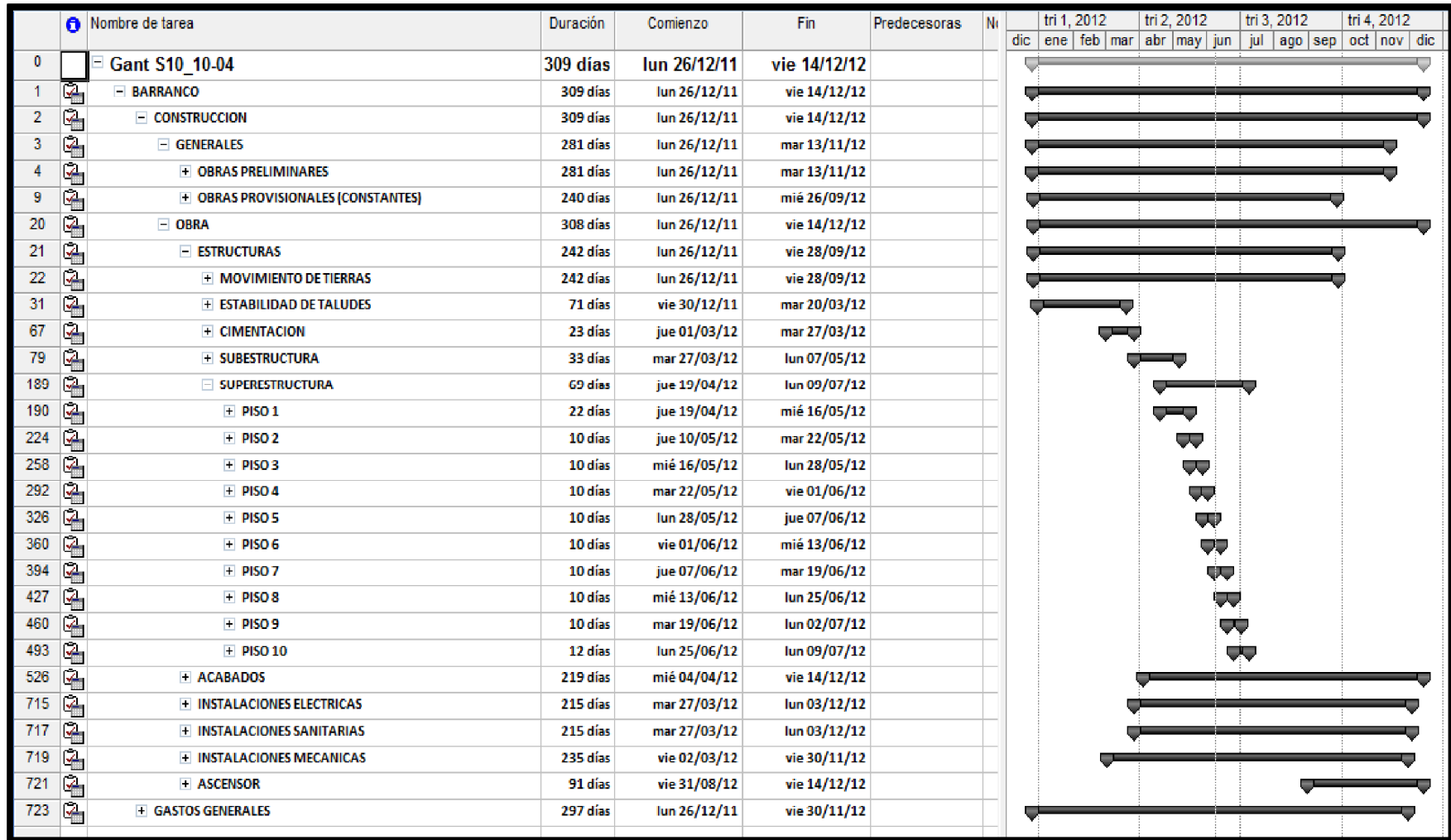


Figura #37 Programación Maestra por Hitos proyecto Barranco 360° (Edifica)

0.0.2. Lookahead Plan

El Lookahead es una programación intermedia del sistema Last Planner y la duración de esta depende principalmente de 2 factores, el horizonte máximo de la variabilidad para el proyecto y el mínimo del tiempo que tomen levantar las restricciones. El encargado de realizar el Lookahead para nuestro caso es el Ing. Residente y la duración de estos es de 4 semanas. El Lookahead de 4 semanas tiene como un estándar en EDIFICA, ya que al realizar proyectos de edificaciones en Lima la variabilidad no es tanta como en proyectos al interior del país y 4 semanas es un tiempo prudente para levantar todo tipo de restricciones.

En el primer formato se muestra el Lookahead de las semanas 22 a 25, como se puede apreciar aquí en este periodo se están realizando actividades de estructuras y tarrajes y en ambos casos se observa cómo se forman los trenes de actividades y el trabajo va avanzando a través de los sectores para luego avanzar piso por piso, los pisos se distinguen con colores diferentes para identificar más rápido los niveles de avance esperados en el Lookahead.

Adicionalmente al formato original del Lookahead Planning que viene acompañado del análisis de restricciones, en EDIFICA se usa un formato que denominamos Lookahead de obra. En este formato se integra el Lookahead planning con el análisis de restricciones para que sea más visible la relación entre las actividades y sus restricciones, además de facilitar la identificación de las mismas.

En el segundo formato se observa el Lookahead de Obra mencionado, en el cual además de tener las actividades a realizar por cada semana se tienen los recursos y las restricciones para el plan asignadas a un responsable de levantarlas, los recursos se muestran de color azul y las restricciones de color rojo, de esa manera se puede identificar fácilmente las acciones a realizar para liberar el plan y poder proceder con la programación semanal.

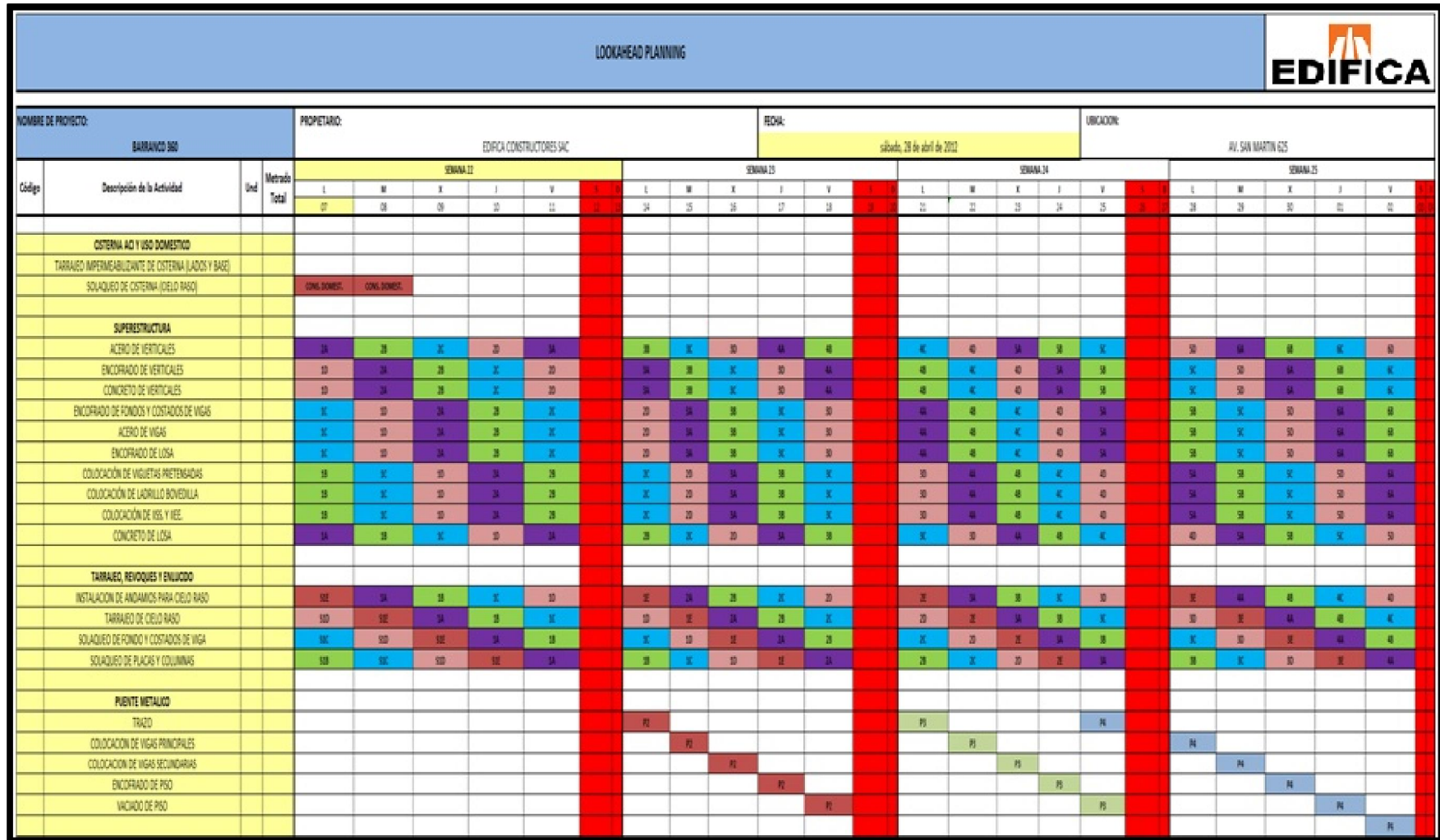


Figura #38 Lookahead Planning Proyecto Barranco 360° (Fuente: EDIFICA) . Ver anexo 6.

LOOKAHEAD/ANÁLISIS DE RESTRICCIONES/RECURSOS																																							
CODIGO DE PROYECTO		AREA / DPTO											FECHA																										
20		EDIFICACIONES											viernes, 27 de abril de 2012																										
NOMBRE DE PROYECTO		CLIENTE											UBICACIÓN																										
EDIFICIO BARRANCO 360		PROYECTO PROPIO											AV. SN MARTIN Nº 625																										
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD/RESTRICCION/RECURSOS	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	UND	RESPOSABLE	SEMANA 21							SEMANA 22							SEMANA 23							SEMANA 24							SEMANA 25							
				L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	
				30	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	
CISTERNA																																							
Tirajeo impermeabilizante de cisterna (lados y base)		AP		CONS H	CONS H	CONS H	CONS H																																
Aditivo Impermeabilizante		DM	X																																				
Arena Fina		DM	X																																				
Tirajeo impermeabilizante de cisterna (dolo raso)		MC				ACI	ACI		CONS H	CONS H																													
SUBESTRUCTURA																																							
Acero De Verticales		AP	1A	1B	1C	1D		2A	2B	2C	2D	3A		3B	3C	3D	4A	4B		4C	4D	5A	5B	5C		5D	6A	6B	6C	6D									
Pedido de Acero		GC																																					
Pedir a BELCO PRONTO el diseño del acerodimensionado		AP																																					
Ingreso del acero dimensionado		GC						X	X	X					X						X	X					X	X											
Encofrado De Verticales		AP	S1F	1A	1B	1C		1D	2A	2B	2C	2D		3A	3B	3C	3D	4A		4B	4C	4D	5A	5B		5C	5D	6A	6B	6C									
Aditivos (curador)		GC																																					
Alquiler de Encofrado		GC																																					
Concreto De Verticales		AP	S1F	1A	1B	1C		1D	2A	2B	2C	2D		3A	3B	3C	3D	4A		4B	4C	4D	5A	5B		5C	5D	6A	6B	6C									
Concreto Premezclado		GC	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Encofrado De Fondos y Costado De Vigas		AP	S1E	S1F	1A	1B		1C	1D	2A	2B	2C		2D	3A	3B	3C	3D		4A	4B	4C	4D	5A		5B	5C	5D	6A	6B									
Ingreso de cuadrilla extra de encofrado horizontal		AP																																					
Acero De Vigas		AP	S1E	S1F	1A	1B		1C	1D	2A	2B	2C		2D	3A	3B	3C	3D		4A	4B	4C	4D	5A		5B	5C	5D	6A	6B									
Pedir a BELCO PRONTO el diseño del acerodimensionado		AP																																					
Ingreso del acero dimensionado		GC	X	X	X	X		X	X			X		X						X	X		X			X	X												
Colocacion Viguetas Pretensadas		AP	S1D	S1E	S1F	1A		1B	1C	1D	2A	2B		2C	2D	3A	3B	3C		3D	4A	4B	4C	4D		5A	5B	5C	5D	6A									
Colocacion de Casetones		AP	S1D	S1E	S1F	1A		1B	1C	1D	2A	2B		2C	2D	3A	3B	3C		3D	4A	4B	4C	4D		5A	5B	5C	5D	6A									
Ladrillo de techo		GC						X	X		X			X		X				X			X			X													
Viguetas Pretensadas		GC						X	X		X			X		X				X			X			X													
Colocacion Ins. Electricas y Sanitarias		AP	S1D	S1E	S1F	1A		1B	1C	1D	2A	2B		2C	2D	3A	3B	3C		3D	4A	4B	4C	4D		5A	5B	5C	5D	6A									
Concreto De Losa		AP	S1C	S1D	S1E	S1F		1A	1B	1C	1D	2A		2B	2C	2D	3A	3B		3C	3D	4A	4B	4C		4D	5A	5B	5C	5D									
Concreto Premezclado		GC	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Figura #39 Lookahead de Obra Proyecto Barranco 360° (Fuente: EDIFICA)

0.0.3. Programación semanal

Las programaciones semanales se obtienen a través de la expansión de la planificación intermedia o Lookahead, para nuestro caso las programaciones semanales se realizaban todos los viernes en una reunión entre el Ingeniero Residente y los ingenieros del staff de obra. El ingeniero residente es el responsable de elaborar el Lookahead mientras que el Ingeniero de campo en coordinación con el Ingeniero de oficina técnica son los responsables de gestionar los recursos y asignar los responsables para el levantamiento de restricciones, por consiguiente en cada reunión se establecían las actividades que se programaran en la semana teniendo en cuenta que ya se hayan levantado las restricciones previas.

Una vez establecidas las actividades libres de restricciones se procedía a establecer la cantidad de trabajo que se asignará a cada cuadrilla en la semana, esta cantidad de trabajo ya estaba definida con anterioridad en el Lookahead, pero se verificaba nuevamente porque en algunos casos cambiaban las condiciones de trabajo (menos mano de obra, más avance requerido, etc.)

La particularidad de las programaciones semanales en la obra era que se incluían buffers de tiempo en la programación, esto hacía que la programación semanal real solo se haga contando 5 días a la semana, es decir de lunes a viernes, por lo cual se tenía el medio día del sábado para cumplir con algunas actividades programadas que no hayan podido ser completadas en el transcurso de la semana. El uso de estos buffers de tiempo significó una mejora considerable en los PPC (porcentaje de plan cumplido) y por consiguiente una confiabilidad mayor de la programación semanal, lo cual repercutió positivamente en el cumplimiento de los plazos del proyecto.

Como se puede ver el formato de programación semanal que se utiliza en la empresa tiene una parte designada para el seguimiento de las restricciones. Esta funciona como un recordatorio para verificar que cada actividad que se agregue a la programación semanal esté libre de restricciones.

PROGRAMACION SEMANAL															EDIFICA
NOMBRE DE PROYECTO			AREA / DPTO					FECHA							
BARRANCO 360			EDIFICACIONES					sábado, 09 de junio de 2012							
CODIGO DE PROYECTO			PROPIETARIO					UBICACION							
15			EDIFICA CONSTRUCTORES SAC					AV. SAN MARTIN 625							
Descripción de la Actividad	Und	Metrado Programa do	SEMANA 27					SEGUIMIENTO LEVANTAMIENTO DE RESTRICCIONES							
			Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	INFORMACION	ACTIVIDAD PRECEDENT	ESPACIO	MANO DE	MATERIALES	EQUIPOS	CONDICIONES	ESTADO
VERTICALES Y HORIZONTALES - PISO TIPICO															
ACERO DE VERTICALES	SECTOR	5	6C	6D	6E	7A	7B	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
ENCOFRADO DE VERTICALES	M2	500	6B	6C	6D	6E	7A	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
CONCRETO DE VERTICALES	M3	52	6B	6C	6D	6E	7A	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
ENCOFRADO FONDO DE VIGAS Y UN COSTADO DE VIGAS	M2	200	6A	6B	6C	6D	6E	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
ACERO DE VIGAS	SECTOR	5	6A	6B	6C	6D	6E	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
ENCOFRADO DE LOSA Y UN LADO DE VIGAS	M2	575	5E	6A	6B	6C	6D	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
COLOCACION DE VIGUETAS Y LADRILLO BOVEDILLAS	M2	575	5D	5E	6A	6B	6C	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS	SECTOR	5	5D	5E	6A	6B	6C	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
CONCRETO EN LOSA	M3	100	5C	5D	5E	6A	6B	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
TARRAJEO - REYOQUES Y ENLUCIDO															
COLOCACION DE PUNTOS DE NIVEL PARA CIELO RASO	SECTOR	5	3A	3B	3C	3D	3E	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
INSTALACION DE ANDAMIOS PARA TARRAJEO DE CIELO RASO	SECTOR	5	2E	3A	3B	3C	3D	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
TARRAJEO DE CIELO RASO	M2	575	2D	2E	3A	3B	3C	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
SOLAQUEO DE COSTADO DE VIGAS	M2	180	2C	2D	2E	3A	3B	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO
SOLAQUEO DE PLACAS Y COLUMNAS	M2	120	2B	2C	2D	2E	3A	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	LIBERADO

Figura #40 Programación semanal Proyecto Barranco 360° semana # 27 (Fuente: EDIFICA)

0.0.4. Programación diaria

Para nuestro proyecto y en general como filosofía de la empresa, la programación diaria es elaborada por el Ingeniero de Campo, que desempeña la función del Último Planificador, en coordinación con el equipo de obra (Supervisor, oficina técnica, prevencionista y maestro de obra) en reuniones diarias al finalizar la jornada de trabajo, ya que en esos momentos es cuando se conoce el avance real que se logró en el día y si se cumplió con las actividades establecidas en la programación diaria anterior, ya que puede darse el caso de que existan actividades que no se ejecutaron o completaron en el día y se tiene que colocar en la programación del día siguiente.

La particularidad de la programación diaria que se realiza en la empresa es que comprende 2 partes: La gráfica en la cual se muestra lo programado en un plano y con colores distintos para que sea más fácil de identificar en campo y la programación escrita en la que se detalla de forma escrita todas las actividades a desarrollar en el día así como los encargados de cada labor.

Una vez elaborada la programación diaria es firmada por los responsables principales de producción (Ingeniero de campo y maestro de obra) y se deja lista para entregar a los capataces de cada cuadrilla al inicio de la jornada laboral del siguiente día y de esa manera asegurarnos que todos los involucrados en el proceso tengan la información del trabajo que se tiene que realizar en el día.

A continuación se muestra un ejemplo de las programaciones diarias (parte gráfica), en la cual se colocan gráficamente las actividades a realizar para cada cuadrilla en el día, esta programación va complementada con la parte textual en la que se detalla todo lo visto en esta programación, la programación detallada se podrá ver en los anexos.

Como se puede apreciar para las programaciones diarias y algunas otras herramientas como la sectorización, la empresa utiliza dibujos de los planos de la obra realizados en Excel. Esta metodología de dibujar los planos en Excel es una buena práctica dentro de la empresa, ya que se le da muchos usos al ser un formato mucho más amigable que el dibujo de AutoCAD.

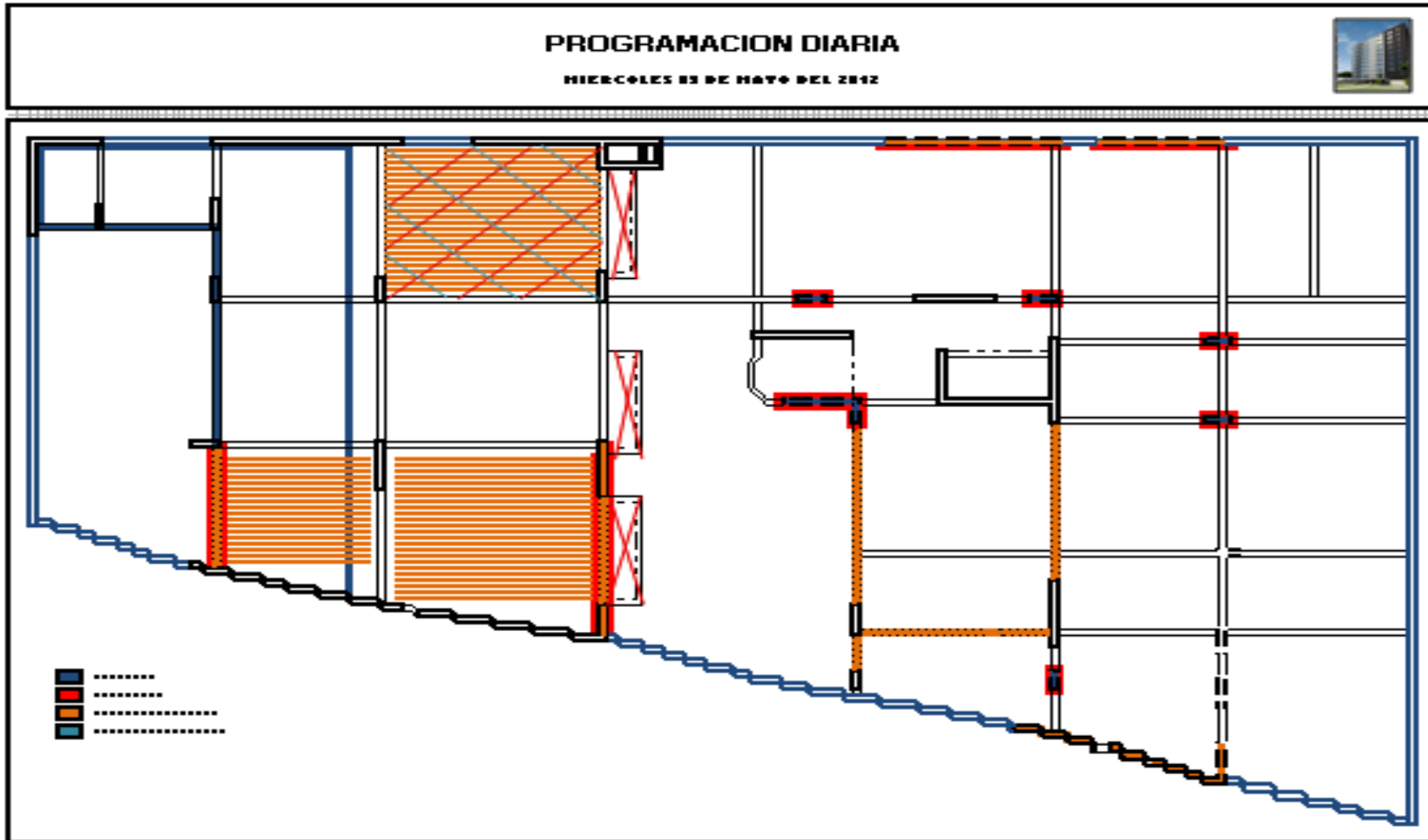


Figura #41 Programación diaria Proyecto Barranco 360° Día: Miércoles 09-05-2012 (Fuente: EDIFICA)

5.5. Análisis de Restricciones

El análisis de restricciones forma parte y podemos decir que es la herramienta que le da el sentido al Lookahead, ya que de no ser por este formato el Lookahead sería simplemente una programación intermedia incapaz de formar un escudo que aisle el proyecto de los efectos de la variabilidad del entorno y por lo tanto no aportaría a la confiabilidad de los procesos de planificación y programación.

Como se menciona en la parte anterior en la empresa se usan 2 formatos de análisis de restricciones, uno de los cuales está incluido en el Lookahead Planning y se conoce como Lookahead de obra, el otro es un formato simple de Excel en el cual se colocan las restricciones agrupadas por partidas y para cada restricción se tiene un responsable y la fecha de levantamiento de la restricción. Este último formato es el que se usa para analizar todas las restricciones en el sistema Last Planner.

Este análisis se hace después de haber realizado el Lookahead los días sábados y se abarca principalmente la última semana del Lookahead por ser la que ingresa a la programación intermedia, además se realiza un seguimiento a las restricciones que ya fueron ingresadas semanas anteriores para que cuando se tenga que realizar la programación semanal se tenga un conjunto de actividades libre de restricciones y lista para pasar a la siguiente etapa de programación.

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES / RECURSOS							EDIFICA	
NOMBRE DE PROYECTO			AREA / DPTO		FECHA:			
BARRANCO 360			EDIFICACIONES		sábado 21 de abril de 2012			
CODIGO DEL PROYECTO			PROPIETARIO		UBICACION			
15			EDIFICA CONSTRUCTORES SAC		AV. SAN MARTIN 625			
Cantidad	Und.	Actividad	Fecha que se debe realizar	Descripción de la Restricción	Fecha Requerida en Obra	Responsable		
GRUA TORRE								
1	GLB	Carga para funcionamiento de Grúa Torre	07-may-12	Ampliación de carga de medidor y alquiler de transformador para Grúa Torre - Se	08-may-12	Ing. Gustavo Cabellos		
1	GLB	Funcionamiento de Grúa Torre	30-may-12	Segundo mantenimiento de Grúa Torre.	30-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Funcionamiento de Grúa Torre	11-may-12	Compra de combustible cada 5 días para funcionamiento de Grupo Electrogeno	11-may-12	Ing. Gustavo Cabellos		
1	GLB	Funcionamiento de Grúa Torre	18-may-12	Compra de combustible cada 5 días para funcionamiento de Grupo Electrogeno	18-may-12	Ing. Gustavo Cabellos		
VIGUETAS Y LADRILLO BOVEDILLA								
1	GLB	Colocación de viguetas pretensadas y ladrillo bovedilla	10-may-12	Enviar cronograma de entrega de material por sector cada semana	10-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Colocación de viguetas pretensadas y ladrillo bovedilla	17-may-12	Enviar cronograma de entrega de material por sector cada semana	17-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Colocación de viguetas pretensadas y ladrillo bovedilla	24-may-12	Enviar cronograma de entrega de material por sector cada semana	24-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Confirmación de pedidos de viguetas y ladrillo	07-abr-12	Confirmar pedido diario	07-abr-12	Ing. Gustavo Cabellos		
TENSADO DE MUROS PANTALLAS								
1	GLB	Destensado de muros pantalla correspondiente al 2do anillo	07-may-12	Enviar cronograma a Terratest y destensar los muros del 2do anillo	09-may-12	Ing. Gustavo Cabellos		
HABILITACION DE ACERO								
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	08-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 1	08-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	08-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 2	08-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	10-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 3	10-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	10-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 4	10-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Acero dimensionado 3er piso	12-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 3 sector 1	12-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Acero dimensionado 3er piso	12-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 3 sector 2	12-may-12	Ing. Arturo Pineda		
1	GLB	Acero dimensionado 3er piso	15-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 3 sector 3	15-may-12	Ing. Arturo Pineda		

Figura #42 Análisis de Restricciones Lookahead 21 Barranco 360° (Fuente: EDIFICA)

Según la GEPUC las restricciones se agrupan en 11 tipos según la siguiente tabla:

TIPOS DE RESTRICCIONES		
N°	Código	Descripción
1	MAT	Materiales
2	DIS	Diseño
3	MO	Mano de Obra
4	INS	Inspección
5	DOC	Documentación
6	EQ	Equipos
7	HZT	Habilitación Zona Trabajo
8	SEG	Seguridad
9	AMB	Ambiental
10	SC	Subcontratos
11	OTRO	Otros

Figura #43 Tipos de Restricciones (Fuente: GEPUC)²¹

Para el caso de las partidas del casco que han sido analizadas en esta obra se ha recopilado la información de todas las restricciones a lo largo de la obra para tener una especie de catalogo en el cual se tenga un listado de todas las restricciones a tener en cuenta para evitar que el flujo pare (Anexo #3).

RESTRICCIONES					
N°	Restricción	Etapa de ocurrencia			Categoría
		Inicio	Durante	Final	
1	Busqueda de Personal para la cuadrilla				MO
2	Enviar a Examen Medico Pre ocupacional				MO
3	Definir Personal que ingresara a laborar				MO
4	Tramitar seguro SCTR				DOC
5	Charla de Inducción general				SEG
6	Charla de inducción por cuadrillas				SEG
7	Analizar proveedores de Concreto				OTRO
8	Definir proveedor				SC
9	Definir Tipos de concreto a usar				MAT
10	Definir Cantidades de concreto a usar				MAT
11	Realizar Programa estimado de vaciados de obra				OTRO
12	Realizar Programa mensual de vaciados de obra				OTRO
13	Definir volumen diario a vaciar				OTRO
14	Realizar el pedido diario de concreto				OTRO
15	Analizar resultados de ensayos de probetas				OTRO
16	Enviar a ensayar probetas				OTRO
17	Pedido de Vibradoras				EQ
18	Pedido de reglas de aluminio				EQ
19	Pedido de accesorios para la Grúa (Vaciados con Chute)				EQ
20	Solicitar Montante de tuberías				SC
21	Inspecciones de Seguridad (equipos)				SEG
22	Charlas preventivas de seguridad				SEG
23	Elaboración de ATS				SEG
24	Revisión de ATS				INS
25	Revisión de andamios				INS
26	Revisión de permisos de trabajo en altura				INS
27	Colocación de Línea de Vida				SEG
28	Entregar Programación semanal				OTRO
29	Pedido de aditivo Curador				MAT
30	Pedido de equipo para aplicar Curador				EQ
31	Liberación actividades precedentes				HZT

Figura #44 Catalogo de Restricciones de la partida de Concreto (Fuente: Propia) . Ver anexo 4

²¹ GEPUC, Pontificia Universidad Católica de Chile.

5.6. Lecciones Aprendidas

La filosofía *Lean Construction* a través de todas sus herramientas y conceptos teóricos busca la mejora del proceso de producción en la construcción, pero al igual que todas las filosofías que buscan incrementar la productividad introduce el proceso de la mejora continua (Kaizen). La filosofía *Lean Construction* le da bastante importancia al Kaizen, ya que fue uno de los pilares del TPS (Toyota Production System) de donde derivaron todas las teorías de producción utilizadas actualmente.

Para manejar eficientemente el concepto del Kaizen se generó una herramienta que la apoye como es el caso de las lecciones aprendidas. A través de las lecciones aprendidas se llevaba un control general de los problemas obtenidos en la obra así como también las soluciones reactivas y proactivas tomadas para cada problema suscitado.

Teniendo como punto de partida las lecciones aprendidas y al hacer el ejercicio de registrar los problemas presentados en obra y las repercusiones que tuvieron dentro del proyecto se genera la concientización en el equipo de obra. La concientización es parte de la mejora continua, ya que al saber los efectos negativos de algún problema de la obra se tomara acciones para aplicar las soluciones proactivas que evitan que el problema se vuelva a presentar y por lo tanto a medida que avance el proyecto nos vamos especializando en la metodología adecuada de construcción según los parámetros del *Lean Construction*.

A continuación se mostrara el formato de lecciones aprendidas que se usa para el proyecto Barranco 360°, en el cual se detallan todos los problemas, soluciones reactivas y proactivas del proyecto para el lapso de una semana. Al final de cada proyecto se tiene como buena práctica realizar las lecciones aprendidas a escala general del proyecto, en este formato se resaltan los puntos más importantes que servirán más que al proyecto a la empresa en el proceso de mejora continua.

Como se puede apreciar en el formato se tiene que colocar la partida correspondiente, la descripción del problema, medidas correctivas, recomendación y una fotografía para que todos puedan entender el problema que se presentó. La medida correctiva es la solución reactiva y la recomendación es la solución proactiva, ya que de cumplirse con estas recomendaciones no se debe volver a presentar el mencionado problema.




EDIFICA		BARRANCO 360°					
LECCIONES APRENDIDAS							
ITEM	PARTIDA	FECHA	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS CORRECTIVAS	RECOMENDACIÓN	PANEL FOTOGRAFICO	
1ro	ENCOFRADO / CONCRETO		NO HUBO UN MUY BUEN ACABADO EN LAS CARAS DE LAS PLACAS O COLUMNAS DEBIDO A LOS ESCANTILLONES.	SE COMPRO UNOS CHUPONES PARA ENCOFRADO PARA ASI TENER UN MEJOR ACABADO.	UTILIZAR LOS CHUPONES DE ENCOFRADO DESDE EL PRINCIPIO.		
2do	ACARREO		AL MOMENTO DE REALIZAR EL ACARREO DE VIGUETAS NO HIZO UNA SELECCIÓN DE LAS MISMAS.	SE TUVO SELECCIONAR LAS VIGUETAS PARA COLOCARLAS DE UNA MANERA ORDENADA, ES DECIR UBICARLAS POR TIPO DE VIGUETA.	CUANDO SE REALICE EL ACARREO DE VIGUETAS REALIZAR LA SELECCIÓN DE VIGUETAS Y AGRUPAR LAS QUE SON DE UN MISMO TIPO.		

Figura #45 Formato de lecciones aprendidas (Fuente: EDIFICA)

5.7. Productividad

5.7.1. Curvas de Productividad

Las curvas de productividad son un formato de control de la productividad que simboliza la continuación y control de lo que se hizo al inicio del proyecto mediante el uso del Circuito Fiel para el dimensionamiento de cuadrillas.

En este formato se analiza diariamente los metrados ejecutados y las horas hombre (hh) asignadas para las principales partidas del proyecto, tiene como finalidad llevar un registro permanente de los rendimientos obtenidos durante la ejecución de la obra y hacer una comparación con el rendimiento presupuestado (meta establecida en la corrida del Circuito Fiel) para obtener un estado de ganancia o pérdida para dicha partida.

Como sabemos la variabilidad influye en demasía en los proyectos de construcción, de no ser así se cumpliría en su totalidad lo que anticipamos al inicio del proyecto mediante el Circuito Fiel, pero debido a los efectos de la variabilidad y demás problemas que se presentan en cada proyecto la producción diaria puede variar y también el número de personas en obra, ya sea porque se agrego alguien a la cuadrilla o porque alguien faltó en

un determinado día. Entonces las curvas de productividad reúnen todos estos efectos presentes en el proyecto y lo trasladan a un formato en el cual medimos la productividad verdadera con que se está realizando la partida y se tiene el rendimiento real que puede ser menor o mayor que el presupuestado.

Entonces se tiene a las curvas de productividad como un registro diario de la producción, horas hombre gastadas y rendimientos, además se calcula los acumulados para poder compararnos con el rendimiento presupuestado y obtener una proyección de la obra.

CONCRETO EN MUROS, COLUMNAS, PLACAS Y LOSAS											
SEMANA 29						SEMANA 30					
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
25/06/2012	26/06/2012	27/06/2012	28/06/2012	29/06/2012	30/06/2012	02/07/2012	03/07/2012	04/07/2012	05/07/2012	06/07/2012	07/07/2012
22.50	25.00	25.00	25.00	22.50	13.00	20.00	22.50	8.00	22.00	25.00	15.00
1672.50	1697.50	1722.50	1747.50	1770.00	1783.00	1803.00	1825.50	1833.50	1855.50	1880.50	1895.50
45.00	23.50	41.00	45.50	45.50	16.50	36.00	40.00	9.00	33.00	40.00	18.50
2256.73	2280.23	2321.23	2366.73	2412.23	2428.73	2464.73	2504.73	2513.73	2546.73	2586.73	2605.23
0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
0.50	1.06	0.61	0.55	0.49	0.79	0.56	0.56	0.89	0.67	0.63	0.81
0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73

Figura #46 Formato de Curvas de Productividad (Fuente: EDIFICA)

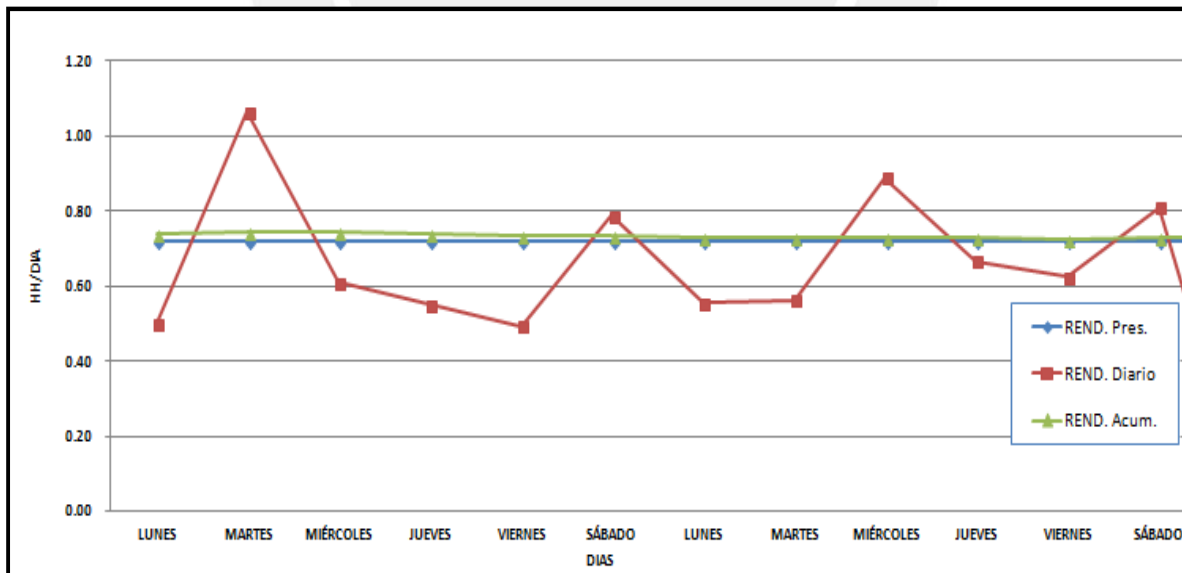


Figura #47 Grafico de Curvas de Productividad (Fuente: EDIFICA)

5.7.2. Nivel General de Actividad

Es una herramienta que propone el *Lean Construction* para tener un resultado general de la productividad en la obra y que puede servir como un indicador de la eficiencia con que se están realizando los trabajos en obra. Consiste en mediciones de Trabajos Productivos (TP), trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC) que se realiza en toda la obra y para todos los obreros con la finalidad de tener un indicador claro del nivel de productividad general.

El nivel general de actividad consiste en una serie de mediciones en las que se especifica el tipo de trabajo que está realizando cada obrero al momento de la medición (TP, TC TNC), si se desea entrar en mayor detalle se puede mencionar el tipo de trabajo contributivo y no contributivo específico que se visualizó, mas no se puede hacer esto en el trabajo productivo debido a que se tendría una lista enorme que solo entorpecería el proceso. Según Serpell (1993) se necesita un total de 384 mediciones como mínimo para tener resultados estadísticamente validos, por lo que en el caso de EDIFICA se trabaja con formatos de 400 datos por medición.

Las mediciones se pueden realizar de distintas maneras dependiendo de la persona que las realice, pero lo importante de estas es que se llegue a medir a todos los trabajadores de la obra. Para esto las mediciones se pueden hacer desde un punto estacionario si es que se puede visualizar toda la obra desde ahí, caso contrario lo ideal es ir recorriendo la obra de principio a fin y realizando las mediciones por zonas.

Las mediciones en campo del nivel general de actividad necesitan de un trabajo previo en el cual se tiene que elaborar las plantillas o formatos de medición e identificar las distintas actividades que se encontraran en obra para asociarlas y generar los grupos de TC y TNC, dado que estos pueden tener algunas variaciones dependiendo del tipo de obra y las actividades que se están realizando. Sin embargo, existen algunas que de por si están presentes en todas las obras como por ejemplo el transporte y las esperas.

Las mediciones en campo se deben de realizar en escenarios normales de obra (no situaciones atípicas) y de preferencia en diferentes días de la semana para minimizar los efectos de la variabilidad y tener resultados más acordes a la realidad, esto basado en que algunos autores sostienen que la productividad del personal es mayor los días entre semana y es menor los días viernes y sábado.

Mediciones:

Las mediciones del nivel general de actividad en el proyecto Barranco 360^o se realizaron según lo mencionado anteriormente y con la ayuda de los formatos elaborados por la empresa para este procedimiento.

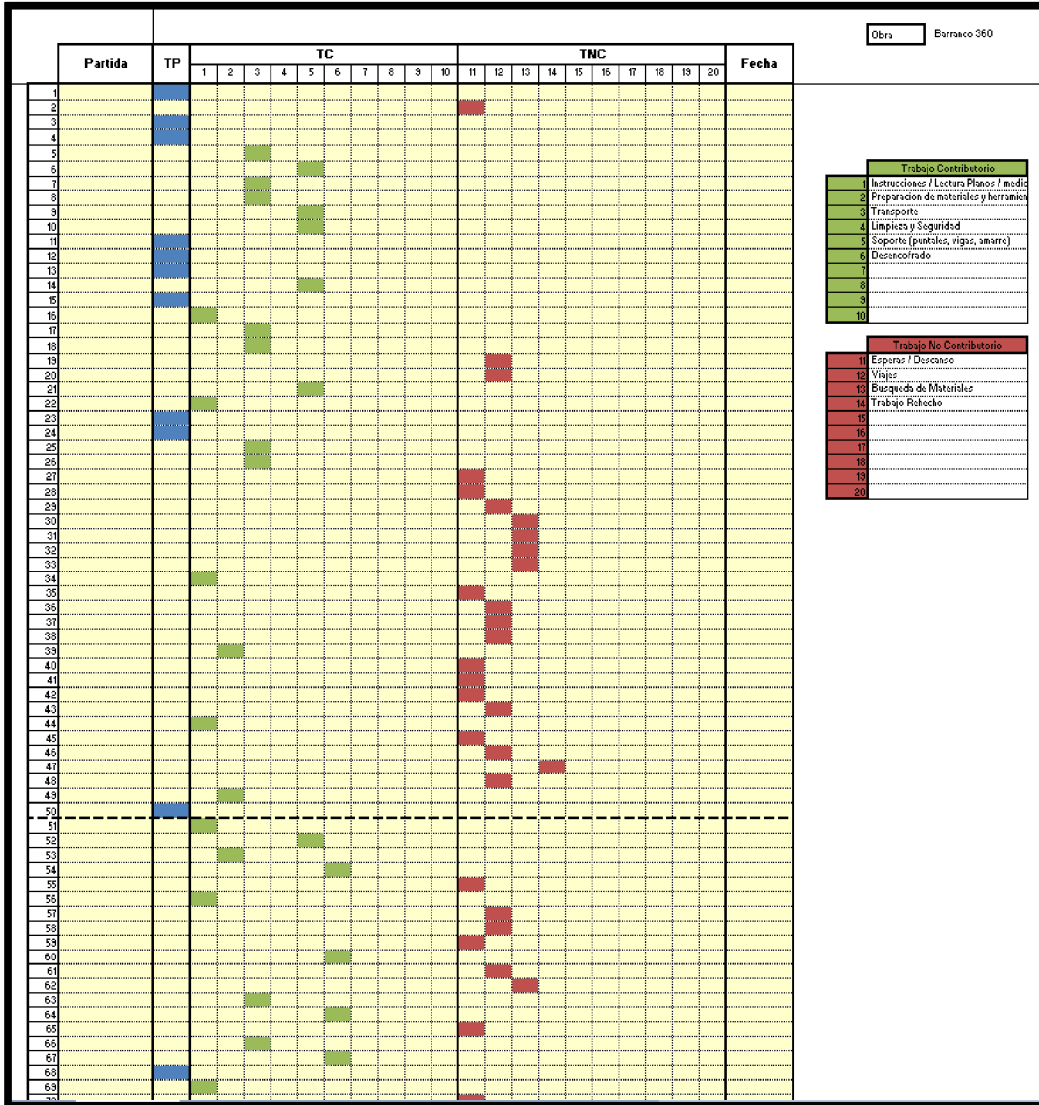


Figura #48 Formato de Nivel General de Actividad (NGA) EDIFICA

Como se puede apreciar es importante que antes de realizar las mediciones se enumeren los trabajos contributorios (TC) y no contributorios (TNC), para que al momento de medir se asigne individualmente y se pueda obtener resultados desglosables. En el formato se tiene una columna en la cual se coloca la partida a la que corresponden las mediciones, lo

cual nos permite desglosar los resultados también por partidas, pero al ser resultados generales de la partida preferimos utilizar las cartas de balance para el análisis individual de cada partida, ya que presentan resultados mucho más completos que el NGA.

5.7.3. Cartas de Balance

Las Cartas de Balance son una herramienta potentísima del *Lean Construction*, esto debido a que es una de las bases junto con el *Last Planner* y la Teoría de las restricciones para que la gestión de las obras sea efectiva. Como se menciona anteriormente la filosofía Lean buscaba principalmente lograr un sistema de producción efectivo y para esto se tenía que mantener el flujo constante, optimizar los flujos y finalmente optimizar los procesos.

Como se sabe la continuidad del flujo se logra a través del manejo de la variabilidad y el uso de buffers, lo cual nosotros integramos en el uso del *Last Planner*. Para lograr un flujo eficiente se utilizan los conceptos de física de producción basados en la teoría de las restricciones (TOC), entonces el último paso que tenemos por dar para lograr la meta que propone el *Lean Construction* es lograr que nuestros procesos sean eficientes, es aquí en donde cobran importancia las cartas de balance.

Las cartas de balance toman un proceso específico y lo analizan a nivel de la mano de obra, con la finalidad de obtener los tiempos que le dedican los trabajadores a cada actividad dentro de la partida. Al igual que en el caso del Nivel General de Actividad (NGA) divide los trabajos en Productivos (TP), Contributorios (TC) y No Contributorios (TNC), pero para el caso de las cartas de balance sí se realiza un listado total de las actividades que comprende dicho trabajo y se analiza a qué grupo pertenece cada actividad (TP, TC y TNC), esto debido a que en los resultados además de obtener el tiempo de ocupación en TP, TC y TNC ; se espera obtener los tiempos de ejecución para cada actividad dentro de dichos tipos de trabajo.

- **Procedimiento:**

El procedimiento es similar a las mediciones del Nivel General de actividad, pero incluye algunas consideraciones adicionales.

El trabajo para realizar las Cartas de Balance se inicia con un análisis previo más minucioso de la obra para elegir correctamente el proceso o actividad que se quiere

analizar. Existen varias consideraciones que se pueden tomar para esto, por ejemplo se puede elegir una partida según la incidencia que tenga en el presupuesto, ya que al optimizarlo generaría mayor utilidad a la obra; otro tipo de criterio para elegir las partidas es según los resultados operativos de obra, ya que puede darse el caso que existan partidas que están causando pérdidas debido a un mal dimensionamiento de cuadrillas o productividades bajas, entonces para este caso nos serviría para solucionar los errores cometidos.

Una vez elegida la actividad o partida a medir se procede a hacer un análisis de dicha actividad para identificar los trabajos productivos y contributivos propios de la partida, es recomendable que esto lo haga una persona con experiencia que haya visto el proceso constructivo en obra o hacer una visita previa para observar todo el proceso que se desea medir.

Cuando se tiene el análisis de la partida realizada se procede a colocar las actividades en la partida de cartas de balance para asignarle a cada una un número y por ende asignarle a cada trabajador el número de la actividad que realizan.

Finalmente como paso previo a la medición se tiene el registro de los trabajadores, dado que esta herramienta hace mediciones individuales se tiene que identificar y nombrar a cada integrante de la partida. Es recomendable que las mediciones las haga un personal de obra que está mucho más familiarizado con los obreros que un personal de oficina, ya que identificar a cada obrero es complicado y mucho más si la actividad a medir involucra un movimiento constante de los obreros.

Partida			
Cargo	Nombre	Cargo	Nombre
Operario	Marcos Rivas	Ayudante	Jose Rodriguez
Ayudante	Jlan Carlos Guzman	Oficial	Julio Mina
Operario	Carlos Espinoza	Ayudante	Diego Adrianzen
Ayudante	Johan Aquino		
Operario	Evaristo Diaz		

Obra	Barranco 360°
Calle	San Martín
Actividad	Encofrado de Vigas
Descripción	Encofrado de Vigas Piso 2

Fecha	15/03/2012
Tiempo de Espera	

Trabajo Productivo	
1	Colocacion de Encofrado
2	Nivelado
3	Aplomado
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Trabajo Contributorio	
11	Instrucciones / Lectura de planos
12	Preparacion de materiales
13	Transporte
14	Colocacion de vigas de soporte
15	Colocacion de Puntales y Tripode
16	Amarrado
17	Desencofrado
18	Mediciones
19	Seguridad
20	Tacos

Trabajo No Contributorio	
21	Esperas
22	Descanso
23	Simulacion de Trabajo
24	Trabajo Rehecho
25	Viajes
26	Dusqueda de Material
27	
28	
29	
30	

Barranco 360° - San Martín

Figura #49 Registro de datos Formato de Cartas de Balance EDIFICA

Después de todo este proceso y con las plantillas de medición listas se procede a realizar las mediciones en campo según los siguientes criterios.

- ✓ Se analizara como máximo a 10 obreros, dado que una cantidad mayor sería imposible de medir
- ✓ Se ubica un punto en el cual se pueda visualizar a toda la cuadrilla trabajando. En este caso es mucho más simple que el NGA, ya que los trabajos se realizan en un mismo sector
- ✓ Se tomaran datos para todos los obreros en intervalos de 1 minuto preferiblemente, pero se puede hacer en menor tiempo dependiendo de la cantidad de obreros presentes en la cuadrilla
- ✓ La forma de realizar una medición es observando al obrero e identificar la actividad que está realizando, buscar que numero le corresponde a dicha actividad (según nuestra distribución previa) y asignarle dicho numero al primero obrero para luego realizar el mismo procedimiento con el segundo

- ✓ Se considera como 1 medición a la asignación de un numero a cada integrante de la cuadrilla
- ✓ Se completara un total de 384 mediciones para obtener resultados estadísticamente correctos (Serpell 1993)

	Operario	Agudante	Operario	Agudante	Operario	Agudante	Oficial	Agudante			Tiempo (min)	Obra	Barranco 360'
	Marcos Rivas	Juan Carlos Guzman	Carlos Espinoza	Johan Aquino	Eraristo Diaz	Jose Rodriguez	Julio Mina	Diego Adrianza				Actividad	Encofrado de Vigas
												Fecha	15/05/2012
1	1	2	15	13	1	12					2.29		
2	2	2	15	25	13	12					2.29		
3	2	16	22	22	12	25					2.29		
4	1	5	25	25	21	25					2.29		
5	1	5	15	15	13	13					2.29		
6	12	5	15	15	1	12					2.29		
7	11	11	15	15	1	25					2.29		
8	14	11	-	-	2	25					2.29		
9	22	25	-	-	11	13					1.07		
10	13	13	-	-	11	13					1.07		
11	5	5	-	-	13	16					1.07		
12	11	11	13	13	1	16					1.07		
13	11	22	13	13	1	12					1.07		
14	13	13	13	13	11	12					1.07		
15	4	4	13	13	11	12					1.07		
16	13	21	13	13	13	13					1.07		
17	5	5	13	21	13	13					1.07		
18	4	22	13	21	16	13					1.07		
19	4	5	13	13	13	13					1.07		
20	4	5	13	13	25	21					1.07		
21	5	5	13	21	13	13					1.07		
22	4	4	11	13	13	13					1.07		
23	4	13	25	13	13	13					1.25		
24	22	22	25	21	21	13					1.25		
25	22	4	13	24	25	5					1.25		
26	4	12	13	24	1	11					1.25		
27	4	12	13	25	1	13					1.25		
28	16	13	22	22	1	13					1.25		
29	14	14	13	13	1	12					1.25		
30	14	14	13	13	1	21					1.25		
31	14	14	21	25	1	12					1.30		
32	14	14	11	21	1	12					1.30		
33	14	14	21	21	4	12					1.30		
34	14	14	13	13	4	21					1.30		
35	14	14	13	13	11	16					1.30		
36	25	14	15	21	1	12					1.30		
37	17	14	15	13	1	12					1.30		
38	17	13	15	13	1	21					1.30		
39	17	12	15	26	11	26					1.30		

Trabajo Productivo	
1	Colocación de Encofrado
2	Nivelado
3	Aplomado
4	Colocación de vigas de soporte
5	Colocación de Puntales y Tripode
6	
7	
8	
9	
10	

Trabajo Contributorio	
11	Instrucciones / Lectura de planos
12	Preparación de materiales
13	Transporte
14	
15	
16	Amarrado
17	Desencofrado
18	Mediciones
19	Seguridad
20	Tacos

Trabajo No Contributorio	
21	Esperas
22	Descanso
23	Simulación de Trabajo
24	Trabajo Pichecho
25	Viajes
26	Búsqueda de Material
27	
28	
29	
30	

Figura #50 Medición de Cartas de Balance (Fuente: EDIFICA)

CAPITULO 6: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

0.1. Niveles de productividad

El nivel general de actividad nos brinda una estadística del estado general de la obra en lo que respecta a la distribución del trabajo según la división que se hizo en Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y Trabajo no Contributorio (TNC). De la realización del Nivel General de Actividad en el proyecto Barranco 360 según el procedimiento descrito anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados.

- **Datos generales de las mediciones:**

Las mediciones en el proyecto Barranco 360° se realizaron en 3 oportunidades, ambas en la etapa de casco de superestructura de la obra teniendo como fechas 19, 21 y 28 de junio del 2012, por estar en la etapa final del casco para el momento de las mediciones ya se habían iniciado los trabajos de albañilería y tarrajeo por lo que se incluyeron en las mediciones.

Entonces en el momento en que se hicieron las mediciones del Nivel General de Actividad se contabilizaron los trabajos de las siguientes partidas:

- Acero
- Encofrado
- Concreto (Vaciado y Acabado)
- Trazo y Replanteo
- Colocación de Viguetas y Bovedillas
- Albañilería
- Tarrajeo
- Instalaciones
- Nivelación

Estudiando las partidas que se observaran al momento de realizar las mediciones se puede obtener una lista de los Trabajos Contributorios y Trabajos no Contributorios correspondientes a cada partida. Sin embargo, al tener varias partidas sería muy complejo manejar todas las actividades de cada partida por lo que se agrupan por similitud para reducir el número de TC y TNC por asignar. Esto se presenta primordialmente en los

Trabajos Contributorios, es por eso que en las mediciones se usan grupos de actividades o actividades a nivel general.

De acuerdo a las partidas pudimos agrupar las actividades en los siguientes TC y TNC.

- Trabajos Contributorios
 - Instrucciones / Lectura de Planos
 - Preparación de materiales y herramientas
 - Transporte
 - Limpieza y Seguridad
 - Soporte (Apuntalamiento, Amarre, etc.)
 - Desencofrado
 - Mediciones
- Trabajos No Contributorios
 - Esperas / Descansos
 - Viajes
 - Búsqueda de materiales
 - Trabajos rehechos
 - Simulación de trabajo

Estos datos se presentan en la plantilla de resumen del NGA, ya que es muy importante saber las consideraciones tomadas en las mediciones.

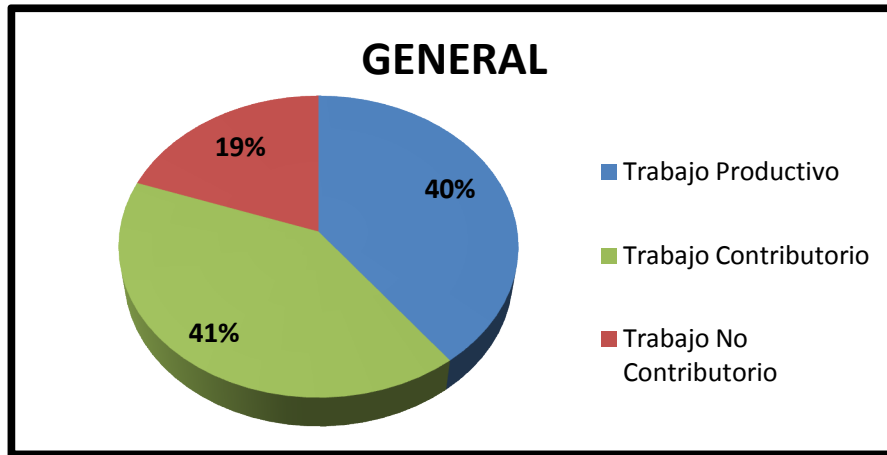


Figura #52 Nivel General de Actividad Proyecto Barranco 360 (Fuente propia) . Ver anexo 1

Como se menciona al inicio de este trabajo uno de los objetivos era comprobar y demostrar que los niveles de productividad encontrados en un proyecto en el cual se aplica la filosofía *Lean Construction* son mayores a otros en los cuales se construye de manera convencional. Una de las maneras de hacer esta comparación es remitiéndonos a la publicación del Ing. Virgilio Ghio (Productividad en obras de construcción. Diagnostico, Crítica y Propuesta. 2001) en la cual se hizo un estudio del estado de la construcción en lima analizando 50 obras de la capital. Además nos compararemos con estándares internacionales como es el caso de Chile y con otras mediciones más actuales que se realizaron como tesis de pre-grado en Lima (Morales y Galeas, 2006), cabe resaltar que los resultados pueden variar según la clasificación de actividades realizada, por lo que se debe tratar de clasificar de la misma manera (o muy similar) a la clasificación realizada para obtener los resultados con los cuales nos queremos comparar.

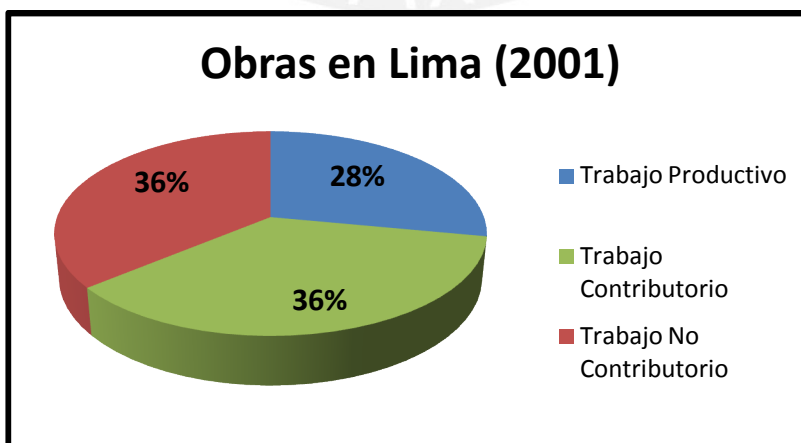


Figura #53 Estadística publicada por Virgilio Ghio sobre 50 obras en lima (2001)

En las primeras estadísticas de ocupación del tiempo o nivel general de actividad que se publicaron para las obras de Lima se obtuvieron los valores mostrados en el gráfico (TP = 28%, TC = 36% y TNC = 36%), lo cual demostraba el pobre estado de la construcción en nuestro país. Tener como nivel promedio de trabajos productivos 28% nos ponía una alerta de que no se estaba siguiendo una metodología adecuada para todo el proceso de construcción, ya que por ejemplo en Chile se registraron niveles de productividad del orden del 38% para 1991, 10 años antes de las mediciones realizadas en Perú.

En esos momentos recién se empezaba a conocer un poco de la filosofía *Lean Construction* y se empezó a difundir en el Perú por medio de la empresa CVG Ingenieros con la finalidad de mejorar el estado de la construcción en todo el país y tratar de emular el crecimiento que se estaba obteniendo en el sector construcción de otros países gracias a la implementación de los conceptos y herramientas que proponía esta nueva filosofía.

Después de unos años el término *Lean Construction* se fue haciendo más conocido en el Perú. Sin embargo, su correcto entendimiento y aplicación es aun limitado hasta en estos días, siendo las empresas del sector inmobiliario las que más se han interesado en adoptar esta filosofía de trabajo.

Con estos avances en el año 2006 se realizaron otras mediciones de ocupación del tiempo para un total de 26 obras en la capital, los resultados obtenidos dan una muestra de mejoría en el sector. Sin embargo seguimos muy distantes de los niveles deseados o niveles internacionales de productividad.

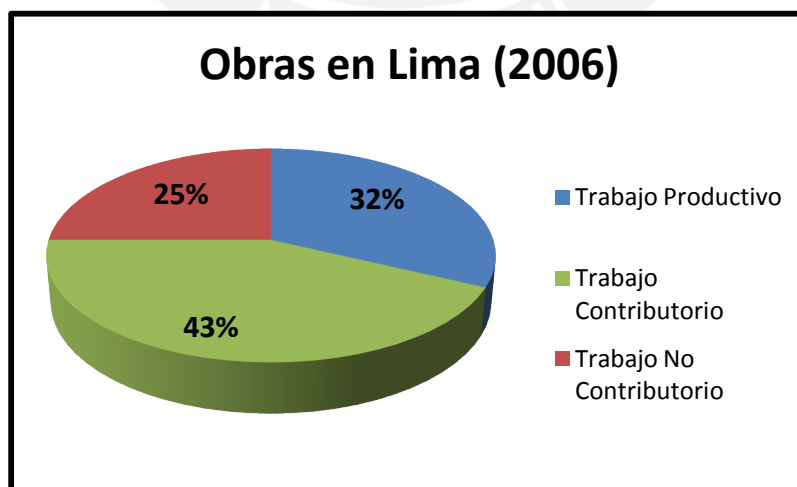


Figura #54 Estadística publicada en tesis de pre-grado PUCP (Morales y Galeas, 2006)

Comparándonos con las mediciones más recientes de nivel general de actividad en obras de Lima podemos ver que se obtuvo un nivel de trabajo productivo del orden del 40%, mientras que en ese entonces se obtuvo como promedio 32%. Adicionalmente observamos que el nivel de trabajo no contributorio obtenido en nuestro proyecto es menor que el promedio de las mediciones realizadas anteriormente, lo cual también ocurre con el trabajo contributorio. En otras palabras se puede apreciar que gracias a la aplicación de las herramientas y conceptos del *Lean Construction* se logra superar los promedios de trabajos productivos incrementando el porcentaje de tiempo que se dedica a las actividades productivas y también se logra obtener niveles de trabajo contributorio y no contributorio más bajos que el promedio de las edificaciones en Lima. Todo esto va de la mano con la filosofía Lean que tiene como finalidad incrementar o potenciar las actividades que agregan valor (TP) y al mismo tiempo disminuir las pérdidas del sistema (TC y TNC)

En el caso de Chile se tienen los siguientes valores promedios:

	TP	TC	TNC
Valores Promedio	47	28	25

Figura #55 Estadística extraída de Productividad en obras de Construcción (Ghio, 2001)

Bajo el supuesto de que las mediciones se realizaron teniendo las mismas consideraciones en cuanto a la definición de los TP, TC y TNC, comparando nuestro proyecto con el promedio obtenido en Chile se puede apreciar que todavía tenemos mucho por mejorar en el trabajo productivo. Sin embargo observamos que se tiene un mejor control del desperdicio, ya que obtuvimos solo 19% de TNC contra el 25% obtenido en Chile. En cuanto al Trabajo contributorio que aunque sea necesario también es considerado como pérdida por los sistemas Lean, se debe tratar de reducirlo y pasar dicho porcentaje al trabajo productivo para llegar a los estándares obtenidos en Chile.

Finalmente Virgilio Ghio decía en su libro que las empresas con trabajos productivos del orden del 20% al 30% pueden pasar fácilmente a niveles de Trabajo productivo del 40% eliminando la grasa superficial que para el caso de la construcción es la sobre dotación de cuadrillas. Entonces con las herramientas que propone la filosofía Lean se puede eliminar dicha grasa superficial y acceder fácilmente a niveles productivos del 40%. Sin embargo, no debemos compararnos con eso y debemos poner en práctica todas las herramientas

para eliminar la llamada grasa interna que aunque es difícil, hacerlo traerá enormes beneficios para los proyectos.

- **Resultados Disgregados**

Tal como se explico en los procedimientos del nivel general de actividad los Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos no Contributorios (TNC) se detallan para asignar una actividad específica y obtener estadísticas de distribución del tiempo dentro de estos dos tipos de trabajo TC y TNC. Realizando dicho proceso se obtuvieron los siguientes resultados.

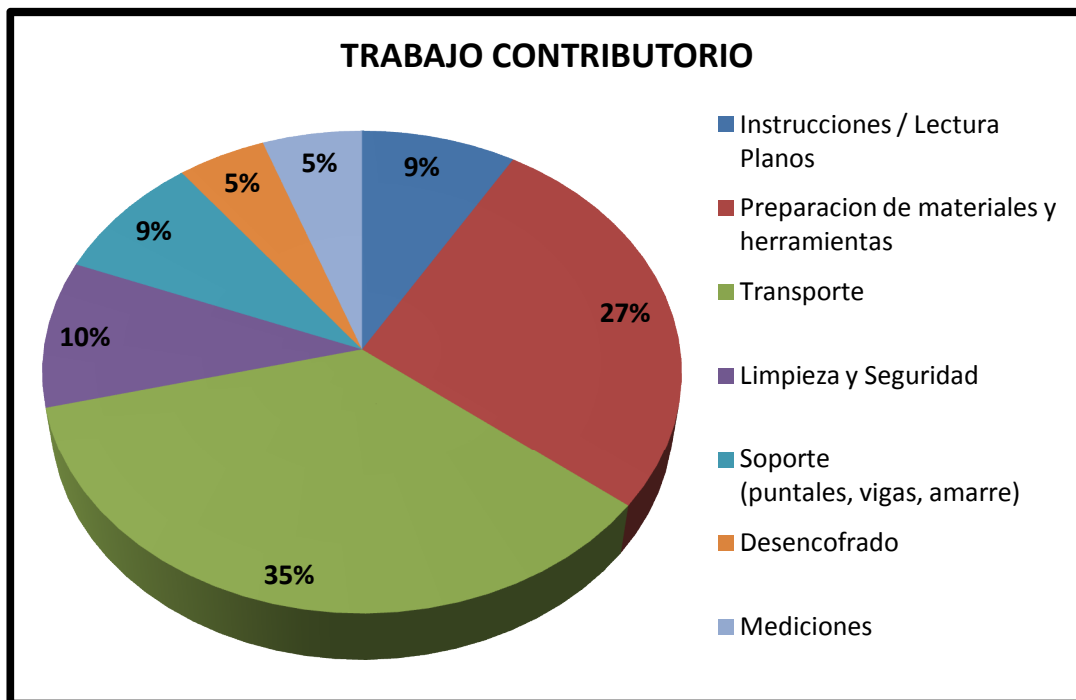


Figura #56 Distribución del tiempo de ocupación entre los trabajos contributorios (Fuente propia)

De este grafico se puede ver que la mayor parte del tiempo ocupado en la realización de trabajos Contributorios es dedicado a las actividades de transporte y preparación de materiales y herramientas con un 35% y 27% respectivamente. Las demás actividades reciben un porcentaje casi similar entre sí para completar el porcentaje restante.

Estos resultados nos sirven para identificar los puntos a mejorar y las actividades que tenemos que atacar para reducir las pérdidas en los trabajos Contributorios, que aunque son trabajos necesarios no agregan valor al producto por lo que se debe reducir a lo mínimo posible. Sin embargo, estos resultados no se pueden usar como puntos de

comparación dentro del país o en el extranjero debido a que la forma de agrupar los trabajos Contributorios depende mucho de cada proyecto y de las partidas que se estén ejecutando en el momento de la medición.

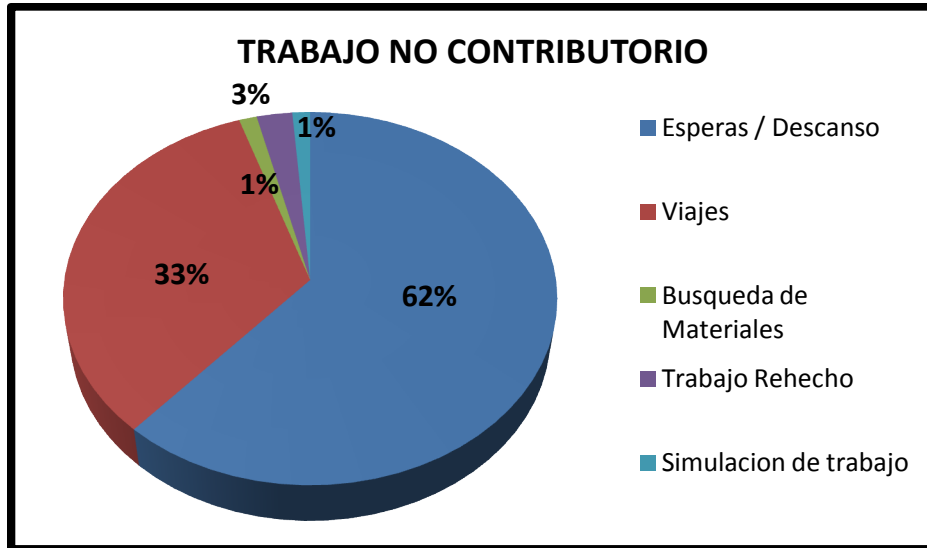


Figura #57 Distribución del tiempo de ocupación entre los trabajos no contributorios (Fuente propia)

En los trabajos no Contributorios los resultados también nos sirven para identificar las principales causas de las pérdidas que se tienen en el proyecto. Para este caso específico se observa que el 62% de los TNC es debido a las esperas y descansos de los trabajadores, estos se juntaron debido a que es muy difícil identificarlos por separado al momento de hacer las mediciones en campo. Por otro lado el 32% se debe a viajes con lo que podemos deducir que para reducir las pérdidas del proyecto tenemos que centrarnos en eliminar los viajes y las esperas. Para lograr reducir las esperas se optó por trabajar con lotes de transferencia menores a los que se iba trabajando hasta el momento y para reducir los viajes se han tomado algunas medidas como el caso de utilizar un baño portátil en el nivel de trabajo para que los obreros no tengan que hacer viajes hasta el primer nivel donde se encuentran los servicios higiénicos.

0.2. Optimización de Procesos

El último paso o procedimiento para lograr un sistema de producción efectivo es la optimización de los procesos que conforman el sistema. Para esto contamos con una con las Cartas de Balance, esta herramienta nos permite analizar cada partida de nuestro

sistema al detalle y obtener resultados que nos lleven hacia una optimización en la productividad y el costo.

El objetivo principal de las cartas de balance es optimizar los procesos, pero hay que hacer un análisis previo para encontrar los procesos en los que el uso de esta herramienta sea más beneficioso para el proyecto.

Para el proyecto Barranco 360 se analizaron 2 partidas, la partida de vaciado de concreto en losas por su incidencia en el presupuesto y la partida de encofrado de vigas por que se estaban obteniendo rendimientos más altos a los presupuestados haciendo que el proyecto incurra en una perdida aproximada de 500 horas hombre hasta el momento de la optimización.

- **Vaciado de Concreto en losas.**

Se decidió analizar esta partida por tener una incidencia grande en el presupuesto de obra y porque se tenían indicios de que se podía obtener conclusiones importantes al realizar la medición de esta partida.

Datos generales

Analizando la partida se pudo dividir las actividades que la conforman en cada grupo de trabajos (TP, TC y TNC) quedando distribuidas de la siguiente manera.

Trabajo Productivo		Trabajo Contributorio		Trabajo No Contributorio	
1	Manejo de Manguera	11	Instrucciones	21	Esperas y Descanso
2	Vibrado del Concreto	12	Lampear	22	Simulación de Trabajo
3	Acabado de Losa	13	Traslado de Manguera	23	Viajes
4	Reglear	14	Nivel	24	
5		15	Traslado de Materiales	25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	

Figura #58 Distribución de trabajos de la partida (Fuente propia)

Las mediciones se realizaron sobre una cuadrilla conformada por 7 personas (2 operarios, 1 oficial y 4 ayudantes), la cual se detalla a continuación.

Vaciado de Concreto Horizontal			
Cargo	Nombre	Cargo	Nombre
Ayudante (manguera)	Jorge Manihuari	Operario (regla)	Juan Aquino Villar
Oficial (vibrado)	Mauro Mena	Operario (regla y nivel)	Victor Pizarro
Ayudante (lampa)	Luis Mendoza		
Ayudante (lampa)	José Acuña Delgado		
Ayudante (lampa y acabado)	Félix Tacuche		

Figura #59 Trabajadores de la cuadrilla estudiada (Fuente propia)

Resultados Generales

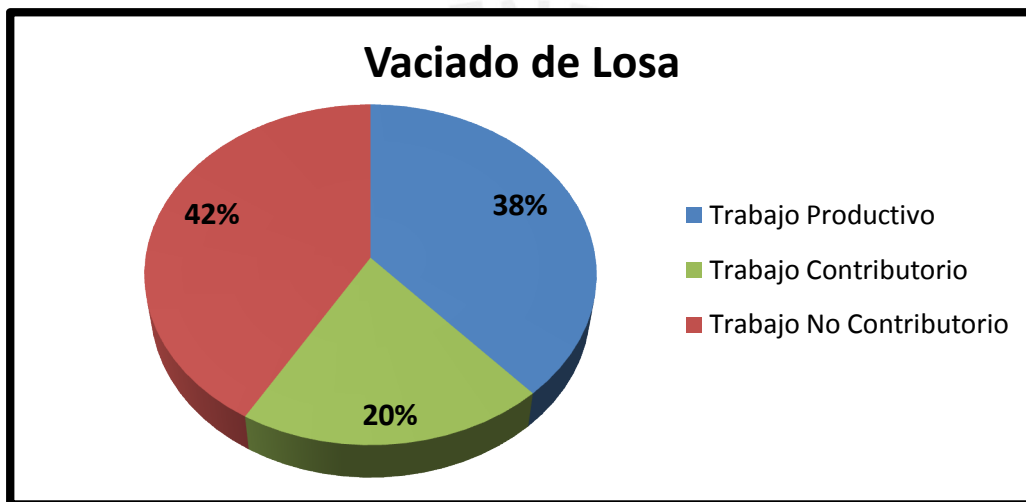


Figura #60 Porcentajes de ocupación del tiempo (Fuente Propia)

A nivel de toda la partida se obtuvieron valores que nos daban evidencia clara de que se tenía mucho para optimizar en esta partida, en especial por obtener un nivel de Trabajo no Contributorio del 42%, este valor es mas de el doble del promedio obtenido en la obra mediante el nivel general de actividad por lo que se tiene una brecha muy amplia por reducir.

Una vez identificado que el problema está en el porcentaje elevado de Trabajo no Contributorio se analizan los resultados individuales del nivel general de actividad buscando la manera correcta para optimizar el proceso.

Resultados Individuales:

Se muestra los resultados obtenidos de las mediciones para cada trabajador.

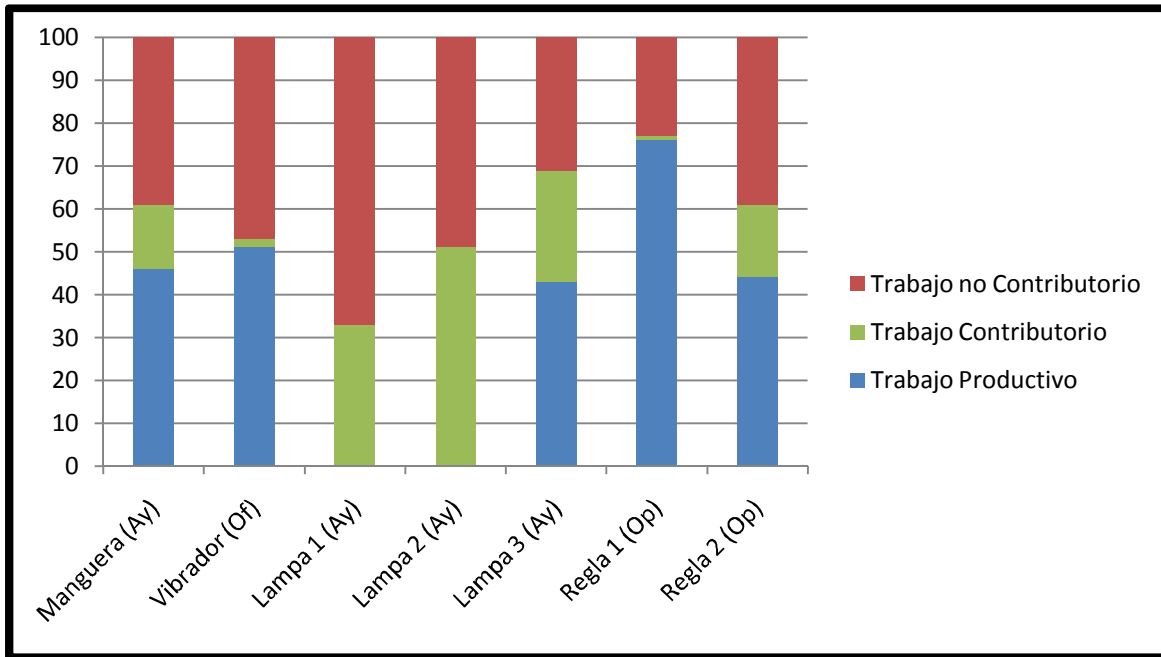


Figura #61 Porcentajes de ocupación del tiempo de la cuadrilla (Fuente Propia)

Conclusiones:

Observando los resultados individuales de los obreros que integran la cuadrilla analizada se puede observar que todos los obreros presentan porcentajes altos de Trabajos no Contributorios (TNC), lo cual es un indicador de que existen factores externos que influyen negativamente en la productividad de la cuadrilla. El factor más influyente que se observo para esta partida es la demora que existe en reanudar el vaciado ante el cambio de mixers, lo cual origina esperas de toda la cuadrilla para continuar con el vaciado.

Se puede apreciar que 5 de los 7 obreros presentan un alto nivel de trabajo productivo que va desde el 43% hasta el 76%, mientras que 2 ayudantes tienen 0% de Trabajo Productivo. Los 5 obreros que presentan trabajos productivos también tienen un alto porcentaje de TNC (del 23% al 47%) por lo que a pesar de tener un alto nivel de TP se tiene que distribuir mejor el trabajo entre estas personas. Sin embargo, el punto crítico de la partida lo tenemos en los 2 obreros restantes que poseen porcentajes de TNC del 49% y 67%, lo cual nos demuestra que la cuadrilla está claramente sobredimensionada aunque según los rendimientos obtenidos se esté por el promedio del sector.

Vaciado Convencional



Figura #62 Procedimiento de Vaciado de Losas observado en el análisis de la partida (Fuente Propia)

Analizando estos resultados se concluyó que se podría optimizar la partida reduciendo el personal que no aportaba valor y que el mismo trabajo podría ser realizado por 5 personas con un procedimiento y los recursos adecuados o por 6 personas como máximo en otras condiciones. Con esto se logró incrementar considerablemente la productividad ya que se mantenía la producción diaria disminuyendo las horas hombre utilizadas.

Debido a las características del proyecto la optimización de reducción del personal de la cuadrilla se realizó en 2 partes cada una con un procedimiento distinto de vaciado.

Procedimiento 1:

Se realizó este procedimiento para los 2 sectores interiores del edificio debido a que no se podía realizar el vaciado con pluma debido a la distancia desde el frente. Para estos 2 sectores se seguía el procedimiento convencional de vaciado que mostramos en la página anterior, pero se redujo el número de obreros de la cuadrilla a 6 con lo cual según el análisis era suficiente para realizar todo el vaciado. En la siguiente imagen se ilustra la disposición de la cuadrilla durante el vaciado de losa después de la optimización.

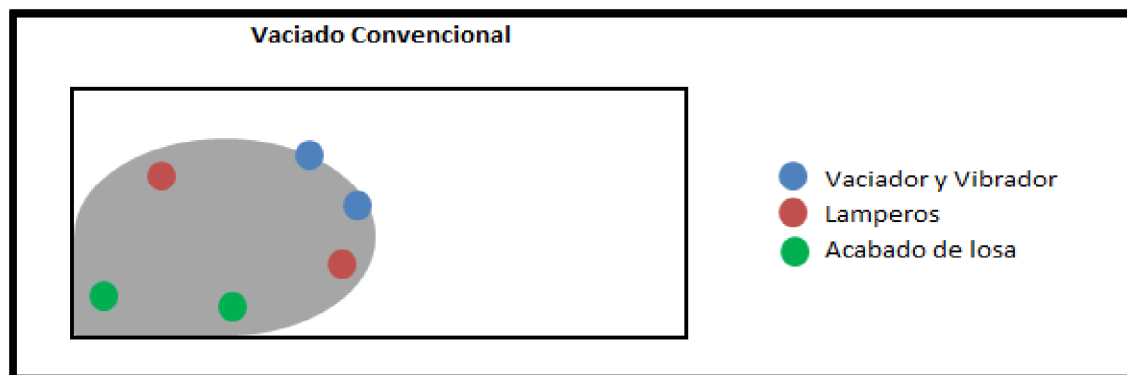


Figura #63 Disposición de obreros después de la optimización procedimiento 1 (Fuente Propia)

Procedimiento 2:

Este procedimiento se realizó para los 2 sectores del frente del edificio y con esto se logró reducir la cuadrilla necesaria para el vaciado de losa de 7 personas a 5, esto se logró gracias al uso de la pluma para el vaciado del concreto y siguiendo un procedimiento que optimiza al máximo la productividad en esta actividad. La cuadrilla necesaria para realizar este procedimiento consta de 1 ayudante que maneja la manguera, 1 oficial de vibrado, 1 lampero, 1 de acabado de losa y una persona que ayudaría principalmente en el lampeado y acabado de losa.

La esencia de este procedimiento es el vaciado de losas por franjas de 2 metros, al realizar el vaciado de esta manera se disminuye la necesidad de lampeadores porque el ayudante que maneja la manguera dejaría la franja casi lista para los regleadores, asimismo por el frente de trabajo se necesitarían menos hombres para el acabado de losa y se realizaría la partida de manera mucho más eficiente. En la siguiente imagen se ilustra el procedimiento mencionado y la disposición de los integrantes de la cuadrilla durante el vaciado.

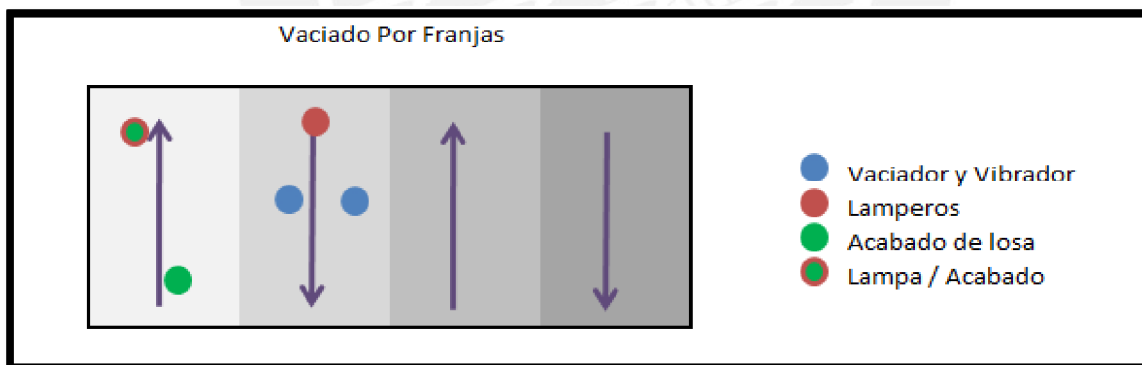


Figura #64 Disposición de obreros después de la optimización procedimiento 1 (Fuente Propia)

- **Encofrado de Vigas.**

Se escogió esta partida debido a que cuando se decidió realizar las mediciones de Cartas de Balance se tenía esta partida como la más crítica de la obra en cuanto a las horas hombre perdidas.

Datos generales

La partida de encofrado es por definición una actividad que no agrega valor al proceso de construcción por lo que no debería tener trabajos productivos en el proceso. Sin embargo, para efectos de este análisis se consideraron como productivas las actividades que marcan una diferencia notoria en el proceso de encofrado y que por lo tanto son necesarias para poder realizar las siguientes partidas como el vaciado de vigas. La distribución de las actividades que conforman la partida se muestra en la siguiente imagen.

Trabajo Productivo		Trabajo Contributorio		Trabajo No Contributorio	
1	Colocacion de Encofrado	11	Instrucciones / Lectura de planos	21	Esperas
2	Nivelado	12	Preparacion de materiales	22	Descanso
3	Aplomado	13	Transporte	23	Simulacion de Trabajo
4	Colocacion de vigas de soporte	14	Amarrado	24	Trabajo Rehecho
5	Colocacion de Puntales y Tripode	15	Desencofrado	25	Viajes
6		16	Mediciones	26	Busqueda de Material
7		17	Seguridad y Limpieza	27	
8		18	Colocacion de tacos	28	
9		19		29	
10		20		30	

Figura #65 Distribución de los trabajos de la partida (Fuente Propia)

Las partidas de encofrados en general se realizan con cuadrillas basadas en parejas (1 operario y 1 ayudante), para el caso del encofrado de vigas se tenía un número de parejas mayores a lo que se podía analizar por lo que se tomo una muestra de 4 parejas para analizarla quedando entonces con un total de 8 personas.

Encofrado de Vigas			
Cargo	Nombre	Cargo	Nombre
Operario 1	Marcos Rivas	Ayudante 3	Jose Rodriguez
Ayudante 1	Jian Carlos Guzman	Operario 4	Julio Mina
Operario 2	Carlos Espinoza	Ayudante 4	Diego Adrianzen
Ayudante 2	Johan Aquino		
Operario 3	Evaristo Diaz		

Figura #66 Trabajadores de la cuadrilla estudiada (Fuente propia)

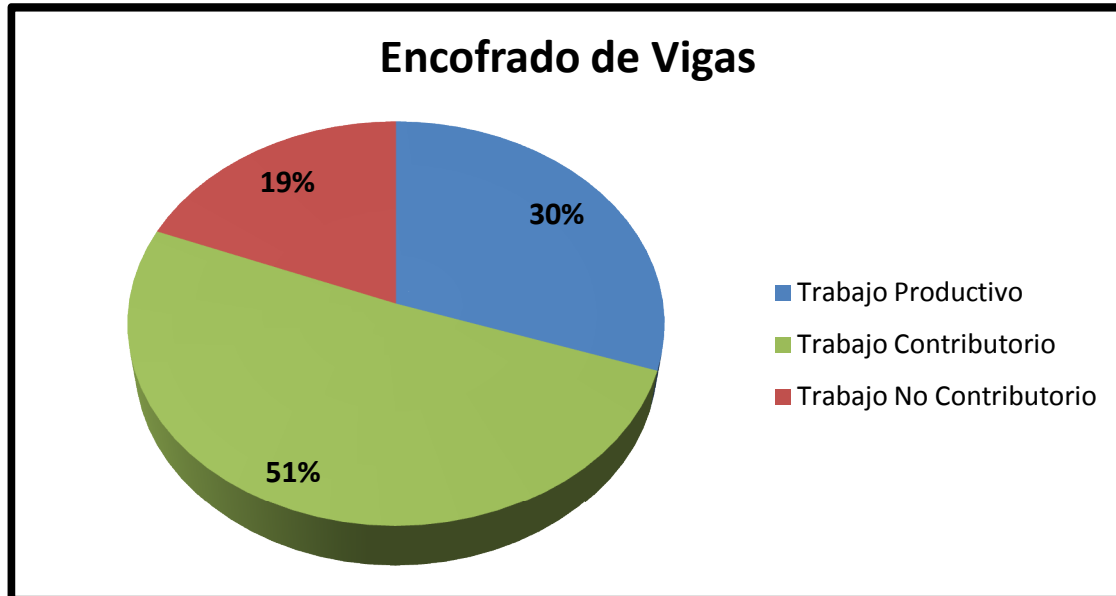
Resultados generales:

Figura #67 Disposición de obreros después de la optimización procedimiento 1 (Fuente Propia)

A nivel general en la partida se observó que los porcentajes de TNC estaban en el promedio de la obra que es del 19%, al ser este un valor no muy elevado las principales optimizaciones que se harían no podrían reducir mucho de este valor como si lo podrían hacer de los TC que para esta partida llegan al 51%. La meta que buscaríamos para esta partida sería transformar el mayor porcentaje posible de TC en TP y poder llegar por lo menos al 40% que se tiene como promedio de la obra. Sin embargo, dada la naturaleza de la partida que se menciono anteriormente llegar a un nivel del 40% de TP sería algo muy dificultoso.

Resultados Individuales:

Se mostrara el resultado obtenido de cada integrante de la cuadrilla con la finalidad de poder observar con claridad una oportunidad de mejora para la partida. Los resultados más detallados de cada obrero se mostraran en los anexos de este trabajo (Anexo 1).

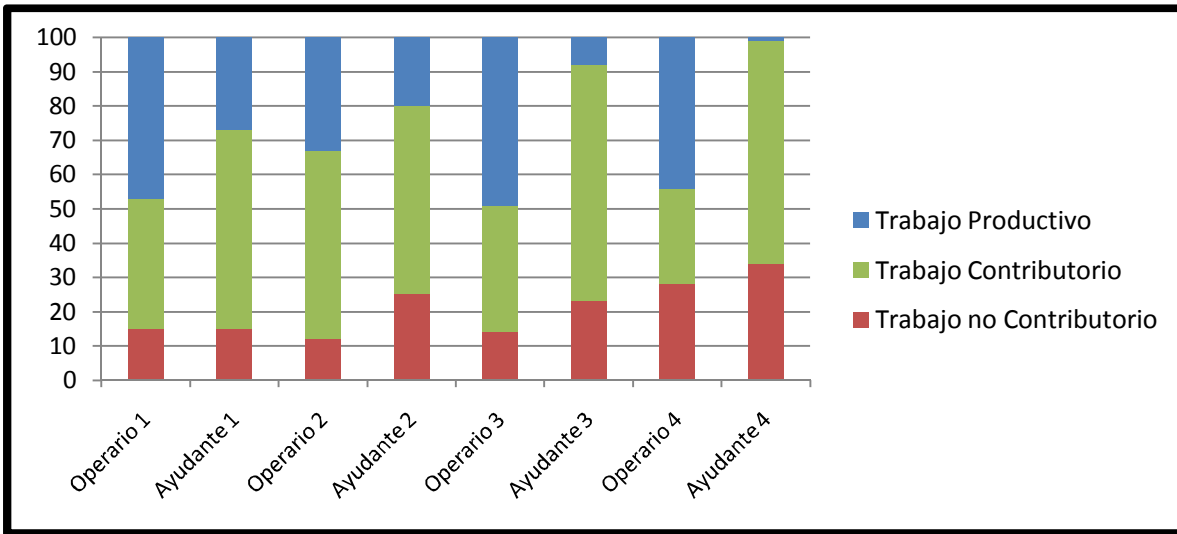


Figura #68 Porcentajes de ocupación del tiempo individual de la cuadrilla encofrado de vigas (Fuente Propia)

Conclusiones:

De los resultados colectivos e individuales se podía apreciar que la mayor parte del tiempo la cuadrilla lo dedica a realizar trabajos Contributorios (51%) que es lo que buscaremos reducir con la optimización, para eso se analizara el detalle de los TC mostrados a continuación.

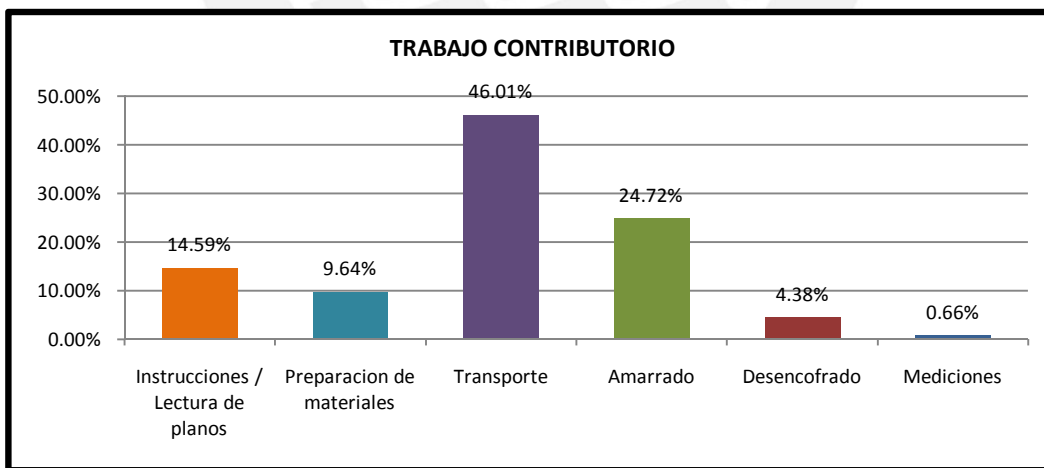


Figura #69 Distribución de los trabajos contributorios (Fuente Propia)

De los trabajos Contributorios el 46% se dedica al transporte es decir el 23% del tiempo total dedicado al encofrado se gasta transportando materiales, es decir cada hombre le dedica 2 horas al día solo al transporte. Para esta partida se decidió reasignar a 2

ayudantes al desencofrado de vigas para que todo el material desencofrado pueda ser transportado con ayuda de la grúa y así los operarios no se vean en la necesidad de realizar este proceso.

Cabe resaltar que el desencofrado era una de las principales actividades que retrasaban a los operarios de sus labores, ya que al no tener materiales tenían que ir en búsqueda y desencofrar las vigas ya vaciadas. Sin embargo, esto no se pudo trasladar a la medición debido a que salían de la zona de trabajo de los demás integrantes de la cuadrilla.

0.3. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)

El sistema del último planificador (LPS) tiene la necesidad de medir el desempeño de cada plan de trabajo semanal para poder estimar la confiabilidad de todo el proceso de planificación y programación en el proyecto. Los indicadores son una buena forma de ver que tanto ha influido la implementación del sistema en la obra. Esta medición, que es el primer paso para aprender de las fallas e implementar mejoras, se realiza a través del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC). El PPC evalúa entonces hasta qué punto el sistema del último planificador fue capaz de anticiparse al trabajo que se hará en la semana siguiente. Es decir, compara lo que se desea hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente se hizo, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación para nuestra obra en particular, ya que los resultados del PPC dependen exclusivamente de las condiciones de implementación de cada obra y de la capacidad de anticiparse a los hechos a través de las programaciones.

En la práctica para muchos resulta sorprendente descubrir que la mayoría de veces solo una fracción menor de lo planificado se cumple. Según estudios realizados en Chile en algunos proyectos el cumplimiento promedio ha sido ligeramente superior al 50% de lo programado y en ocasiones en ciertos periodos no ha sobrepasado el 30%. El problema de la planificación tradicional es que, a pesar de que se sabe que muchas actividades no se cumplen, se proyecta como si todas las tareas se fueran a desarrollar, por lo que la productividad colapsa en cadena cuando alguna actividad clave no se logra²²

La experiencia recogida hasta la fecha ha demostrado, que si se incrementa sistemáticamente el nivel de cumplimiento de la planificación, es posible lograr un

²² Información extraída del texto Planificación y Control de Producción Para la Construcción: Sistema del Último Planificador. L. Alarcón

significativo aumento en la productividad y desempeño general del proyecto. La explicación de estos mejoramientos, es que por medio de un mejor cumplimiento de la planificación, se logra estabilizar el ambiente de trabajo del proyecto, lo que genera un ciclo virtuoso que permite que la producción se realice en forma continua, sin interrupciones y en forma eficiente.

Para obtener el PPC se necesita obtener el número de actividades completadas y el número de actividades programadas en la semana, es por esto que el PPC se realiza para cada programación semanal del proyecto teniendo un resultado por semana a lo largo del proyecto, lo cual genera un resultado acumulado del PPC al final de la obra.

$$\text{PPC}(\%) = \frac{\sum \text{Número de actividades completadas}}{\sum \text{Número de actividades programadas}}$$

Para elaborar el PPC de la semana se empieza por insertar la programación semanal que será con la que nos compararemos al finalizar la semana para ver el porcentaje de cumplimiento. Una vez finalizada la semana se revisa si se realizó exactamente lo que se programó, esta programación no debe ser por metrados sino por sectores, o grupos de actividades. A cada actividad programada en la semana se le debe asignar una calificación si es que se cumplió en su totalidad o no siendo 100% y 0% los puntajes respectivos. En algunos casos se usa porcentajes de cumplimiento diario por lo que en la semana se podría obtener porcentajes entre 0 y 100% para una actividad. Sin embargo, el análisis debe hacerse con la semana completa para poder tener resultados comparables con los de otros países donde se mide siguiendo dicho criterio (Chile, Colombia, Brasil, etc.).

Las actividades que no se hayan cumplido en su totalidad tienen una razón por la cual no se realizó, estas son las causas de incumplimiento que se analiza para todas estas actividades buscando que al pasar las semanas se tenga resultados claros de los puntos en los que se está fallando para entrar al proceso de mejora continua. Finalmente se hace un conteo de las actividades realizadas en su totalidad y se divide en el total de programadas teniendo como resultado el PPC semanal.

Para poder entender mejor lo que se explicó en el párrafo anterior a continuación se colocará una vista del formato utilizado para obtener el PPC y otras medidas de referencia para la obra como el porcentaje de avance.

PORCENTAJE DEL PLAN COMPLETADO											EDIFICA																															
NOMBRE DE PROYECTO			AREA / DPTO		EDIFICACIONES						FECHA																															
BARRANCO 360											sábado 12 de mayo de 2012																															
CODIGO DE PROYECTO			PROPIETARIO		UBICACION																																					
15			EDIFICA CONSTRUCTORES SAC		AV. SAN MARTIN 625																																					
Descripción de la Actividad	Und	Metrado Programado	Metrado Realizado	SEMANA 23							ANALISIS DE INCUMPLIMIENTO																															
				Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	SI	NO	TIPO	CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	MEDIDA CORRECTIVA																												
ESTRUCTURA TORRE																																										
ACERO DE VERTICALES	sector	5.00	4.00	2C	2D	3A	3B	3C				X	LOG	EL ACERO DIMENSIONADO NO LLEGO A OBRA	SE HABILITO ACERO EN OBRA, UTILIZANDO EL																											
ENCOFRADO DE VERTICALES	m2	500.00	400.00	2B	2C	2D	3A	3B				X	LOG	EL ACERO DIMENSIONADO LLEGO A OBRA	EL ACERO DIMENSIONADO DEBE DE CUMPLIR																											
CONCRETO EN VERTICALES	m3	52.00	42.00	2B	2C	2D	3A	3B				X	LOG	LA CUADRILLA DE ENCOFRADO NO LOGRO	EL ACERO DIMENSIONADO DEBE DE CUMPLIR																											
ENCOFRADO DE FONDOS Y COSTADOS DE VIGAS	m2	200.00	160.00	2A	2B	2C	2D	3A				X	LOG	LA CUADRILLA DE ENCOFRADO DE VIGAS SE	EL ACERO DIMENSIONADO DEBE DE CUMPLIR																											
ACERO DE VIGAS	sector	5.00	4.00	2A	2B	2C	2D	3A				X	PROG	EL ACERO DIMENSIONADO QUE LLEGO A	SE ENVIO UNA LISTA DE REQUISITOS																											
ENCOFRADO DE LOSA	m2	575.00	460.00	2A	2B	2C	2D	3A				X	PROG	LA CUADRILLA DE ENCOFRADO DE LOSA NO	SE ENVIO UNA LISTA DE REQUISITOS																											
COLOCACION DE VIGUETAS PRETENSADAS Y LADRILLO BOVEDILLA	m2	575.00	575.00	1D	2A	2B	2C	2D				X																														
COLOCACION DE ISS. Y IEE.	sector	5.00	5.00	1D	2A	2B	2C	2D				X																														
CONCRETO DE LOSA / ACABADO DE LOSA	m3	80.00	80.00	1C	1D	2A	2B	2C				X																														
TARRAJEO - REYOQUES Y ENLUCIDO																																										
INSTALACION DE ANDAMIOS - TARRAJEO CIELO RASO	sector	5.00	5.00	S1A	S1E	1A	1B	1C				X																														
TARRAJEO DE CIELO RASO	m2	575.00	575.00	S2E	S1D	S1E	1A	1B				X																														
SOLAQUEO DE COSTADO DE VIGAS	m2	160.00	160.00	S2D	S1C	S1D	S1E	1A				X																														
SOLAQUEO DE PLACAS Y COLUMNAS	m2	120.00	120.00	S2C	S2D	S1C	S1D	S1E				X																														
ANALISIS DE CONFIABILIDAD SEMANAL (EN %)											8	5	% AVANCE		91%																											
											62%	38%																														
<table border="1"> <tr><td>PROG</td><td>PROGRAMACION</td><td>2</td></tr> <tr><td>LOG</td><td>LOGISTICA</td><td>3</td></tr> <tr><td>QA/QC</td><td>CONTROL DE CALIDAD</td><td></td></tr> <tr><td>EXT</td><td>EXTERNOS</td><td></td></tr> <tr><td>SUP/CLI</td><td>SUPERVISION / CLIENTES</td><td></td></tr> <tr><td>EJEC</td><td>ERRORES DE EJECUCION</td><td></td></tr> <tr><td>SC</td><td>SUBCONTRATOS</td><td></td></tr> <tr><td>EQ</td><td>EQUIPOS</td><td></td></tr> <tr><td>ADM</td><td>ADMINISTRATIVOS</td><td></td></tr> </table>											PROG	PROGRAMACION	2	LOG	LOGISTICA	3	QA/QC	CONTROL DE CALIDAD		EXT	EXTERNOS		SUP/CLI	SUPERVISION / CLIENTES		EJEC	ERRORES DE EJECUCION		SC	SUBCONTRATOS		EQ	EQUIPOS		ADM	ADMINISTRATIVOS						
PROG	PROGRAMACION	2																																								
LOG	LOGISTICA	3																																								
QA/QC	CONTROL DE CALIDAD																																									
EXT	EXTERNOS																																									
SUP/CLI	SUPERVISION / CLIENTES																																									
EJEC	ERRORES DE EJECUCION																																									
SC	SUBCONTRATOS																																									
EQ	EQUIPOS																																									
ADM	ADMINISTRATIVOS																																									
ELABORADO POR:			APROBADO POR:						FIRMA:																																	
Ing. Arturo Pineda			Ing. Rolando Ojeda																																							

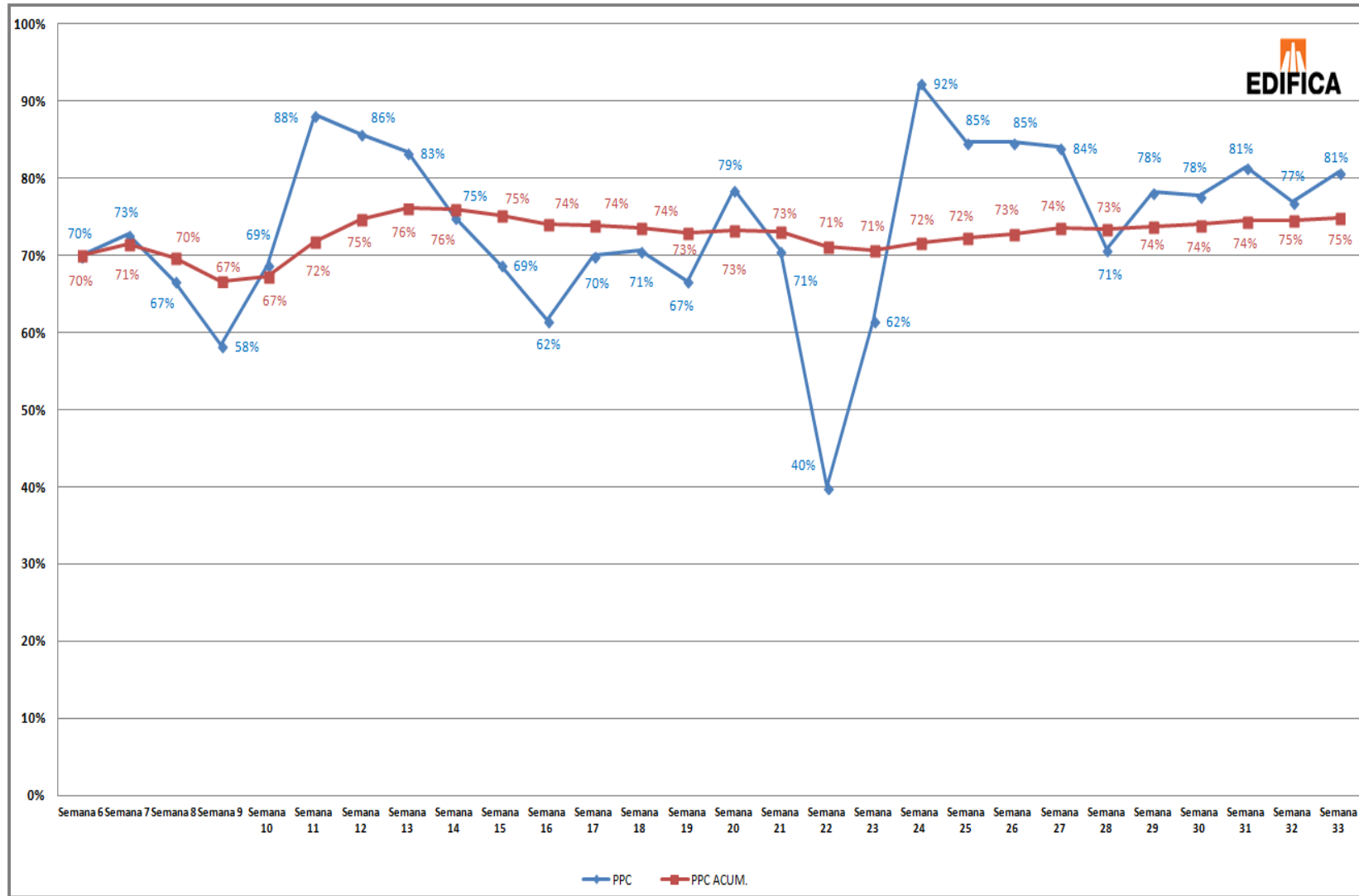
Figura #70: Formato de análisis de confiabilidad PPC (Fuente Propia con los datos de la semana #23 de la obra)

Luego de observar la forma en la que se elaboran los PPC en la empresa nos centramos en los resultados que se obtuvieron en este proyecto con la implementación de *Lean Construction* y sus herramientas en especial el Last Planner System. En este caso solo se evaluara los resultados obtenidos hasta el fin de la etapa de casco correspondiente a la semana 33 de la programación de obra.

PPC ACUMULADO				
Semanas	Actividades Realizadas	Actividades No Cumplidas	PPC	PPC ACUM.
Semana 6	7	3	70%	70%
Semana 7	8	3	73%	71%
Semana 8	8	4	67%	70%
Semana 9	7	5	58%	67%
Semana 10	11	5	69%	67%
Semana 11	15	2	88%	72%
Semana 12	18	3	86%	75%
Semana 13	15	3	83%	76%
Semana 14	15	5	75%	76%
Semana 15	11	5	69%	75%
Semana 16	8	5	62%	74%
Semana 17	7	3	70%	74%
Semana 18	12	5	71%	74%
Semana 19	14	7	67%	73%
Semana 20	11	3	79%	73%
Semana 21	12	5	71%	73%
Semana 22	6	9	40%	71%
Semana 23	8	5	62%	71%
Semana 24	12	1	92%	72%
Semana 25	11	2	85%	72%
Semana 26	11	2	85%	73%
Semana 27	21	4	84%	74%
Semana 28	17	7	71%	73%
Semana 29	18	5	78%	74%
Semana 30	21	6	78%	74%
Semana 31	22	5	81%	74%
Semana 32	20	6	77%	75%
Semana 33	21	5	81%	75%

Figura #71 PPC semanales para la etapa de casco. Fuente: Edifica

En la tabla mostrada tenemos los PPC de cada semana durante la etapa de casco y el PPC acumulado para tener una idea del nivel de acierto en la programación durante toda la obra, para poder observar con mayor facilidad las fluctuaciones en los resultados obtenidos en el PPC se mostrara un grafico en el cual se observa las curvas de PPC y PPC acumulado y su variación en el tiempo.



Figuras #72 PPC Semanal y PPC acumulado (Fuente EDIFICA)

Como se puede apreciar en los gráficos en un total de 24 semanas se obtuvo un porcentaje de cumplimiento igual o mayor a 67%, con lo cual podemos decir que en el 86% de las semanas nuestro PPC fue igual o superior a 67%. Nos centramos en estos números debido a que Ballard indica que 1/3 de las veces no se cumple lo planificado para el lapso de una semana, si esto se analiza por cada actividad tendríamos que 2 de 3 actividades programadas se cumplen, lo cual representa un PPC del 67%. Entonces según los estudios de Ballard estos serían los niveles medios de PPC en empresas que empiezan a meterse en la filosofía *Lean Construction*. En tal sentido se comprueba que en nuestro proyecto se obtienen valores que reflejan una mejora con la aplicación de las herramientas Last Planner.

También se puede apreciar que en ninguna semana se logró realizar el total de las actividades programadas, pero se alcanzaron niveles de hasta 92% en el PPC. El porcentaje mayor obtenido nos da una idea de cómo se está programando en la obra, es decir puede ser sencillo obtener porcentajes de hasta 100% en el PPC si la programación semanal no está tan ajustada. Sin embargo, el hecho de que se tenga porcentajes perfectos de cumplimiento durante varias semanas nos daría a pensar que se está programando una cantidad de trabajo menor a la que se puede realizar. Por tal motivo, programando cantidades de trabajo adecuadas la tendencia es a estar un poco por debajo del 100% de cumplimiento.

Teniendo en consideración las 28 semanas que estamos analizando se obtiene un PPC acumulado al final de este periodo de 75% lo que refleja los buenos resultados que se fueron obteniendo semana a semana durante la ejecución de la obra y las mejoras que viene haciendo la empresa respecto a obras anteriores en las que no se alcanzaba tal nivel de cumplimiento.

1.1.1. Causas de incumplimiento

La construcción es una industria que posee niveles muy altos de variabilidad que hacen que no siempre se puedan ejecutar las tareas planeadas, para reducir las incidencias de la variabilidad se ha implementado nuevas metodologías de planeamiento como el Last Planner System logrando muy buenos resultados en los proyectos que lo usaron, pero a pesar de que este sistema mejora la confiabilidad de las programaciones no puede reducir completamente las incidencias de la variabilidad en la construcción.

Las causas de incumplimiento buscan minimizar aun mas los efectos negativos de la variabilidad remitiéndose a la forma en que esta actúa contra nuestras programaciones o en otras palabras al motivo de porque una actividad no fue completada con éxito cuando fue programada. Tener conocimiento de las causas de incumplimiento de cada actividad servirá para elaborar un cuadro estadístico en el cual se pueda revelar los principales problemas de la obra que causaron que las actividades no se realicen con éxito en su momento.

Una vez obtenida la información estadística de las causas de incumplimiento se usa en el proceso de mejora continua o lecciones aprendidas, según el cual nos centramos en evitar o solucionar los indicadores de variabilidad que causaban incumplimiento de nuestras actividades, para esto cabe mencionar que en la mayoría de los casos un gran porcentaje de incumplimientos es causado por un pequeño grupo de problemas, los cuales se tratara de solucionar para mejorar el PPC según se vaya avanzando el proyecto o para proyectos futuros.

Para poder crear una base estadística de las principales causas de incumplimiento se empieza por crear un catalogo de causas de incumplimiento juntando las causas en grupos que representan el área en que se origino el problema y por consiguiente el responsable de minimizarlas o de ser posible eliminarlas.

Los grupos en los que se distribuyen las causas de incumplimiento son:

CATÁLOGO DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO				
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	PROGRAMACION (PROG)	LOGISTICA (LOG)	CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)	EXTERNOS (EXT)
DESCRIPCION	Todas las causas que implican: *Errores o cambios en la programación. *Inadecuada utilización de las Herramientas de Programación. *Mala asignación de recursos. *Cualquier restricción que no fue identificada de manera oportuna.	Todas las causas que implican: *Falta de equipos, herramientas o materiales en obra, que han sido requeridos oportunamente por Producción.	Todas las causas que implican: *La entrega oportuna de información a producción (planos, procedimientos, etc) *Cambios o errores en la ingeniería durante el desarrollo de las actividades del Plan Semanal.	Todas las causas que implican: *Retrasos por razones climáticas extraordinarias. *Eventos extraordinarios como marchas sindicales sin previo aviso, huelgas, accidentes, etc.
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	CLIENTE/SUPERVISIÓN (CLI)	ERRORES DE EJECUCIÓN (EJEC)	SUBCONTRATAS (SC)	
DESCRIPCION	Todas las causas que implican Responsabilidad del Cliente (Falta de información, cambio de prioridades, cambios o errores en la ingeniería, falta de liberación de estructuras, etc).	Se consideran las causas que corresponden a atrasos debido a retrabajos en el proceso constructivo, es decir que por errores de ejecución no se pudieron cumplir otras actividades programadas.	En este punto se consideran todas las causas de incumplimiento relacionadas a la falla en la entrega de algún recurso subcontratado o al atraso debido al no cumplimiento de alguna labor encargada a una subcontrata.	
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	EQUIPOS (EQ)	ADMINISTRATIVOS (ADM)		
DESCRIPCION	Todas las causas que implican averías o fallas en los equipos que no permitieron el cumplimiento de las actividades del Plan Semanal. Están incluidos los mantenimientos no programados de equipos.	Todas las causas que implican: *No llegada del personal especializado (Incluido subcontratos). *Falta de permisos y licencias.		

Figura #73 Catalogo de causas de incumplimiento (Fuente: Edifica)

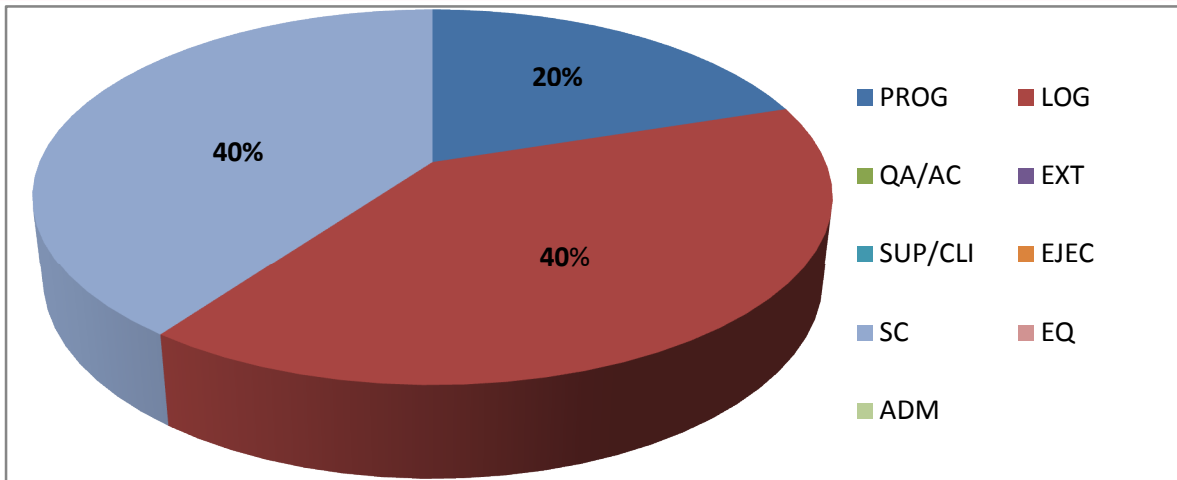
Una vez realizado el catalogo de causas de incumplimiento se procede a clasificar en los grupos establecidos cada uno de los problemas que impidieron que se completen las actividades, esto se realiza en el formato de PPC semanal mostrado anteriormente (Figura # 68 Formato para la elaboración del PPC y Análisis de cumplimientos)

Después de clasificar las causas de no cumplimiento para cada actividad en el formato del PPC, se obtiene automáticamente la cantidad de causas de incumplimiento correspondiente a cada grupo y a partir de estos datos un cuadro estadístico de la semana.

PROG	PROGRAMACION	1
LOG	LOGISTICA	2
QA/AC	CONTROL DE CALIDAD	
EXT	EXTERNOS	
SUP/CLI	SUPERVISION / CLIENTES	
EJEC	ERRORES DE EJECUCION	
SC	SUBCONTRATOS	2
EQ	EQUIPOS	
ADM	ADMINISTRATIVOS	

Figura #74 Conteo de Causas de Incumplimiento (Fuente: Edifica)

Cabe resaltar que el resultado semanal no necesariamente refleja lo que pasa en toda la obra, sino en una programación en particular como en este caso en que las causas de incumplimiento solo pertenecen a 3 de los 9 grupos existentes en el catalogo de causas de incumplimiento. Sin embargo, puede darse el caso que en otra semana las causas de incumplimiento sean totalmente distintas a las de esta semana. Es por eso que estos datos son solo referenciales y para sacar conclusiones se utiliza el acumulado. También es importante mencionar que la cantidad de veces que se repite una causa de incumplimiento no está ligada al impacto que se tenga en el proyecto, puede haber una causa de incumplimiento única que afecte de gran manera al proyecto ya sea en costo o plazo.



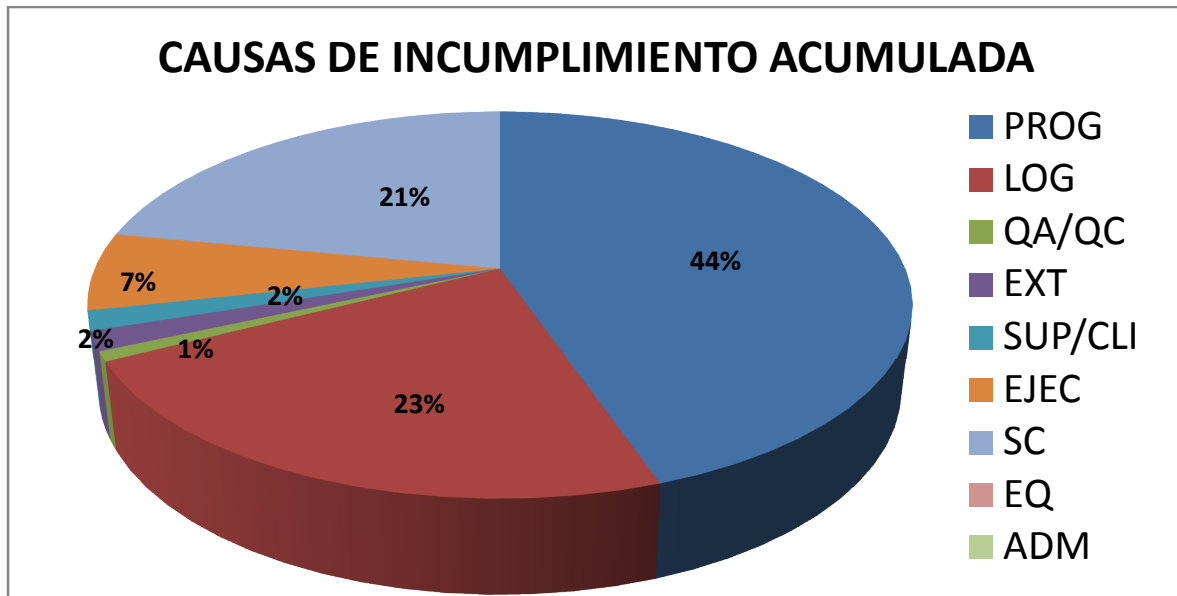
Figuras #75 Tomadas del Formato de PPC y Análisis de cumplimiento Semana 32
(Fuente Edifica)

Este procedimiento se realiza todas las semanas con cada programación semanal y se va formando un nuevo cuadro en el cual se van registrando los resultados semanales de las causas de incumplimiento para que al final de la obra tengamos una estadística más fiable de las principales causas de incumplimiento. Para obtener los resultados acumulados utilizamos un cuadro que abarca todas las semanas de la obra en el cual se colocan los resultados semanales de causas de incumplimiento con el fin de generar un grafico total del proyecto.

SEMANAS	PROG	LOG	QA/QC	EXT	SUP/CLI	EJEC	SC	EQ	ADM
Semana 6	2	1							
Semana 7							3		
Semana 8	1	3							
Semana 9	2			1			2		
Semana 10	4			1					
Semana 11	2								
Semana 12	1						2		
Semana 13	3								
Semana 14	1					4			
Semana 15	2					3			
Semana 16	4					1			
Semana 17	3								
Semana 18	2	3							
Semana 19	5						2		
Semana 20		3							
Semana 21	2	3							
Semana 22	5	4							
Semana 23	2	3							
Semana 24	1								
Semana 25					2				
Semana 26	1	1							
Semana 27	2						2		
Semana 28	3						4		
Semana 29	1	2					2		
Semana 30		2					4		
Semana 31	2	3							
Semana 32	2		1				3		
Semana 33	2						3		
Total	55	28	1	2	2	8	27		
Porcentaje	45%	23%	1%	2%	2%	7%	22%		

Figura#76 Causas de incumplimiento totales (Fuente: EDIFICA)

Finalmente de estos formatos se obtiene las estadísticas de las principales causas de incumplimiento que serán usadas como puntos a mejorar en futuras etapas de la obra u otras obras.



Figuras #77 Tomadas del Formato de PPC y Análisis de cumplimiento (Fuente Edifica)

La idea principal de realizar las causas de incumplimiento es que saquemos conclusiones de los resultados obtenidos, por ejemplo se puede observar que existen 2 grupos que no tienen participación en las causas de incumplimiento que son administración y equipos, lo cual nos indica que se ha realizado de forma adecuada los trabajos administrativos en la obra y se realizó un correcto control de los equipos usados.

Además se puede apreciar como dijimos anteriormente que un gran porcentaje de las causas de incumplimiento (88%) está relacionado con tan solo 3 grupos que son Programación, Subcontratos y Logística, esto quiere decir que la mayor parte de las fallas provienen de errores de programación, fallas de los subcontratistas y demoras en la llegada de los materiales, por lo que hay que ponerle un énfasis especial a la programación y a los pedidos del área de logística para poder reducir las actividades incumplidas y poder incrementar el nivel de confianza en la programación que se calcula con el PPC.

6.4. Curva de Aprendizaje (medición de rendimientos)

La curva de aprendizaje es un concepto que se busca emplear en la construcción con el uso de la filosofía Lean, en especial mediante el uso de la sectorización (división del trabajo en cantidades similares) y el tren de actividades (cuadrillas que hagan una sola labor). El uso en conjunto de estas 2 herramientas nos permite lograr un proceso de especialización de los trabajadores en las labores que realizan, incrementando de esa manera la eficiencia de ejecución de los trabajos lo cual se puede apreciar en la medición de rendimientos durante el progreso de la obra.

Analizando las partidas representativas de la etapa de casco como son Encofrado, concreto y tarrajeo se pudieron observar los siguientes resultados (Ver anexo 3).

Concreto:

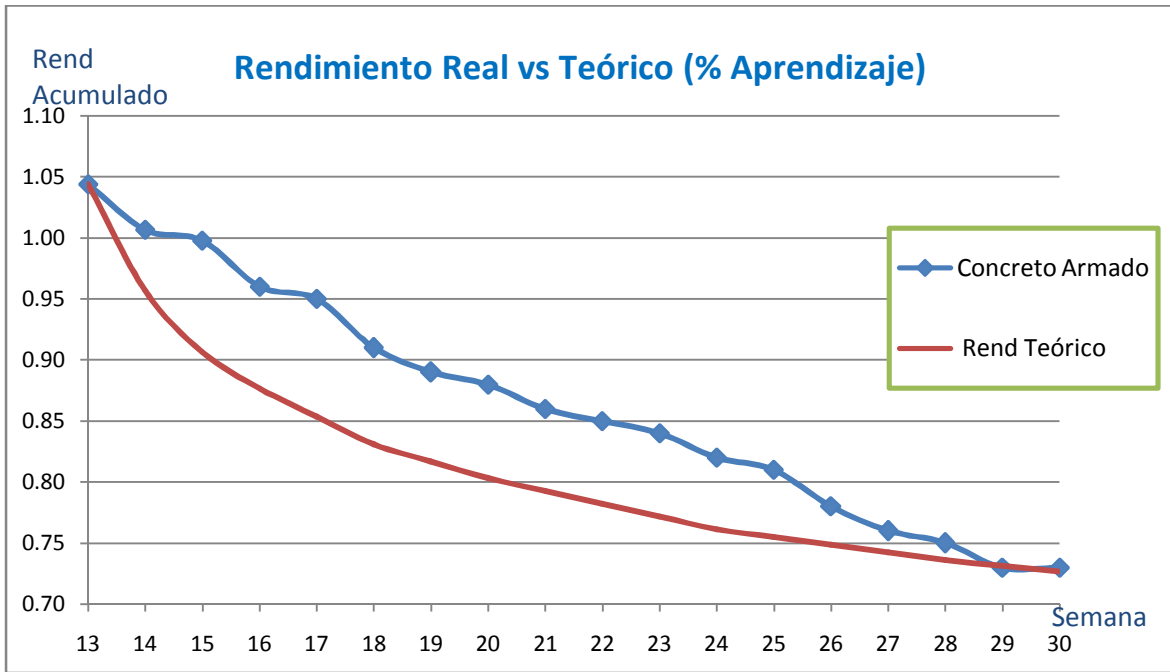
- Concreto Armado:

La partida de Concreto Armado se inicio la semana N° 13 y finalizó en la semana 30, el rendimiento de la primera semana en esta partida fue de 1.04 hh/m³, lo cual estaba muy por encima del rendimiento presupuestado para la partida (0.72 hh/m³). Según se iba avanzando con los trabajos se fueron viendo mejoras en los rendimientos , en la semana N° 20 se tenía un rendimiento acumulado de 0.88 hh/m³ y se concluyó la partida con un rendimiento acumulado de 0.73 hh/m³ en la semana N°30, estos detalles se muestran en el siguiente cuadro.

Partida	Concreto Armado				
Rend. Presup	0.72				
Inicio	SEM 13				
Fin	SEM 30				
Semana	Rend Acumulado	% Aprendizaje	Avance por Hora	Rend Teórico	Avance Teórico
13	1.04	92%	0.96	1.044	0.958
14	1.01		0.99	0.957	1.045
15	1.00		1.00	0.907	1.103
16	0.96		1.04	0.877	1.141
17	0.95		1.05	0.854	1.171
18	0.91		1.10	0.831	1.204
19	0.89		1.12	0.817	1.224
20	0.88		1.14	0.803	1.245
21	0.86		1.16	0.793	1.261
22	0.85		1.18	0.782	1.278
23	0.84		1.19	0.772	1.296
24	0.82		1.22	0.761	1.314
25	0.81		1.23	0.755	1.325
26	0.78		1.28	0.749	1.336
27	0.76		1.32	0.742	1.347
28	0.75		1.33	0.736	1.359
29	0.73		1.37	0.731	1.368
30	0.73		1.37	0.726	1.377

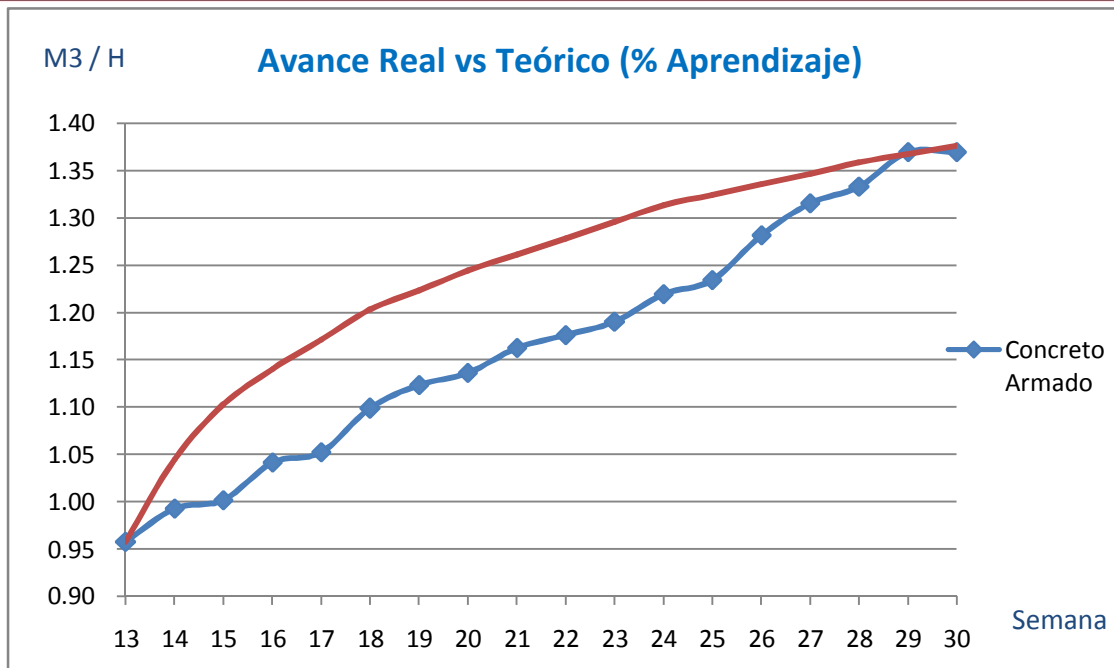
Figuras #78 Cuadro de información de la partida concreto armado (Fuente: Propia)

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, los rendimientos de la partida fueron bajando semana a semana hasta casi alcanzar el rendimiento presupuestado. Según la teoría de la curva de aprendizaje, el porcentaje de aprendizaje es el porcentaje de tiempo en el cual se logra hacer el trabajo luego del doble de veces, para el caso de esta partida dicho porcentaje es 92%, es decir cuando el trabajo se hizo 2n veces el tiempo que se tardo fue solo del 92% que cuando se hizo la ves n.



Figuras #79 Curva Rendimiento Real Vs Rendimiento Teórico (Fuente: Propia)

En el grafico anterior se visualiza el rendimiento acumulado de la partida semana a semana (curva azul) y se compara con la curva de rendimientos teóricos que se deberían obtener según el porcentaje de aprendizaje (curva Roja), como se puede apreciar ambas curvas se desarrollan de distinta manera cada semana, pero llegan al mismo valor final cumpliendo con el porcentaje mencionado. Además en ambas curvas se puede visualizar como cada semana el tiempo que se demora en hacer una unidad de trabajo (rendimiento) va disminuyendo a causa de la curva de aprendizaje y la especialización de los trabajadores de la cuadrilla.



Figuras #80 Curva Avance Real Vs Avance Teórico (Fuente: Propia)

En este último gráfico se puede ver el avance diario que se tiene cada semana y como este va mejorando debido a la curva de aprendizaje, al igual que en el caso anterior se compara la curva de avance real con la teórica que muestra como debería incrementarse el avance diario si se siguiera a la perfección la gráfica de la curva de aprendizaje.

Con estos gráficos se puede comprobar que el uso de las herramientas Lean como el tren de actividades y la sectorización ayudan en gran medida a la generación de la curva de aprendizaje en la construcción, lo cual se ve reflejado en los rendimientos de la obra y por ende mejoramos la productividad de esta. Es importante resaltar que la productividad que se pueda ganar aplicando estos conceptos en cada partida ayuda a que se cumpla el objetivo primordial del proyecto que es terminar dentro del plazo y el costo establecido.

Encofrado:

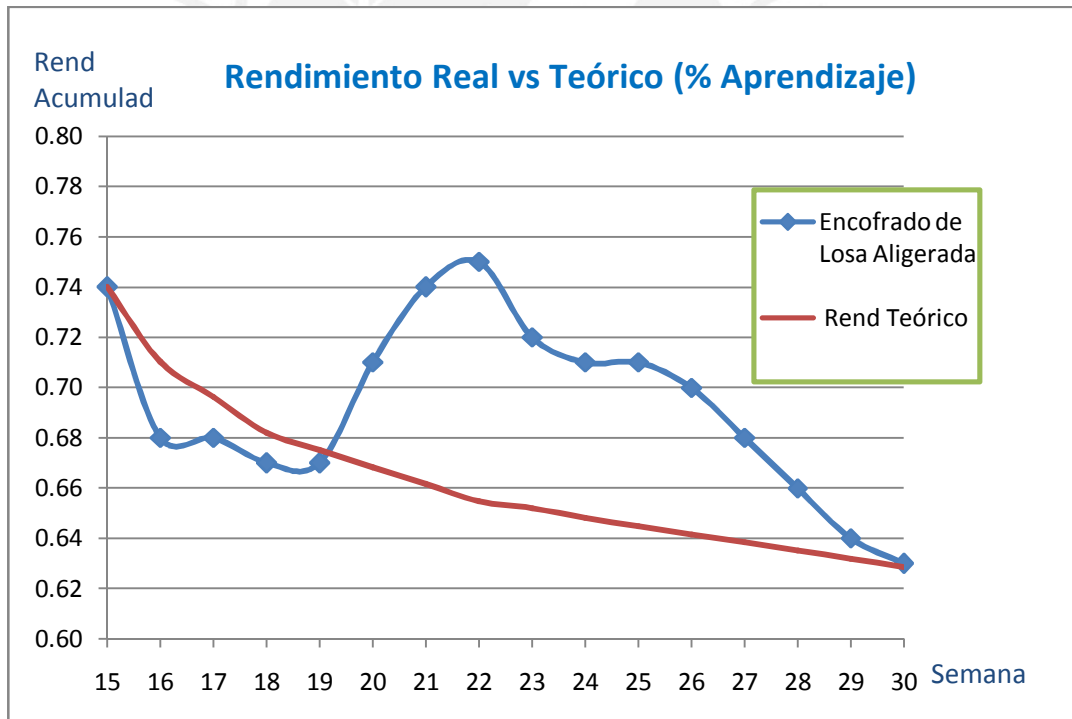
- Encofrado de placas:

La partida de encofrado de placas (sin considerar muros anclados) se inició en la semana 15 de la obra, durante las 4 primeras semanas se pudo apreciar un rendimiento acumulado inicial de 1.42hh/m² (semana 15), en una etapa intermedia se mejoró el rendimiento hasta 1.17hh/m² (acumulado semana 23) y se terminó la partida con un rendimiento acumulado de 0.97 hh/m² en la semana 30. Con estos

datos se puede apreciar a simple vista que se tuvo una mejora considerable en el rendimiento de la cuadrilla llegando desde 1.42 hh/m² hasta 0.97 hh/m², lo cual representa una reducción del tiempo de ejecución de los trabajos del 32%, esto representa un porcentaje de aprendizaje de 91%.

- Encofrado de Losa Aligerada:

La partida de encofrado de losa aligerada tiene como inicio la semana N° 15 y finaliza en la semana N°30, el rendimiento inicial fue de 0.74hh/m² y el final de 0.63 hh/m², esto representa un porcentaje de aprendizaje del 96% (reducción de tiempos en 96% cuando se realiza el trabajo el doble de veces). Sin embargo, en esta partida se aprecia un comportamiento distinto de los rendimientos a lo largo de las mediciones ya que tienen a subir y bajar desordenadamente como se vera en el grafico siguiente.

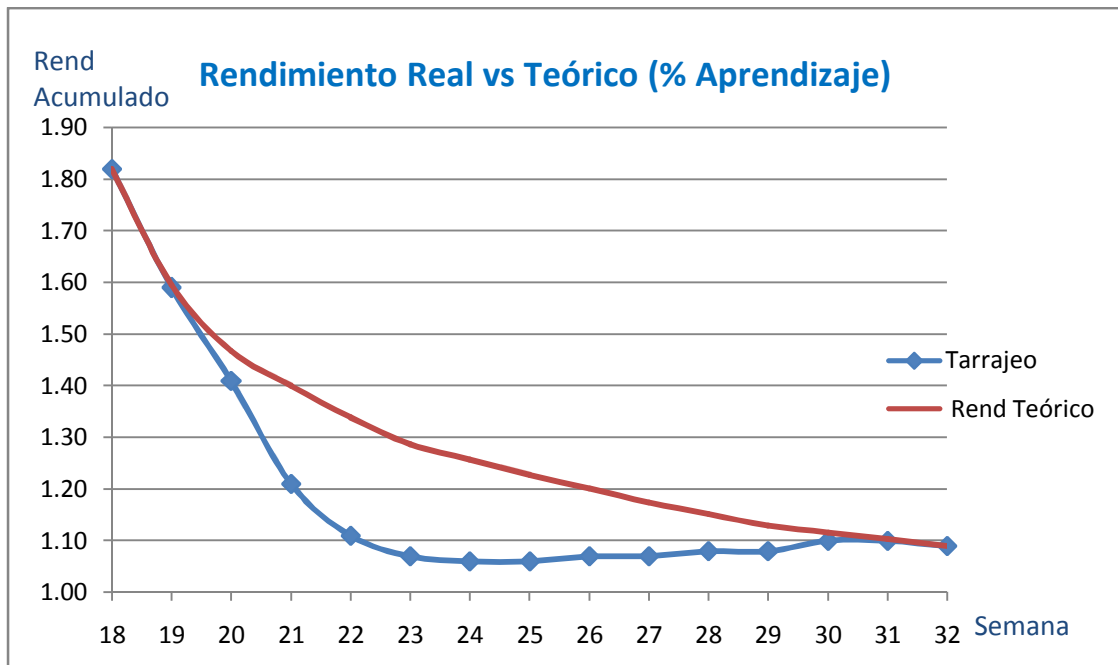


Figuras #81 Curva Rendimiento Real Vs Rendimiento Teórico (Fuente: Propia)

Tarrajeo

Esta partida se inicio en la semana N° 18 con un rendimiento de 1.82 hh/m² y finalizó en la semana 32 en la cual se obtuvo un rendimiento acumulado de 1.09 hh/m². Esta partida

es la única en la que se puede observar que la curva de aprendizaje ha cumplido todo el ciclo antes de que se terminen las actividades. Es decir, se ha alcanzado el nivel tope de rendimiento y se ha mantenido durante varias semanas cosa que no se observaba en las otras partidas que hasta el final de los trabajos iban reduciendo los rendimientos obtenidos.



Figuras #82 Curva Rendimiento Real Vs Rendimiento Teórico (Fuente: Propia)

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

7.1. CONCLUSIONES:

- El LPDS (sistema de entrega de proyectos lean) nos propone un total de 42 herramientas en sus 5 fases. Sin embargo, la filosofía lean en el Perú se está desarrollando principalmente en 3 fases (Construcción Lean, Control de producción y trabajo estructurado), ya que son las empresas constructoras las que la están aplicando dentro de su campo de acción que es precisamente la ejecución de obras. En el presente proyecto se utilizaron 9 de las 17 herramientas disponibles para las 3 fases mencionadas, siendo de estas las de más importancia e impacto en el desarrollo del proyecto el last planner system (5 herramientas) en el control de producción y los first run studies en la ejecución lean.
- De los beneficios observados de cada herramienta Lean se puede concluir que la sectorización y los trenes de trabajo son 2 de las herramientas más sencillas de aplicar y que a su vez son las que más aportan en cuanto a mejoras del proyecto con respecto a la visión tradicional. Estas herramientas replantean totalmente la manera de trabajar pasando de un sistema push a un sistema pull, acortan tiempos de ejecución de los proyectos gracias a la superposición de actividades y brindan mejoras en la productividad debido a que se designa cuadrillas específicas para cada tipo de trabajo. Mencionado estos puntos es normal que el uso de estas herramientas se haya divulgado mucho más que otras herramientas más complejas de la filosofía Lean dado las mejoras que representan.
- Se puede concluir que la aplicación de las herramientas Lean en un proyecto de construcción, en especial de edificaciones, tiene muy buenos resultados en el desarrollo del proyecto, tanto en la productividad como en el plazo y costo. Sin embargo, se deben utilizar las herramientas de manera constante para que las mejoras que estas representan se vean reflejadas en nuestro proyecto.
- El uso de la sectorización y los trenes de trabajo en el proyecto hizo posible que se tenga una curva de aprendizaje en las partidas más incidentes del proyecto

(Concreto, encofrado y tarrajeo) reduciendo los tiempos de ejecución de las actividades hasta en un 40% (Tarrajeo) con respecto a los rendimientos iniciales, es decir se incremento hasta en un 40% la producción diaria de la cuadrilla debido al porcentaje de aprendizaje obtenido que para el caso de esa partida fue de 88%.

- El uso del Last Planner System nos permite reducir considerablemente los efectos de la variabilidad sobre nuestros proyectos, en nuestro caso aplicando todos los niveles de planificación y programación que contiene el last planner se logró cumplir con el plazo establecido para terminar la etapa de casco de la obra (09-07-12), esto debido a que se cumplían en gran medida las programaciones semanales que eran desprendidas del lookahead de obra llegando a obtener un nivel de cumplimiento de la programación del 75% lo cual está por encima de lo estándar en los proyectos de edificaciones de la capital. Sin embargo, no hubiese sido posible poder cumplir con las programaciones sin trabajar para mejorar los problemas de la obra y es ahí donde radica la importancia de las causas de incumplimiento y las acciones correctivas, ya que nos alertaron de los problemas más comunes en la obra para darle un énfasis especial y estar preparados.
- Los resultados obtenidos en las mediciones de productividad realizadas en la etapa de casco de la obra Barranco 360+ (Trabajo productivo = 40%, Trabajo contributorio = 41% y Trabajo no contributorio = 19%) están por encima de los resultados promedio obtenidos en mediciones de las obras de lima en los años 2001 (TP = 28%, TC = 36% y TNC = 36%) y 2006 (TP = 32%, TC = 43% y TNC = 25%); esto nos da un punto de referencia respecto a la importancia de la aplicación de la filosofía Lean para mejorar la productividad en las obras de construcción y en especial las de edificaciones, ya que es en este tipo de proyectos en los cuales la mano de obra tiene mayor incidencia en cuanto al costo del proyecto. Sin embargo, si nos comparamos con los resultados que muestra Virgilio Ghio de mediciones realizadas en Chile en el 2001 (TP = 47%, TC = 28% y TNC = 25%) se puede apreciar que aún queda una brecha grande por mejorar, la cual se logrará reduciendo las pérdidas de los procesos de construcción.
- En las mediciones de cartas de balance realizadas para las actividades de vaciado de concreto y encofrado de elementos horizontales (vigas) se pudo apreciar que

se tenían cuadrillas sobredimensionadas en ambos casos y que el mismo trabajo podía ser realizado con una cantidad menor de personas incrementando de esa manera los rendimientos de dichas partidas y generando un ahorro para la obra. Es necesario realizar las mediciones de cartas de balance debido a que a pesar de realizar un dimensionamiento de cuadrillas previo al inicio de los trabajos, este cálculo es teórico y está en base a los rendimientos presupuestados o proyectados para el proyecto, pero no sabemos con certeza si son los rendimientos óptimos, además las condiciones en campo siempre son distintas y por lo tanto también se debería hacer un análisis en campo para replantear la cuadrilla en una etapa temprana del proyecto.

- Se optimizaron los procesos analizados mediante las cartas de balance reduciendo la cuadrilla de 7 a 6 personas para el caso de vaciado de concreto, ya que se observó que la cantidad de TNC era muy elevada en los ayudantes de la cuadrilla. Para la cuadrilla de encofrado de vigas se pudo reducir la cuadrilla de 8 a 7 personas, esto debido a que se tenía una pareja que se estaba dedicando íntegramente a desencofrar y transportar material y se observó que el trabajo de desencofrado podía ser realizado por una persona dedicada a dicha labor y los ayudante podían apoyar el transporte en sus tiempos muertos. Estos ajustes de cuadrillas representan un ahorro económico del 13% en el costo de mano de obra de las cuadrillas en mención, si eso se realizara para todas las partidas del proyecto podría obtenerse un ahorro de aproximadamente 10% del costo total de la mano de obra.
- Como conclusión general se puede decir que la aplicación de las 9 herramientas Lean en el proyecto Barranco 360°+ ha generado ahorros debido al incremento de la productividad, al cumplimiento de los plazos establecidos y a la reducción de los principales tipos de desperdicios mencionados en la parte teórica. Habría que preguntarse en este punto, a qué nivel se hubiese llegado utilizando más herramientas.

7.2. PROPUESTA DE MEJORA:

- Si bien es cierto que en el proyecto estudiado se han aplicado 9 herramientas de la filosofía lean, existen varias herramientas adicionales (42 en total) que sin lugar a duda mejorarían el proceso no solo de construcción sino también de toda la gestión del proyecto, desde la concepción del mismo hasta la utilización. Habiendo revisado y estudiado las herramientas que propone el sistema de entrega de proyectos lean, recomendamos que para el caso de una empresa inmobiliaria que hace toda la gestión del proyecto aplique estas herramientas en la mayor cantidad posible, decimos esto ya que consideramos que no es factible que se usen todas las herramientas en simultaneo. Sin embargo, cada organización puede analizar y usar las que mejores resultados le den según su propia estructura.
- Para el caso específico de la construcción del proyecto y en resumen para proyectos similares sería de mucha importancia la aplicación de 2 herramientas:
 - **One Touch Handling:** Elimina los desperdicios a causa de inventarios y movimientos innecesarios, transportando el producto directamente hasta su ubicación final. Esto está ligado en gran medida el uso de elementos prefabricados e innovación en procesos constructivos, lo cual aporta notablemente al crecimiento del sector.
 - **Lineas de Balance:** Planificación acorde a la filosofía lean que debería reemplazar la planificación tradicional con barras (Gant).
- La programación maestra que es el primer nivel del Last Planner System es realizado prácticamente de manera tradicional con la diferencia de que no nos adentramos en los detalles sino que se programa por hitos. Sin embargo, este modelo de planeamiento general no está totalmente alineado con la filosofía Lean por lo que se podrían usar herramientas más potentes para elaborar el cronograma macro de la obra. Lo que se propone es desarrollar un cronograma general basado en la teoría de líneas de balance (Anexo 8). Las líneas de balance nos permiten ver la secuencia lógica de las actividades y la velocidad con que estas se realizan, es decir al tener las líneas de las distintas actividades dentro de un cronograma macro se puede saber el ritmo de avance de la obra, mientras que con un gant solo se puede saber el tiempo de duración de las actividades de

manera individual; otro de los puntos a favor del planeamiento con líneas de balance es que se muestran la relación de un grupo de actividades con respecto a otros grupos mientras que en un gant solo se puede ver relaciones directas entre actividades. Finalmente algo de mucha ayuda para un cronograma general que brinda la metodología de líneas de balance es que no solo incluye 2 dimensiones (Actividad vs Tiempo) sino también una tercera que es el espacio, es por eso que al usar esta metodología se podría tener un mejor control partiendo desde el cronograma maestro.

- Se debería implementar un control de productividad total de la obra como es el caso de los controles IP o ISP que analizan toda la obra la distribución de las horas hombre para todas las fases del proyecto a diferencia de los controles actuales en los cuales solo se lleva un registro de las partidas incidentes del presupuesto. El no tener un control de horas hombre de toda la obra le quita un poco de confiabilidad a los controles de productividad que se llevan actualmente.
- El tema de la productividad va de la mano con el ahorro en mano de obra y también en el costo total del proyecto. Sin embargo no se tiene un reporte integrado de costos que pueda dar fe de los buenos resultados que está teniendo la obra, es por esto que se propone implementar un control de costos para los proyectos como lo es el resultado operativo en el cual se puede analizar el costo total de la obra como también los ahorros obtenidos por temas de productividad.
- Se debería estandarizar el uso de ciertas herramientas como es el caso de las cartas de balance, estas se deben hacer al inicio de las actividades para verificar que el dimensionamiento de cuadrillas haya sido correcto, ya que a pesar de usar el circuito fiel para este fin algunas veces las condiciones propias de la obra hacen variar lo real de lo teórico. En este caso se analizaron solo algunas cuadrillas y en una etapa tardía de la obra, ya que solo faltaba 1 mes y medio para finalizar las actividades, aun así se pudieron optimizar dichas cuadrillas mejorando considerablemente la productividad, lo cual hubiese sido mucho más beneficioso realizándose al inicio del proyecto.

- Una herramienta muy útil en el sistema last planner es la el análisis de las causas de no cumplimiento de actividades, ya que a partir de esta herramienta se inicia el proceso de mejora continua (kanban) que es uno de los pilares de la filosofía lean. Sin embargo, si bien es cierto que en el proyecto estudiado se aplica esta herramienta para identificar las razones del porque no se cumplen las actividades programadas, esta no es aplicada correctamente. Es por esto que se propone como propuesta de mejora que la asignación de la causa de no cumplimiento este ligada obligatoriamente a la herramientas 5 whys, según la cual uno debe preguntarse a que se debe el incumplimiento hasta en 5 oportunidades hasta llegar a identificar la causa raíz, así por ejemplo si la causa de no cumplimiento es la falta de acero en obra, según la primera clasificación sería un problema de abastecimiento del área logística, sin embargo si indagamos en el asunto podemos llegar a la causa raíz que fue que el ingeniero de producción no hizo el pedido a tiempo dejando de ser un problema de logística y pasando a ser de producción.
- Las mediciones realizadas por una empresa no solo debe ser comparable entre sus obras sino también con obras similares del medio, del país y de los países vecinos, ya que comparando nuestros resultados con los de empresas más grandes es que se obtienen conclusiones para mejorar (Benchmarking). Es por esto que en este trabajo se propone la estandarización de las mediciones del Nivel general de actividad y Cartas de balance basándonos en las mediciones realizadas en distintas empresas de Perú, Chile y Colombia. La finalidad de esto, es que al realizar las mediciones para una obra en Perú se use la misma metodología de clasificación de las actividades productivas, contributivas y no contributivas, obteniendo de esta manera resultados comparables con todas las empresas del medio. Es importante mencionar que al cambiar la clasificación de las actividades no se pierde la información que tiene la empresa, al contrario se puede volver a correr para obtener resultados comparables.
- Existe una gran oportunidad de mejora en la gestión de la construcción de un proyecto de edificaciones que es el manejo acertado de los subcontratistas, la forma en cómo actualmente se manejan los subcontratistas es la misma en la mayor parte de los proyectos pequeños y medianos, es decir la empresa

constructora le transfiere todo la responsabilidad y riesgo de las partidas asignadas y hace la función de arreador, es decir empujar para que cada subcontratista avance lo mayor posible. Sin embargo, esto se podría mejorar en gran medida si involucramos a los subcontratistas en la planificación y programación de obra responsabilizando a cada uno de los avances pactados para cada semana y verificando su cumplimiento semana a semana. De esta manera se podría no solo lograr un proyecto más eficiente y mejorar plazos sino que indirectamente se logra que cada contratista sea eficiente en sus actividades, lo cual les genera una rentabilidad mayor beneficiando indudablemente tanto a la empresa constructora como a sus subcontratistas. Decimos esto porque consideramos que es un tema importante que podría ser abordado en otro trabajo futuro.



BIBLIOGRAFIA:

- **BOTERO BOTERO, LUIS FERNANDO.** *Construcción sin pérdidas, análisis de procesos y filosofía lean construction*+ Segunda edición, Colombia: Editorial Legis. 2006.
- **BOTERO BOTERO, LUIS FERNANDO.** *Construcción sin pérdidas, análisis de procesos y filosofía lean construction*+ Colombia: Editorial Legis. 2004.
- **ALARCON CARDENAS, LUIS FERNANDO.** *Identificación y Reducción de Pérdidas en la Construcción. Herramientas y Pérdidas*+ Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. 2000.
- **ALARCON CARDENAS, LUIS FERNANDO.** *Planificación y Control de Producción para la Construcción, Guía para la Implementación*+ Primera edición. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. 2003.
- **ALARCON CARDENAS, LUIS FERNANDO.** *Herramientas para identificar y reducir pérdidas en proyectos de construcción*+ Revista Ingeniería de construcción.
- **ALARCON CARDENAS, LUIS FERNANDO.** *Guía para la implementación del sistema del último planificador*+ Santiago: GEPUC, Pontificia Universidad Católica de Chile. 2008.
- **KOSKELA, LAURI.** *Application of the new production philosophy to construction*+ Technical report #72. Stanford: Stanford University. 1992.
- **KOSKELA, LAURI.** *An exploration towards a production theory and its application to construction*+ Tesis doctoral. Technical Research Centre of Finland, Espoo. 2000.
- **HERMAN GLENN, Ballard.** *The last planner*+ Northern California Construction Institute. Monterey, CA. 1994
- **HERMAN GLENN, Ballard.** *The last planner system of production control*+ [Tesis doctoral]. Birmingham: Universidad de Birmingham, Facultad de Ingeniería. 2000.
- **HERMAN GLENN, Ballard.** *White paper #7 Phase scheduling*+Lean Construction Institute. 2000.
- **HERMAN GLENN, Ballard.** *Lean Project Delivery System*+Lean construction institute, California. 2000.
- **GHIO CASTILLO, Virgilio.** *Guía para la innovación tecnológica en la construcción*+ Santiago de Chile: Editorial Pontificia Universidad Católica de Chile. 1997.
- **GHIO CASTILLO, Virgilio.** *Productividad en obras de construcción; Diagnostico, critica y propuesta*+ Lima: Fondo editorial PUCP. 2001.

- **OHNO, Taichi.** *Toyota production system*+Japon. 1988.
- **ORIHUELA, PABLO Y ESTEBES, DELFÍN.** *Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra*+ 5to encuentro latino americano de gestión y economía de la construcción (ELAGEC). Cancún, México. 2013.
- **GOLDRATT, ELIYAHU y COX, JEFF.** *The goal*+ Great Barrington, MA. North River Press. USA. 1984.
- **BOTERO, LUIS FERNANDO Y ACEVEDO, HARLEM.** *Simulación de operaciones y línea de balance: Herramientas integradas para la toma de decisiones*+ Revista Ingeniería y ciencia, volumen 7, número 13, enero-junio de 2011, paginas 29-45. Colombia. 2011.
- **LORÍA ARCILA, JOSÉ HUMBERTO.** *Programación de obras con la técnica de la línea de balance*+ Universidad autónoma de Yucatán, México.
- **ORIHUELA, PABLO y ULLOA, KAREM.** *La planificación de las obras y el sistema last planner*+ Boletín N° 12, Corporación aceros Arequipa, julio. 2011.
- **ORIHUELA, PABLO.** *Aplicación de la teoría de restricciones a un proceso constructivo*+ Boletín N° 1, Corporación Aceros Arequipa. 2008.
- **ALARCON, LUIS F. Y GONZALES, VICENTE.** *Buffers de programación: una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción*+ Revista ingeniería de construcción, Vol 18, N° 2. Pontificia universidad católica de Chile, Santiago de Chile. 2003.
- **BOTERO, LUIS F. y ÁLVAREZ, MARTHA.** *Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción*+ Revista universidad EAFIT n° 130, abril-mayo-junio. 2003.
- **BOTERO, LUIS F. y ÁLVAREZ, MARTHA.** *Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)*+ Revista universidad EAFIT Vol 40 n° 136, 2004. Pp. 50-64.
- **LARA CASTILLO, PABLO ANDRÉS.** *Estudio de optimización de costos y productividad en la construcción de viviendas de hormigón*+ [Tesis]. Universidad de Chile. Santiago, Chile, 2007.
- **SABBATINO, DANIEL.** *Directrices y recomendaciones para una buena implementación del sistema last planner en proyectos de edificación en Chile*, [Tesis], Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2011.

- **CASTILLO, INÉS.** Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)+ [Tesis]. Pontificia universidad católica del Perú, Lima, Perú. 2014.
- **MORILLO, TANIA Y LOZANO, MIGUEL.** Estudio de la productividad en una obra de edificación+ [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. 2007.
- **ANDRADE, M. Y ARRIETA, B.** Last Planner en subcontrato de empresa constructora+ Revista de la construcción, volumen 10 n° 1 . 2011.
- **HOWELL, GREGORY; CHARRON, ROBERTO Y KNAPP STEVE.** Planificación por fases ahora+ 14 conferencia anual del LCI. Santiago de Chile. 2006.
- **BRADY, DENISE; TZORTOPOULOS, PATRICIA Y ROOKE, JOHN.** An examination of the barriers to Last Planner implementation+ 19 conferencia anual del LCI. Lima. Perú. 2011.
- **BARRÍA, CAROL F.** Implementación del sistema Last Planner en la construcción de viviendas+ [Tesis]. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 2009.
- **VASQUEZ, JUAN C.** Aplicación del Lean Design en proyectos de edificación+ [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. 2005.
- **SABBATINO, DANIEL ; ALARCÓN, LUIS F. Y TOLEDO, MAURICIO.** *Í Análisis de indicadores claves para una exitosa implementación del sistema last Planner en proyectos de edificación+*
- **NIETO MOROTE, A.M. ; RUZ VILA, F. ; NIETO MOROTE, C.:** *Í Estrategias para la implementación del sistema de gestión last Planner+*
- **LORIA, J.** Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance+ Mérida, Yucatán, México. 2010.
- **ROJAS VERA, RAÚL:** La construcción: Estudio e implementación de una nueva filosofía de planificación de proyectos *Lean Construction+*. Chile. 2005.
- **SERPELL, ALFREDO:** Administración de obras de construcción+ Santiago de Chile, Chile. 1993.
- **BRIOSO, XAVIER,** *Í Material de la Diplomatura de Gestión del Proyectos de Construcción+*, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.
- **LCI, Lean Project Delivery Glossary** (available at: www.leanconstruction.org/glossary.htm)
- **T.P. Wright** *Lean learning curves+*. 1936.