

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**IMPLEMENTACIÓN DEL “PULL PLANNING” PARA MEJORAR LA
CONFIABILIDAD DE LA PROGRAMACIÓN DE LA ETAPA DE ACABADOS EN
UNA EDIFICACIÓN DE OFICINAS**

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

Shirley Lizzeth Corilla Usquiano

ASESOR: Ing. Danny Murguía Sánchez

Lima, junio de 2016

RESUMEN

El presente trabajo de investigación formaliza la implementación de la herramienta Pull Planning, elemento del Last Planner System y que se desarrolla de acuerdo a los principios del Lean Construction, en la etapa de ejecución de acabados en un proyecto de construcción de oficinas, con la finalidad de optimizar los flujos de trabajo y los procesos, identificar restricciones, reducir las actividades que no agregan valor al proyecto y lograr el cumplimiento de plazos. Las mejoras obtenidas se cuantificarán a través de indicadores de control.

Para desarrollar el presente trabajo ha sido necesario la lectura de la literatura referida al proceso evolutivo del Lean Construction y sus herramientas, así como la aplicación de estas últimas en diferentes proyectos a nivel global y las optimizaciones y mejoras logradas. Luego, se evalúa la gestión del proyecto de construcción “Anexo Torre 3”; mediante la recolección de datos de los miembros del staff y los encargados de la producción a través de la técnica de la entrevista y cuestionarios. Así mismo, luego de generar una línea base, se implementa el “Pull Planning” en el proyecto y se cuantifican las mejoras obtenidas a través de determinados indicadores.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que existe una relación directa entre la aplicación de las herramientas Lean y los beneficios de plazo y costo en un proyecto de construcción. Por lo tanto, una empresa constructora optimiza su productividad, mejora sus flujos de trabajo e incrementa el cumplimiento de las actividades planificadas en su programación cuando aplica las herramientas de esta filosofía, a través de un adecuado control de todos los procesos involucrados en la ejecución del proyecto.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PUCP

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Implementación del "Pull Planning" para mejorar la confiabilidad de la programación de la etapa de acabados en una edificación de oficinas
 Área : Construcción y Gestión
 Asesor : Danny Eduardo Murguía Sánchez
 Alumno : SHIRLEY LIZZETH CORILLA USQUIANO
 Código : 2010.5251.412
 Tema N° : # 269
 Fecha : Lima, 13 de junio de 2016



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Centro de Excelencia en Gestión de Producción de la Universidad Católica de Chile ha investigado el impacto de la aplicación del Last Planner System (LPS) en diversos proyectos de construcción por un periodo de tres años. Antes de la implementación de este sistema estos proyectos presentan bajo cumplimiento de programaciones semanales (menor a 50% en algunos casos). Luego de aplicar el LPS, estos proyectos presentaron mejoras en la gestión y control del proyecto, mayor implicación de los mandos medios, disminución de trabajos urgentes e imprevistos y menores plazos de ejecución de obra.

En el Perú, los principales contratistas aplican LPS durante la etapa de construcción de los proyectos. Sin embargo, la implementación de LPS disminuye de manera significativa a medida se realiza la fase de acabados y equipamiento. La planificación colaborativa con subcontratistas ("Pull Planning"), la identificación de restricciones y el proceso de liberar actividades para ejecutar, es largamente desatendida. Esto se debe a que los equipos de planificación se enfrentan a mayores fuentes de variabilidad como alcances incompletos, cambios del cliente y poca predictibilidad de la capacidad productiva de los subcontratistas.

Por ello, se hace necesario sostener la implementación del "Pull Planning" en la etapa de acabados para mejorar la confiabilidad de la programación y mejorar indicadores como cumplimientos de plazo y del porcentaje del plan cumplido (PPC).

OBJETIVO PRINCIPAL

A través de una participación directa de la tesista en campo, implementar "Pull Planning" en la etapa de acabados de un proyecto de oficinas para mejorar la confiabilidad de la programación. Asimismo, cuantificar la mejora a través de indicadores antes y después de la aplicación

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la recopilación bibliográfica de la implementación de herramientas Lean en proyectos a nivel mundial.
- A través de análisis de documentos y entrevista a los planificadores, definir la línea base de LPS en la etapa de acabados en el proyecto caso de estudio.
- Implementar "Pull Planning" en la etapa de acabados del proyecto caso de estudio y monitorear el desempeño de la implementación.
- Procesar la información y analizar los resultados durante y al final de la implementación.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones de la implementación de la herramienta "Pull Planning" en un proyecto de oficinas.

PLAN DE TRABAJO

- 1.-Marco teórico: Se revisará la literatura referida a los avances de Lean Construction y sus herramientas en proyectos a nivel global. Se analizarán las herramientas que se adecúan de mejor manera a la forma como se desarrolla la construcción en el Perú y se seleccionará una de ellas.
- 2.-Recopilación de información: se recolectará la información de la gestión de proyecto de la obra "Anexo Torre 3" a través de entrevistas a los miembros del staff y los encargados de la producción, esta información será definida como la línea base del proyecto y los datos serán procesados a través de determinados indicadores de control.
- 3.-Implementación del "Pull Planning" en la etapa de acabados.- Se implementará la herramienta Lean seleccionada en un proyecto de oficinas, para luego poder cuantificar las mejoras obtenidas respecto al sistema de gestión base, así como la optimización de los flujos de trabajo.
- 4.-Conclusiones y recomendaciones.- Se analizarán los beneficios de la herramienta utilizada en la etapa de ejecución de proyectos de construcción y se realizará un resumen de las acciones que deben desarrollarse para obtener resultados óptimos.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y darme fortaleza
en todo momento.

A mis padres y mi hermana, por todo el amor
y el apoyo que siempre me han brindado.

A mi asesor, por su tiempo y paciencia
a lo largo de este trabajo.

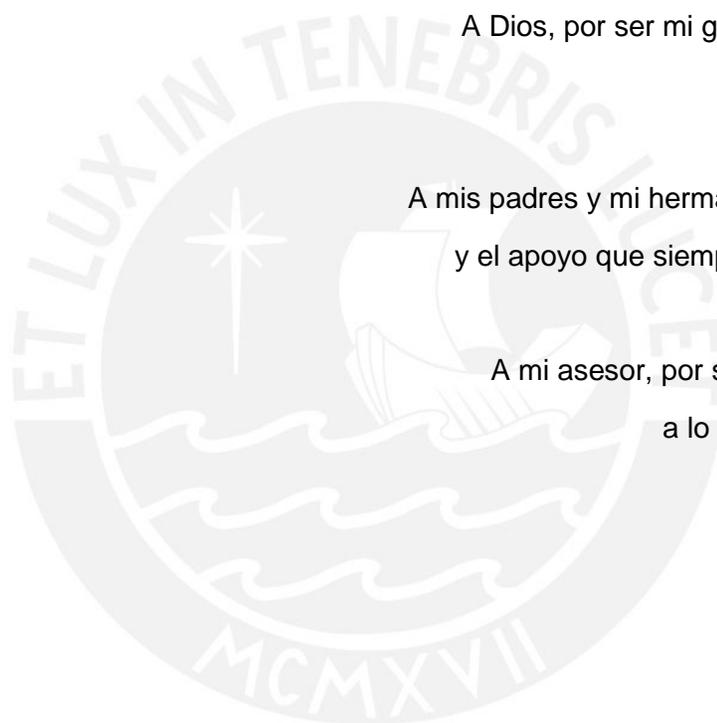


TABLA DE CONTENIDOS

Tabla de contenidos	i
Lista de figuras	iii
Lista de tablas	vi
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Objetivos del proyecto	2
1.2 Hipótesis del proyecto	3
1.3 Metodología	3
1.4 Resultados esperados	4
Capítulo 2: Marco teórico	5
2.1 Lean Construction	5
2.2 Control de la producción: Last Planner System	9
2.2.1 Grado de implementación del LPS	12
2.3 Herramientas Lean y Last Planner	14
2.3.1 Pull Planning	14
2.3.2 Aplicación del método Línea de Balance	17
2.3.3 Las 5'S	18
2.4 Aplicación e innovación de herramientas Lean a nivel global	20
2.4.1 Hospital para niños (AIDHC) en Wilginton, Delaware.	21
2.4.2 Edificio habitacional “Mirador Bahía”, Chile.	23
2.4.3 Proyecto de vivienda multifamiliar “Parque Espoz”, Chile.	25
Capítulo 3: Características del proyecto a evaluar	28
3.1 Descripción del proyecto	28
3.2 Gestión del proyecto	30
3.2.1 Resultados obtenidos a partir de la entrevista a expertos.	35
3.3 Selección de indicadores de control	39
3.4 Resultados de la aplicación de LPS en el proyecto: Línea base	41

3.4.1 PPC (Porcentaje de Plan Cumplido)	42
3.4.2 Factor de producción.	45
3.4.3 Task Made Ready (TMR):	47
3.4.4 Grado de implementación del LPS	49
Capítulo 4: Implementación de herramientas Lean y LP	51
4.1 Selección de una herramienta	51
4.2 Implementación Pull Planning	56
4.3 Estructura de trabajo	58
4.4 Formatos de control del Pull Planning	60
Capítulo 5: Análisis de resultados	68
5.1 Causas de incumplimiento	68
5.2 Evaluación de indicadores de control	69
5.2.1 PPC (Porcentaje de Plan Cumplido)	69
5.2.2 Factor de producción.	73
5.2.3 Task Made Ready (TMR):	75
5.2.4 Grado de implementación del LPS	76
5.3 Cuantificación de mejoras	77
5.3.1 PPC (Porcentaje de Plan Cumplido)	77
5.3.2 Factor de producción.	78
5.3.3 Task Made Ready (TMR):	79
5.3.4 Grado de implementación del LPS	80
Capítulo 6: Lecciones aprendidas y conclusiones	83
6.1 Discusión	83
6.2 Conclusiones	85
Bibliografía.	89

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1.** Flujo de trabajo según Lean Construction (Koskela, 1992)
- Figura 2.2.** Diferencias entre construcción convencional y Lean (Alarcón, 2008)
- Figura 2.3.** Flujo de producción del LPDS (Ballard, 2000)
- Figura 2.4.** Alcance del TVD según Miron, L., Kaushik, A. & Koskela, L. (2015)
- Figura 2.5.** Flujo de procesos del LPS (Porwal, 2010)
- Figura 2.6.** Jerarquía de planificación en el LPS (Adaptado de Calampa, 2014)
- Figura 2.7.** Resultados de nivel de implementación de LPS (Soares et al., 2002)
- Figura 2.8.** Sesiones de Pull Planning (Tiwari, 2012)
- Figura 2.9.** Proceso I Get – I Give (Tiwari, 2012)
- Figura 2.10.** Proceso de mapeo de procesos (Xu and Tsao, 2012)
- Figura 2.11.** Línea de Balance. (Orihuela y Estebes, 2013)
- Figura 2.12.** Teoría de las 5'S (Arangua, 2015)
- Figura 2.13.** Exterior del hospital AIDHC (Tsao y Hammons, 2014)
- Figura 2.14.** Sectorización del atrio central (Tsao y Hammons, 2014)
- Figura 2.15.** Pull Plan de fachada del atrio (Tsao y Hammons, 2014)
- Figura 2.16.** PPC durante la aplicación del LPS (Díaz, 2007)
- Figura 2.17.** Curva de avance de acero teórica vs real (Díaz, 2007)

Figura 2.18. Levantamiento digital del proyecto (Sanchis, 2013)

Figura 2.19. Comparativo de mejoras de la aplicación LPS

Figura 2.20. Evolución de liberación de restricciones (Sanchis, 2013)

Figura 3.1. Proyecto Anexo Torre 3

Figura 3.2. Organigrama del proyecto Anexo Torre 3

Figura 3.3. División del proyecto en la fase de acabados e instalaciones

Figura 3.4. Plano de arquitectura del primer piso – Edificio Anexo Torre 3

Figura 3.5. Plano de arquitectura del segundo piso – Edificio Anexo Torre 3

Figura 3.6. Plano de arquitectura piso típico – Edificio Anexo Torre 3

Figura 3.7. PPC en el piso 1

Figura 3.8. PPC en el piso 2

Figura 3.9. PPC desde el piso 3 al 12

Figura 3.10. Diagrama de Pareto de causas de incumplimiento

Figura 3.11. Histograma de factor de producción

Figura 3.12. Medición de TMR para 5 semanas

Figura 4.1. Elementos necesarios para la implementación de reuniones

Figura 4.2. Charlas donde se fomentan las 5'S

Figura 4.3. Selección y ordenamiento de los materiales

Figura 4.4. Limpieza de áreas de trabajo

Figura 4.5. Participantes de reuniones Pull Planning

Figura 4.6. Reuniones Pull Planning

Figura 4.7. Estructura de trabajo de acabados e instalaciones en pisos superiores

Figura 4.8. Mapeo de procesos diferenciado por colores

Figura 4.9. Gráfico de resumen de responsabilidades (Brioso, 2015)

Figura 5.1. PPC en el piso 1

Figura 5.2. PPC en el piso 2

Figura 5.3. PPC desde el piso 3 al 12

Figura 5.4. Diagrama de Pareto de causas de incumplimiento

Figura 5.5. Histograma de factor de producción

Figura 5.6. Histograma de TMR

Figura 5.7. Comparativo de PPC

Figura 5.8. Comparativo de PF

Figura 5.9. Comparativo de TMR

Figura 5.10. Comparativo de nivel de implementación del LPS

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Evaluación del grado de implementación de LPS (Soares et al., 2002)

Tabla 3.1. Resultados obtenidos de la encuesta a ingenieros de campo

Tabla 3.2. PPC entre noviembre y diciembre del 2015

Tabla 3.3. Tabla de frecuencia de causas de incumplimiento

Tabla 3.4. Resumen de PFs durante 10 semanas

Tabla 3.5. Implementación del LPS en el proyecto

Tabla 4.1. Cuadro comparativo de herramientas Lean

Tabla 4.2. Formato de tren de actividades de la fase de acabados

Tabla 4.3. Formato de Look Ahead Planning de la fase de acabados

Tabla 4.4. Ejemplo de formato de análisis de restricciones (Brioso, 2015)

Tabla 4.5. Ejemplo de resumen de responsabilidades (Brioso, 2015)

Tabla 5.1. Tabla de frecuencia de causas de incumplimiento

Tabla 5.2. Resumen de PFs durante 8 semanas

Tabla 5.3. Implementación del LPS en el proyecto

Tabla 5.4. Tren de actividades final en pisos típicos

Capítulo 1: Introducción

La filosofía Lean Construction tiene como propósito reducir pérdidas, minimizar la variabilidad, cumplir plazos y optimizar los procesos de producción, con la finalidad de lograr flujos de trabajo continuos. Por otro lado, el sistema Last Planner tiene por finalidad lograr un mejor control de la planificación del proyecto, así como de las actividades programadas. Sin embargo, en la actualidad, no solo basta controlar los procesos de producción, sino se debe de plantear un modelo de producción, el cual empiece con la identificación de las necesidades del cliente y se prolongue hasta la operación y mantenimiento de un determinado proyecto.

El Centro de Excelencia en Gestión de Producción de la Universidad Católica de Chile ha investigado el impacto de la aplicación del Last Planner System (LPS) en diversos proyectos de construcción por un periodo de tres años. Antes de la implementación de este sistema estos proyectos presentan bajo cumplimiento de programaciones semanales (menor a 50% en algunos casos). Luego de aplicar el LPS, estos proyectos presentaron mejoras en la gestión y control del proyecto, mayor implicación de los mandos medios, disminución de trabajos urgentes e imprevistos y menores plazos de ejecución de obra.

Según Mossman (2013), una de las razones por la que las empresas adoptan el sistema Last Planner es porque logra que las programaciones de actividades sean más confiables y por ende el flujo de trabajo de un proyecto sea continuo. Además, el Last Planner permite realizar un proceso transparente, donde se generen compromisos reales y confiables entre el equipo de trabajo que ejecutará directamente las tareas.

Uno de los componentes del Last Planner System que está siendo aplicado a nivel mundial es el Pull Planning, el cual permite mejorar la confiabilidad en la programación, ya que se optimizan los procesos, se identifican las restricciones y se mejoran los flujos de trabajo. Asimismo, el Pull Planning ayuda a que el equipo comprenda de manera más clara el proceso, haciéndolo flexible, colaborativo y eliminando la sobreproducción (Tiwari, 2012).

En la presente tesis se realizará una revisión bibliográfica de los conceptos y herramientas del Lean Construction y el Last Planner System, así como del impacto de estos sistemas en proyectos de construcción a nivel mundial.

Posteriormente, se evaluará el sistema de gestión de un proyecto de oficinas en Lima a través de determinados indicadores, así como el impacto de la aplicación del Pull Planning en el proyecto. El objetivo final de la tesis es analizar los beneficios en plazos y costo de esta herramienta en un proyecto de oficinas, de tal forma que se promueva su implementación en los proyectos de construcción de nuestro país.

1.1 Objetivos del proyecto

Objetivo general

A través de una participación directa de la tesista en campo, implementar “*Pull Planning*” en la etapa de acabados de un proyecto de oficinas para mejorar la confiabilidad de la programación. Asimismo, cuantificar la mejora a través de indicadores antes y después de la aplicación.

Objetivos específicos

- Realizar la recopilación bibliográfica de la implementación de herramientas Lean en proyectos a nivel mundial.
- A través de análisis de documentos y entrevista a los planificadores, definir la línea base de LPS en la etapa de acabados en el proyecto caso de estudio.
- Implementar “Pull Planning” en la etapa de acabados del proyecto caso de estudio y monitorear el desempeño de la implementación.
- Procesar la información y analizar los resultados durante y al final de la implementación.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones de la implementación de la herramienta “Pull Planning” en un proyecto de oficinas.

1.2 Hipótesis del proyecto

La implementación del Pull Planning, perteneciente al Last Planner System y que se desarrolla bajo los principios Lean, en la etapa de ejecución de un proyecto de oficinas permite identificar los procesos que no agregan valor al producto y que generan demoras por no ser identificadas en la programación de actividades. Luego, dichos procesos se optimizan a través de medidas correctivas, como reuniones de planificación de actividades; en consecuencia, el mejoramiento de la confiabilidad de la programación, control de la mano de obra, materiales y la optimización de determinados indicadores de control, con los cuales se cumplan los plazos de ejecución del proyecto y se obtenga el valor esperado por el cliente.

1.3 Metodología

Este proyecto comprende el análisis de la gestión de proyecto de la obra “Anexo Torre 3”, ubicada en San Borja, en donde se emplean algunas herramientas del sistema Last Planner. Por otro lado, se investiga la aplicación de otras herramientas a nivel mundial, para luego seleccionar una que se adecúe al contexto de la construcción del proyecto. Luego se cuantifica las mejoras obtenidas al aplicar en la obra la herramienta seleccionada. La metodología para el desarrollo de este proyecto es el inductivo porque se trata de obtener de los hechos particulares una conclusión general.

En primer lugar se plantea el marco teórico, en el cual se revisa la literatura referida a los avances de Lean Construction y sus herramientas en proyectos a nivel global. Luego, se analizarán las herramientas que se adecúen de mejor manera a la forma como se desarrolla la construcción en el Perú y se seleccionará una de ellas.

En segundo lugar se recolectará la información de la gestión de proyecto de la obra “Anexo Torre 3” a través de entrevistas a los miembros del staff y los encargados de la producción. En este proyecto de oficinas, se aplican algunas herramientas del sistema Last Planner, por ejemplo la planificación a mediano plazo Look Ahead Planning, la planificación semanal y el porcentaje de plan cumplido (PPC). Posteriormente, del estudio del proyecto, se propone una línea base en la cual se implementará la herramienta antes seleccionada a través de ciertos indicadores de control.

Con los indicadores de control definidos se procederá a implementar formalmente el Pull Planning, componente del Last Planner, en el proyecto de oficinas, para luego

poder cuantificar las mejoras logradas respecto al sistema de gestión base, así como la optimización de los flujos de trabajo.

Finalmente, con los resultados obtenidos, se analizan los beneficios de la herramienta utilizada en la etapa de ejecución de proyectos de construcción y se realiza un resumen de las acciones que deben desarrollarse para obtener resultados óptimos.

1.4 Resultados esperados

Como resultado de esta investigación se pretende optimizar la gestión de planificación de un proyecto con el apoyo de los indicadores planteados, los cuales contrastarán dos etapas de un proyecto de oficinas.

La primera comprende la gestión de inicio de obra, en el cual los responsables aplican determinadas herramientas Last Planner para lograr menor variabilidad, mejor control y, por lo tanto, asegurar que lo planificado se ejecute con mayor probabilidad de éxito. Sin embargo, no existe un adecuado seguimiento de éstas, por este motivo no se logra cumplir con la programación semanal, además no existe participación de todos los involucrados en el proyecto en la planificación del proyecto. Por otro lado, no se controla el rendimiento de la mano de obra, por ello el porcentaje de trabajo productivo es mínimo y no se cumplen los ratios de producción que tiene el proyecto.

En la segunda etapa se plantea la formalización de la implementación del Pull Planning como elemento del Last Planner System, la cual ha sido estudiada en el marco teórico, seleccionada de acuerdo al contexto del proyecto. La aplicación de esta tiene por finalidad incrementar la confiabilidad de programación la construcción.

Por lo tanto, por medio de los indicadores se cuantificará las mejoras del proyecto, con la finalidad de optimizar la confiabilidad de las programaciones de actividades y obtener un flujo de trabajo constante. Con estas mejoras decrecerá la aparición de trabajos no previstos, los cuales originan detenciones, retrasos de actividades y trabajos rehechos.

La finalidad de la implementación de este componente del Last Planner en un proyecto, es cumplir con los entregables del proyecto en los plazos establecidos de acuerdo al contrato, así como brindarle al cliente el valor esperado del producto en los plazos pactados.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Lean Construction

La filosofía Lean Construction se origina a partir del Lean Production, el cual tuvo un impacto positivo en la industria automotriz, ya que logró cambiar la producción en masa por una producción lineal, en la cual existían flujos de trabajo continuos. Este cambio logró reducir las pérdidas, optimizar los tiempos de fabricación, reducir la variabilidad de los procesos, controlar el proceso completo y sobre todo, enfocarse en las reales necesidades del cliente.

Lauri Koskela adopta el modelo de Lean Production a la construcción denominándolo Lean Construction. En su publicación “Application of the New Production Philosophy to Construction” (1992) define esta filosofía como “una construcción sin pérdidas, donde se busca eliminar las actividades que no generen ningún valor”. El principal propósito de esta filosofía es optimizar la productividad en un proyecto de construcción y conseguir un flujo de trabajo continuo, lo cual se puede lograr si se realiza un plan detallado y un adecuado control a todos los procesos que están involucrados durante la ejecución de proyecto. Además, Koskela menciona en su publicación que al iniciar un proyecto se deben de evaluar las necesidades del cliente, ya que el juicio de valor es emitido por este último.

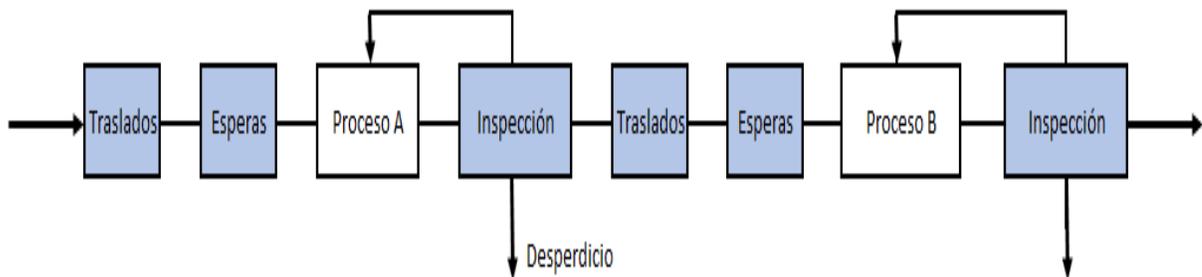


Figura 2.1. Flujo de trabajo según Lean Construction (Koskela, 1992)

El modelo clásico de producción es considerado como un proceso de transformación. Este modelo cuenta con una entrada, transformación y salida, y como resultado nos brinda un producto, cada actividad se desarrolla de forma individual. Sin embargo, luego se pensó en la producción como un flujo, en la cual también se consideran la inspección, transporte, esperas y movimiento; mediante este proceso se pueden identificar fácilmente las actividades que ocasionan pérdidas, para luego proceder a corregirlas o eliminarlas (Kenny Buleje, 2012). De esta manera se logra un mejor control de las actividades que son parte de la ejecución de un proyecto, logrando incrementar el trabajo productivo (TP) y reducir el trabajo contributorio (TC) y no contributorio (TNC).

	PRODUCCIÓN CONVENCIONAL	PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDAS
Objeto	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Control	Gestión, asesoramiento, control
Modo de aplicación	Impuesto por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y externos
Conceptualización de la producción	La producción consiste de conversiones (actividades)	La producción consiste en conversiones y flujos
Control	Coste de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valores de los flujos Reducción de las tareas de flujo y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología
Mejora	Implementación de nuevas tecnologías	

Figura 2.2. Diferencias entre construcción convencional y Lean (Alarcón, 2008)

La filosofía Lean Construction busca seleccionar el enfoque de control de producción apropiado. El sistema “jalar” es el adecuado para la construcción, ya que consiste en planificar y programar las actividades antes que empiecen. Ejemplo de este sistema es la orden de compra de materiales, es decir, si se planifica con anticipación las actividades a realizar se puede ordenar la compra de una determinada cantidad de material que se utilizará, logrando obtener un mejor control del inventario, disminuyendo los desperdicios y la acumulación de material en obra.

Ballard, en el año 2000, presentó en una publicación el concepto de Lean Project Delivery System (LPDS), en la cual planteaba un modelo de producción de cinco fases,

las cuales se encuentran interrelacionadas. Según este modelo, el flujo de procesos empieza con la identificación de las necesidades del cliente y termina con la operación y los servicios de mantenimiento del proyecto. La finalidad del LPDS no es solo brindarle al cliente lo que desea, sino antes ayudarlo a identificar sus verdaderas necesidades (Brioso, 2015); de esta forma, aumentará el valor del producto final y la satisfacción del cliente, además disminuirán los cambios en la etapa de ejecución del proyecto.



Figura 2.3. Flujo de producción del LPDS (Ballard, 2000)

Como la finalidad de un proyecto es obtener un buen juicio de valor por parte del cliente, se deben identificar sus necesidades y eliminar los entregables que no agreguen valor al producto final (Virgilio Guio, 2001), esto se logra solo si existe una adecuada relación con el cliente. Inés Castillo, en su tesis “Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)”, menciona dos herramientas que se encuentran muy relacionadas con este principio. Una de ellas es la matriz de necesidades y valores del inversionista, en la cual se propone que se debe conocer todas las necesidades y requerimientos del cliente, para que este se sienta conforme con el producto final; además le genere la rentabilidad que estaba esperando. Se debe recordar que es el cliente quien define el valor del producto, por eso, si se evalúa correctamente sus necesidades el producto final será de su agrado y se evitará gastos innecesarios en otros procesos que no le interesen. Otra herramienta es la

matriz de necesidades y valores del usuario final, con esta matriz se evalúa las necesidades del cliente y se diseña un producto que cumpla con sus expectativas y por el cual se encuentre dispuesto a pagar, ya que se siente seguro y este producto le brinda confort. Por otro lado, toda empresa debe tener como principio la mejora continua, de esta forma se logra “perfeccionar las operaciones de forma sistemática a fin de proveer mayor valor al cliente y lograr un mejor desempeño interno de la empresa.”(Virginia Polytechnic Institute, 2012). Además, se logra estandarizar los procesos y por tanto reducir los tiempos de las actividades.

Actualmente, se ha adoptado los conceptos del Target Costing de la industria manufacturera a la construcción, denominándola Target Value Design (TVD). El TVD tiene como finalidad realizar un diseño colaborativo basado en el presupuesto destinado al proyecto, en el cual participen todos los involucrados (stakeholders) en el proyecto: cliente, diseñadores, contratista, subcontratistas y proveedores; de esta manera se buscará que el proyecto logre su máximo valor y obtenga una adecuada calidad; además, se reduzcan las pérdidas y los reprocesos, obteniendo así un menor precio final y mayor rentabilidad. Por otro lado, como el trabajo de diseño es colaborativo, existe mayor comunicación y confianza entre los involucrados en el proyecto, ya que los riesgos y las recompensas son compartidos.

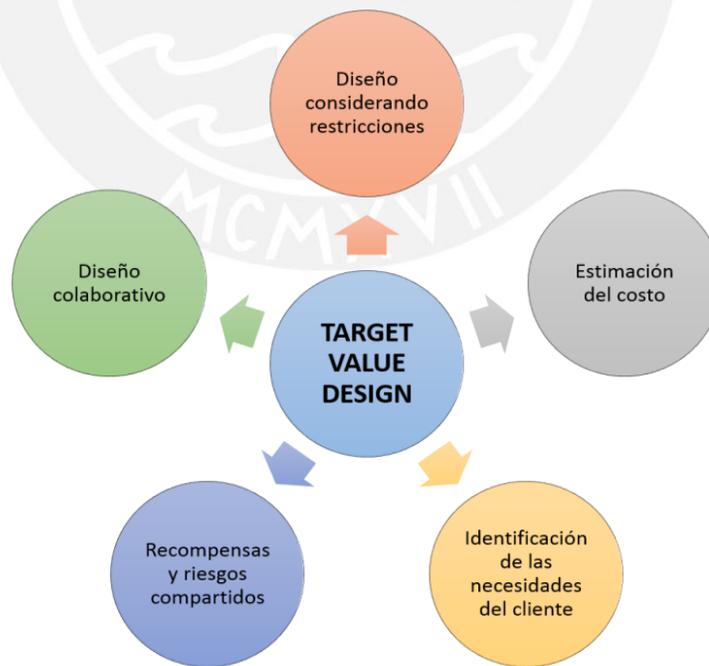


Figura 2.4. Alcance del TVD según Miron, L., Kaushik, A. & Koskela, L. (2015)

Según el Target Value Design, si en el diseño de un proyecto participan todos los involucrados, el análisis de las restricciones se realizará de forma más veraz y por ende se pueden evaluar las posibles causas de estas y ver qué soluciones se les puede brindar. Por este motivo, se debe realizar una adecuada selección del equipo de diseño, de tal forma que los profesionales que trabajen en un proyecto tengan la experiencia y capacidad necesaria. Los involucrados deben trabajar como un equipo y no como grupo, por ello debe existir un documento donde puedan colocar toda la información, modificaciones y dudas que tienen acerca del proyecto, de este modo, todos se encaminarán en una misma dirección. Orihuela, en su paper “Herramientas para la gestión del diseño en proyectos de edificación” (2011) plantea el uso de un cuaderno de diseño en línea, a través del cual todo el equipo de diseño intercambie información sobre el proyecto, menciona también que el uso de este tipo de comunicación es más efectivo que los correos electrónicos. Otro aspecto importante que Koskela introduce en el Lean Construction es el concepto de mejora continua, es decir, detectar los problemas y solucionarlos antes de que estos afecten a los demás procesos. De esta forma, se minimizarán los costos de los procesos y se maximizará el valor del producto final requerido por el cliente.

En el Perú solo algunas empresas aplican algunos conceptos y herramientas Lean en sus proyectos, y las que lo hacen aplican muy pocas; a pesar de ello, obtienen mejores resultados en los proyectos de construcción. Pero, si las herramientas Lean son implementadas adecuadamente en las obras seguramente el producto final otorgaría a la empresa mayores ganancias ya que se optimizarían los flujos de trabajo; además, se lograría mayor satisfacción del cliente ya que se cumpliría con los plazos establecidos en el contrato.

2.2 Control de la producción: Last Planner System

Actualmente existen muchas herramientas con las cuales se puede lograr una mejor planificación y control de las actividades. Una de ellas es el Last Planner (último planificador), el cual es parte del sistema “jalar”. Esta herramienta ha sido desarrollada por Ballard y Howell y no es lo mismo que el Lean, sino una línea de investigación que

busca que todos los prerrequisitos de trabajo sean considerados desde antes de empezarse (Sarah Calampa, 2014).

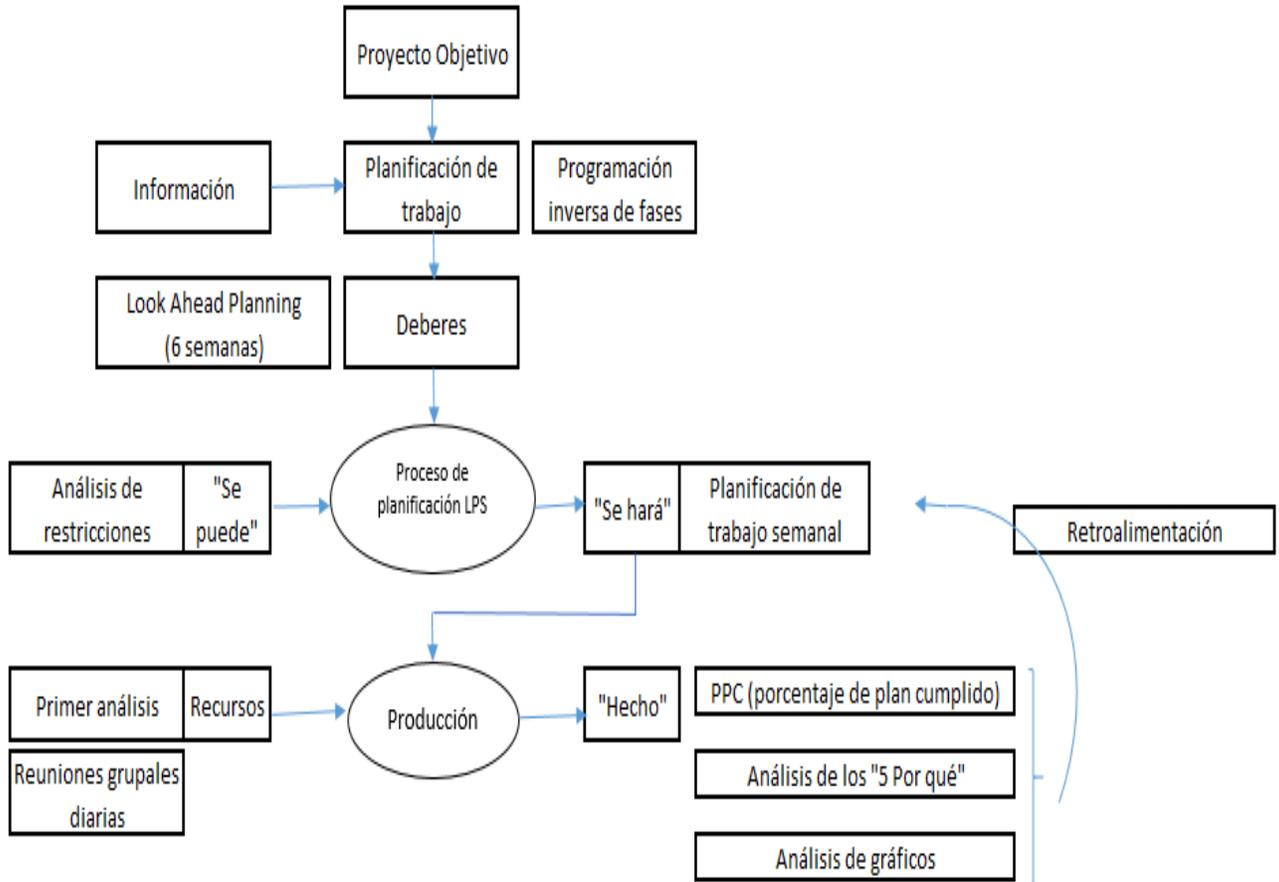


Figura 2.5. Flujo de procesos del LPS (Porwal, 2010)

El LPS considera que la etapa de planificación de las actividades del proyecto se debe realizar en detalle y en conjunto por todos profesionales que ejecutarán las actividades de producción, ya que ellos podrán identificar fácilmente las posibles restricciones y la cantidad de materiales y mano de obra que se necesitará. El Last Planner System (LPS) cuenta con un plan maestro, el cual consiste en un cronograma del proyecto, considerando los hitos y las relaciones que existen entre las actividades, además se selecciona los procesos constructivos adecuados de acuerdo a los recursos disponibles en el proyecto. Otro elemento es la fase Pull Planning, en el cual se identifican las restricciones a través de mapeos de procesos. La fase “Make work ready” es el siguiente elemento, el cual es una planificación a futuro o también

conocido como Look Ahead Planning, con la finalidad de asegurar que el trabajo se encuentre listo para su ejecución, en esta fase se realizan replanteos si es necesario. Esta programación de mediano plazo generalmente va de 3 a 6 semanas y permite anticipar los trabajos a realizar, la cantidad de mano de obra y los insumos necesarios que se necesitará en los procesos, así como las posibles restricciones.

Otro elemento que presenta en el Last Planner es la programación semanal, la cual nos indica qué actividades se encuentran programadas para la semana, para la ejecución de estas actividades existe una secuencia determinada y compromiso para su cumplimiento por parte de los responsables. Si se ha aplicado de forma correcta el Look Ahead no deberían existir restricciones para el cumplimiento de las actividades. Con la verificación del cumplimiento semanal se obtiene el PPC (porcentaje de plan cumplido), el quinto elemento del Last Planner System, el cual nos indica que porcentaje de las actividades planificadas han sido cumplidas.

Un correcto control de obra debería tener al menos 80% de cumplimiento. Por consiguiente, se podrá tener mejor control de las actividades y detectar las causas de los retrasos, para posteriormente eliminarlas. En consecuencia, se logrará reducir la variabilidad de los procesos y por ende lograr flujos de trabajo continuos.

Para complementar el uso de las herramientas antes mencionadas se recomienda la aplicación del sistema Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), el cual es un protocolo que ayuda a identificar las razones de incumplimiento del plan programado con el uso de los “Cinco - Por Qué” y la retroalimentación de las actividades (Porwal, 2010).

Esta herramienta empezó a aplicarse desde el año 2000 en diferentes países, ejemplos son California, Chile, Estados Unidos, Finlandia, entre otros. Como resultado, diferentes autores señalaron que las principales dificultades en sus primeras aplicaciones fueron la resistencia al cambio por parte de los profesionales, falta de capacitación de los trabajadores, compromiso de los involucrados en el proyecto, entre otros.

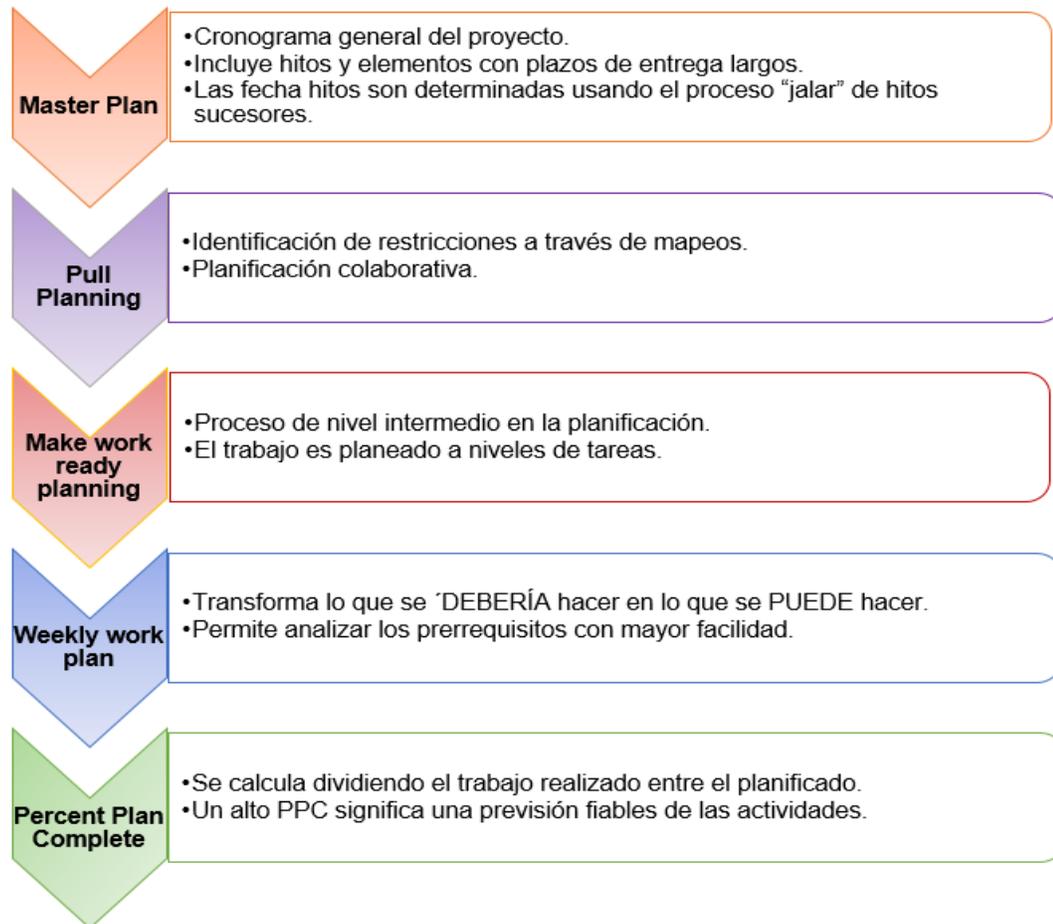


Figura 2.6. Jerarquía de planificación en el LPS (Adaptado de Calampa, 2014)

2.2.1 Grado de implementación del LPS

En el año 2002, Soares, Bernades y Formoso publicaron el paper “Improving the production planning and control system in a building company: Contributions after stabilization.” en el cual se presentaban los resultados de la implementación del LPS en 15 diferentes tipos de proyectos de una empresa en Brasil, a través de dos indicadores de control: el PPC y en el grado de implementación. La medición de los indicadores se realizó en 3 escenarios: introducción del LPS, mantenimiento e implementación del LPS y mejoramiento del sistema.

La evaluación del segundo indicador se calculó mediante el grado de implementación de 14 actividades en los proyectos. La evaluación de cada ítem se calculó a través de entrevistas y observación de cada proyecto. Los puntajes fueron asignados de la siguiente manera:

- ✓ Puntaje 1: Totalmente implementada.
- ✓ Puntaje 0.5: Parcialmente implementada
- ✓ Puntaje 0: No ha sido implementada

Tabla 2.1. Evaluación del grado de implementación de LPS (Soares et al., 2002)

Ítem	Actividad	Puntaje
1.-	Planificación de la producción y estandarización	
2.-	Planificación y control de jerarquización	
3.-	Evaluación cualitativa y análisis de procesos	
4.-	Análisis de flujos de trabajo	
5.-	Análisis de restricciones	
6.-	Uso de dispositivos visuales	
7.-	Planificación a corto plazo	
8.-	Especificación detallada de tareas	
9.-	Programación de trabajos viables	
10.-	Toma de decisiones compartidas	
11.-	Uso de PPC e identificación de causas de problemas	
12.-	Medición de indicadores	
13.-	Acciones correctivas de las causas de problemas identificados	
14.-	Reuniones de difusión de información	

Como resultado, se obtuvo que se pasó de un 32% de nivel de implementación en el proyecto A (escenario 1) a un 67% (escenario 3). Debido a que estos ítems son parte de la planificación y ejecución de las actividades de un proyecto, controlarlos tuvo como resultado un flujo de trabajo más continuo en los proyectos. Los autores de este paper concluyen que se debe de utilizar esta tabla como herramienta de apoyo en la planificación, control y mejora continua de un proyecto.

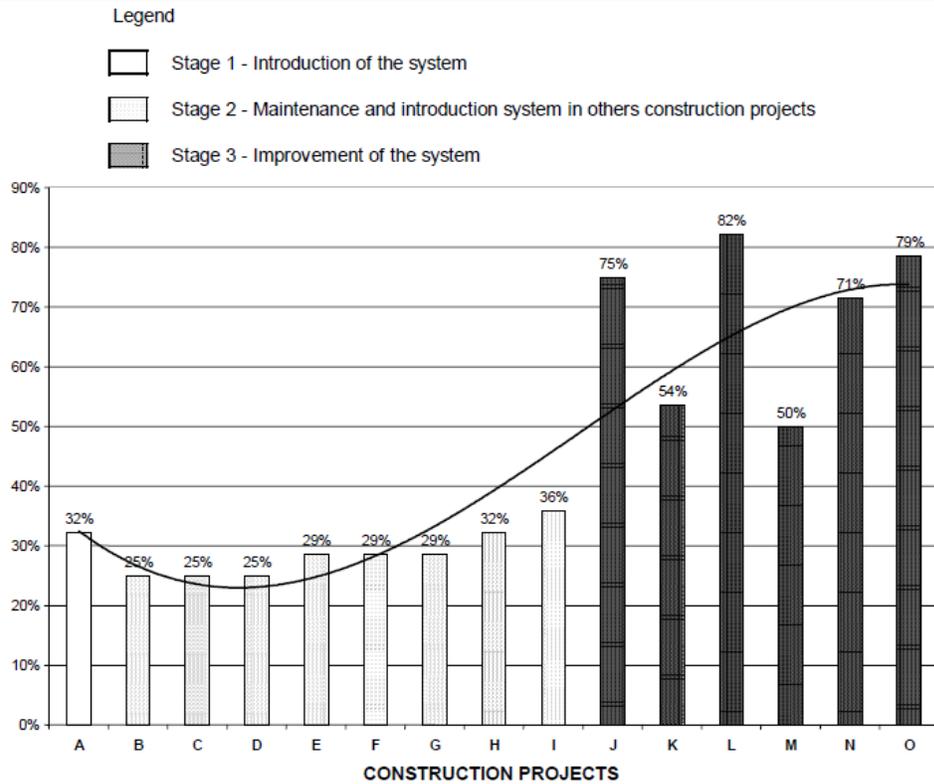


Figura 2.7. Resultados de nivel de implementación de LPS (Soares et al., 2002)

2.3 Herramientas Lean y Last Planner

2.3.1 Pull Planning

El Pull Planning es un componente esencial del LPS. Es una planificación colaborativa, transparente y flexible, que ayuda a eliminar la sobreproducción, también puede ser definido como un proceso de mapeos que ilustra la relación entre las diferentes actividades o especialidades. Tiene como finalidad realizar una planificación desde el término de un hito hacia atrás, con la participación de todos los involucrados en el proyecto, no solo ingenieros responsables, sino también los capataces de todas las especialidades, ya que se encuentran directamente relacionados con la ejecución del proyecto; de esta forma, todas las tareas estarán definidas y secuenciadas. El Pull Planning está surgiendo como primer paso del

inicio de una implementación Lean en los proyectos de muchas empresas. (McGraw-Hill, 2013).

El Pull Planning es una herramienta de planificación a largo plazo; sin embargo, también puede ser usada para elaborar programaciones semanales o diarias. Esta herramienta requiere que los participantes tengan varias reuniones en la etapa de planificación de la obra, en las cuales se identifiquen correctamente el inicio y término de los hitos del proyecto. Luego, se procede a dividir el trabajo correspondiente a un hito en módulos iguales, de tal forma que los trabajos se encuentren equilibrados y puedan ser repetitivos, la finalidad es poder controlar, ajustar y mejorar cada actividad, además de disminuir las interferencias, de tal forma que exista mayor eficiencia durante la ejecución. Es necesario la coordinación de todas las áreas del proyecto para definir el alcance del hito, de esta forma se evitarán cruces e interferencias en la ejecución del proyecto, los cuales ocasionan variabilidades en el flujo de trabajo.

Según el paper “Pull Planning as a Mechanism to Deliver Constructible Design”, en las reuniones de planificación, los participantes deben de seguir el proceso “I Get – I Give”, en el cual manifiesten que es lo que necesitan de las otras áreas y cuál es su contribución con la programación de las actividades, de esta forma, cada requisito o restricción tendrá un encargado de cumplirlo. (Saurabh Tiwari y Partha Sarathy, 2012).



Figura 2.8. Sesiones de Pull Planning (Tiwari, 2012)

Empresa:	
Especialidad:	
QUÉ NECESITO DE LOS DEMÁS	
1.-	
2.-	
3.-	
CON QUÉ ENTREGABLES CONTRIBUIRÉ AL PROYECTO	
Entregable:	
Duración de la actividad:	
Fecha de entrega:	

Figura 2.9. Proceso I Get – I Give (Tiwari, 2012)

La finalidad de estas sesiones colaborativas es identificar las actividades involucradas en el desarrollo de una determinada partida y los prerrequisitos necesarios que se tienen que cumplir antes que esta sea ejecutada, de tal forma que el proceso de producción se desarrolle sin complicaciones. Si se identifican los requisitos necesarios para realizar una actividad, y luego que esta se realice se identifican los productos obtenidos que permitan continuar con el proceso de actividades, se logrará desarrollar un flujo de trabajo adecuado. El nivel de detalle con el que se planifica el proyecto debe de ser elaborado de tal forma que pueda ser cumplido en la ejecución. A continuación se presenta el modelo de flujo de procesos planteado por Xu y Tsao en el paper “Use of design drivers, process mapping & DSM to improve integration within an introductory BIM course” (2012)

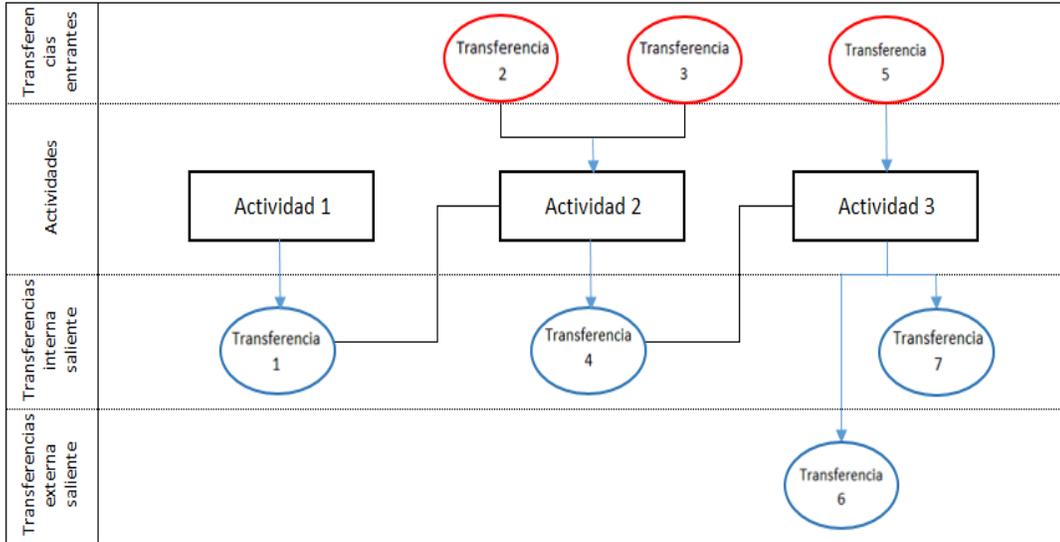


Figura 2.10. Proceso de mapeo de procesos (Xu and Tsao, 2012)

2.3.2 Aplicación del método Línea de Balance

El sistema Last Planner tiene como finalidad la planificación a detalle de cada una de las actividades del Plan Maestro, sin embargo supone que todos los recursos que se necesitan estarán disponibles todo el tiempo y que no existirán restricciones. En la realidad esto no sucede, y generalmente esto ocasiona continuos reprocesos. Es en este contexto que el uso de la herramienta de la Línea de Balance en la planificación sería muy útil, ya que desglosa las actividades de manera más general y permite visualizar la secuencia de actividades y analizar su desempeño. Además, esta herramienta tiene una programación gráfica, lo cual facilita su entendimiento y control (Estebes y Orihuela, 2013). Esta herramienta tiene buenos resultados en proyectos en los cuales las actividades son repetitivas, como por ejemplo viviendas multifamiliares u oficinas.

La Línea de Balance ha sido aplicada desde los años 90's en Brasil, reportándose mejoras en el tiempo de ejecución de las actividades y el empleo de diferentes cuadrillas en una misma actividad. Esta herramienta se basa en la localización, la cual facilita la programación y el control de las actividades programadas. Además, permite representar gráficamente el avance de la obra a través de líneas; en el eje horizontal

mejora de la productividad de los trabajadores, ya que los integrantes del grupo se sienten seguros en sus áreas de trabajo y realizan sus labores de manera ordenada y limpia.



Figura 2.12. Teoría de las 5'S (Arangua, 2015)

Esta teoría consta de cinco procesos:

- **Seiri (seleccionar):** Implica distinguir lo necesario de lo innecesario, de esta forma se puede evitar tener excesos de insumos en las áreas de trabajo e interferir en los flujos de trabajo. Para que este proceso se desarrolle con éxito se debe desechar los elementos innecesarios y ordenar los restantes según su orden de prioridad. Los beneficios de este proceso son lograr mayores espacios libres y facilidad de control visual de los materiales.
- **Seiton (ordenar):** Implica organizar los materiales en una zona específica, con la finalidad que puedan ser ubicados con facilidad, además deben estar ubicados de acuerdo a la frecuencia de uso, de tal forma que sea fácil localizar los materiales y las herramientas más usadas, y las que casi no se usen deben de ser almacenadas debidamente identificadas.
- **Seiso (limpiar):** Luego de seleccionar los materiales y ordenar el ambiente de trabajo se procede a limpiar, con la finalidad de tener una zona confortable y cómoda. La limpieza es una tarea que se debe realizar todos los días antes de empezar las labores; la zona a limpiar debe ser dividida en sectores, los cuales

deben de ser asignados a una cuadrilla en específico y a un responsable que verifique el cumplimiento de la actividad.

- **Seiketsu (estandarizar):** Tiene por finalidad mantener las mejoras alcanzadas con los pasos anteriores, de esta forma el ambiente de trabajo se encontrará ordenado, organizado y limpio. Uno de los principales beneficios de este paso es que el trabajador se siente satisfecho, motivado e identificado con la empresa. Además se debe premiar las buenas prácticas en los trabajadores, con la finalidad de aumentar su motivación y compromiso con el trabajo.
- **Shitsuke (mantener):** Finalmente se debe lograr un cambio de actitud en los trabajadores; mantener el orden y la limpieza del lugar de trabajo debe ser un hábito y no una obligación, además se reducen los accidentes laborales, los atrasos y se mejora la imagen interna de la empresa. Las mejoras deben de ser cuantificadas e implementadas en todas las zonas de trabajo.

2.4 Aplicación e innovación de herramientas Lean a nivel global

La filosofía Lean tiene como principio la gestión basada en la producción y su aplicación ha tenido éxito en diferentes partes del mundo, ya que promueve la integración de todos los involucrados en un proyecto, y disminuye plazos y costos. “Las mejores universidades del mundo en materia de gestión de proyectos de construcción centran gran parte de su capacidad investigadora en el Lean Construction. Tanto Berkeley como Stanford en EE.UU., Nottingham-Trent y Salford en el Reino Unido, la Universidad Católica de Chile y la UFRGS de Brasil son sólo un ejemplo.” (Revista de obras públicas, 2009).

A continuación se presentan tres proyectos en los cuales se ha aplicado Lean Construction y Last Planner System en su ejecución:

2.4.1 Hospital para niños (AIDHC) en Wilginton, Delaware.

Este proyecto se ejecutó en el año 2011 en EE.UU. y estuvo valorizado en 220 millones de dólares, el área del terreno fue 38460 m², su alcance era dos edificios y un atrio central, contemplando desarrollar un total de 144 habitaciones y 188 estacionamientos. El hospital se construyó asumiendo como base el Last Planner y planteando las actividades como un flujo de trabajo.



Figura 2.13. Exterior del hospital AIDHC (Tsao y Hammons, 2014)

La mayoría de habitaciones de este proyecto tenían características similares, por lo cual se utilizaron algunos elementos prefabricados con el fin de hacer los procesos más rápidos. Primero, se identificó las áreas más críticas y se cuantificó la cantidad total y el tipo de elementos a usar, con el fin de controlar la producción y el stock en obra de estos elementos prefabricados. Posteriormente, el contratista elaboró la secuencia de producción de elementos prefabricados usando la herramienta Pull Planning según el cronograma de avance del proyecto.

El área del atrio no tenía elementos homogéneos, por lo cual, al ser el Pull Planning una herramienta usada para procesos repetitivos, los ingenieros encargados del proyecto dividieron el área en ocho sectores iguales. Luego, establecieron el orden de las actividades de producción y los recursos que iban a necesitar según la programación del cronograma. El plano impreso de la sectorización se colocó en la

A pesar de la complejidad del proyecto, el Pull Planning ayudó al equipo a simplificar la línea de producción, logrando flujos de trabajo eficientes y disciplina en los procesos de construcción. Tsao y Hammons concluyen que la implementación de herramientas, como el Pull Planning, durante la planificación del proyecto es menos costosa que implementarlo en la etapa de ejecución. Además, es difícil cambiar la cultura y la forma de trabajar de las personas, algunos profesionales prefieren realizar sus programaciones sin escuchar la opinión ni las necesidades de las otras áreas, lo cual durante la etapa de ejecución del proyecto genera conflictos. Es necesario que todo el grupo encargado de la planificación trabaje en coordinación y compartan ideas y opiniones. Por otro lado, la planificación de la producción como un flujo de trabajo permite contar con procesos repetitivos, los cuales pueden ser controlados y mejorados de forma más efectiva, incrementando la eficiencia de la producción del proyecto.

2.4.2 Edificio habitacional “Mirador Bahía”, Chile.

El análisis de este edificio fue presentado en la tesis de Díaz Montecino (2007). Este proyecto fue ejecutado en el año 2007 en Chile por la constructora DESCO S.A. y se aplicó durante 11 semanas el sistema Last Planner en la etapa de ejecución de las actividades de estructuras: acero, encofrado y concreto. El proyecto multifamiliar constaba de tres edificios de mediana altura (6 pisos cada uno) y se trabajó con dos sectores por edificio.

Antes de la aplicación de esta herramienta se reunió a todos los profesionales involucrados en los procesos constructivos, a los cuales se les explicó en qué consistía el Last Planner y cómo iba a ser aplicado en el proyecto. La programación del Look Ahead fue de cuatro semanas y se ingresaron las posibles restricciones de cada actividad. Además se planificó una reunión en la cual se planificaba el avance de la semana y se buscaban soluciones a las interferencias encontradas.

Uno de los indicadores que se midió fue el PPC (porcentaje de plan cumplido), los cuales dieron como resultado un promedio de 75% de cumplimiento de las actividades programadas, siendo menores a 60% las dos primeras semanas debido a que se estaban acondicionando al uso de la herramienta. Las principales causas de

incumplimiento fueron la mala programación de recursos materiales y mano de obra, falta de equipos, trabajos rehechos, baja productividad, incompatibilidad en los planos y también algunos factores externos, como malas condiciones climáticas o permisos.

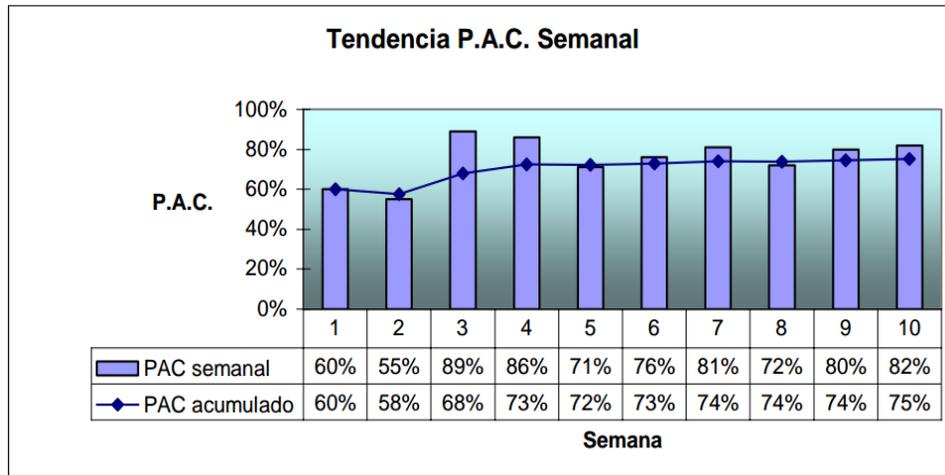


Figura 2.16. PPC durante la aplicación del LPS (Díaz, 2007)

Por otro lado, otro indicador de control fue la curva de avance físico de las partidas de estructuras. Para esto, se comparó una curva de producción teórica y una de avance real. Los resultados fueron positivos, ya que ambas curvas, al ser superpuestas, tenían valores parecidos, con lo cual se verificaba que se cumplían con las actividades programadas. Si el avance real sería menor al teórico se tiene que implementar medidas correctivas que permitan cumplir lo planificado.

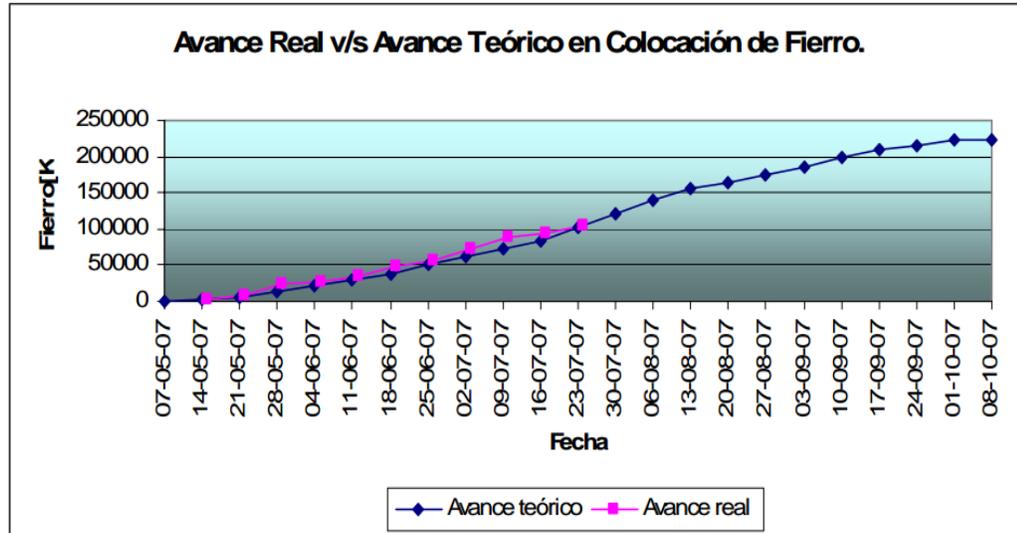


Figura 2.17. Curva de avance de acero teórica vs real (Díaz, 2007)

Como lecciones aprendidas, Díaz concluyó que el incumplimiento de la programación de las actividades generalmente se debe a una mala planificación de las actividades, ya que se planifica más de lo que los trabajadores pueden producir o existe falta de abastecimiento de materiales, además, existe interferencias entre las diferentes especialidades, lo cual ocasiona demoras.

Cabe resaltar que en la reunión realizada antes de la aplicación del Last Planner en el proyecto, según lo mencionado en la tesis, no se contó con la participación del maestro de obra ni de los capataces, los cuales tienen una participación directa con los procesos constructivos y el avance del proyecto.

2.4.3 Proyecto de vivienda multifamiliar “Parque Espoz”, Chile.

Este proyecto se ejecutó en el año 2013 en la comuna de Vitacura, Santiago de Chile. El área del terreno era de 10000 m² y el alcance del proyecto eran tres torres de vivienda de diez pisos, con seis departamentos por piso. Además, contaba con áreas para gimnasio, sala de eventos y piscinas.



Figura 2.18. Levantamiento digital del proyecto (Sanchis, 2013)

En este proyecto, la empresa contratista “Moller Pérez Cotapos”, decidió implementar el Last Planner System. Para esto, antes de iniciado el proyecto reunió a todos los encargados de la producción (jefes de campo, jefes de terreno y asistentes) y a los administradores de obra. En esta reunión, se les explicó los conceptos básicos de Lean Construction y las variabilidades existentes en obra.

La implementación del LPS se realizó por etapas, en las cuales se observó las mejoras en el flujo de producción, productividad y control de restricciones. A continuación, se presentará un cuadro comparativo de las mejoras alcanzadas luego de la implementación:

Primera aplicación de LPS

- Falta de compromiso de los jefes de campo.
- Uso solo de una programación semanal, sin un Look Ahead.
- No se liberan restricciones, por lo cual el flujo de trabajo no es continuo.
- No se verifica el cumplimiento de la semana ni se reprograman las actividades.

Segunda aplicación de LPS

- Se inician las *Pull Session*
- Se implementa el Look Ahead, para determinar las necesidades y plazos.
- Se analizan rendimientos, con la finalidad de planificar de manera adecuada los recursos.
- Los capataces forman parte de la planificación semanal, además se realiza una revisión de cumplimiento a mitad de semana.
- Mayor compromiso de los responsables de producción.

Tercera Aplicación de LPS

- Se detectan las principales restricciones en campo y se analizan las posibles soluciones.
- Los proveedores son parte de la planificación de actividades.
- Se introduce la herramienta 5'S, para el control del orden y seguridad del proyecto.
- Se analizan las lecciones aprendidas de las dos fases anteriores (mejora continua).

Figura 2.19. Comparativo de mejoras de la aplicación LPS

Las principales mejoras encontradas en este proyecto fueron un mayor porcentaje de cumplimiento semanal, mejor planificación de recursos materiales y humanos, flujo de trabajo continuo y análisis de restricciones, con lo cual estos se podían solucionar a tiempo y las actividades fueron consecutivas.

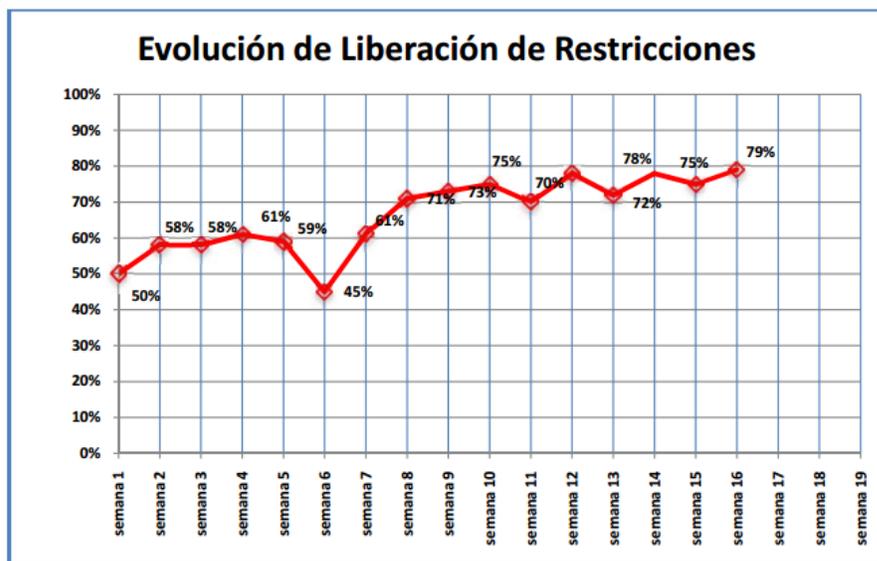


Figura 2.20. Evolución de liberación de restricciones (Sanchis, 2013)

Capítulo 3: Características del proyecto a evaluar

3.1 Descripción del proyecto

El proyecto “Edificio Anexo San Borja Torre 3” es un edificio de oficinas de 49,975 m² de área techada, ubicado en Urb. San Borja I Etapa / 9° Sector, limitado por las calles Carpaccio, Morelli, Ucello y la Av. De Las Artes. El alcance del proyecto consta de 9 niveles de sótanos, 2 niveles de locales comerciales, 10 niveles de oficinas y un techo técnico en la azotea. El costo total del proyecto es de S/. 58,500000.00, sin incluir IGV, el plazo es 618 días calendarios y el tipo de contrato es a suma alzada.

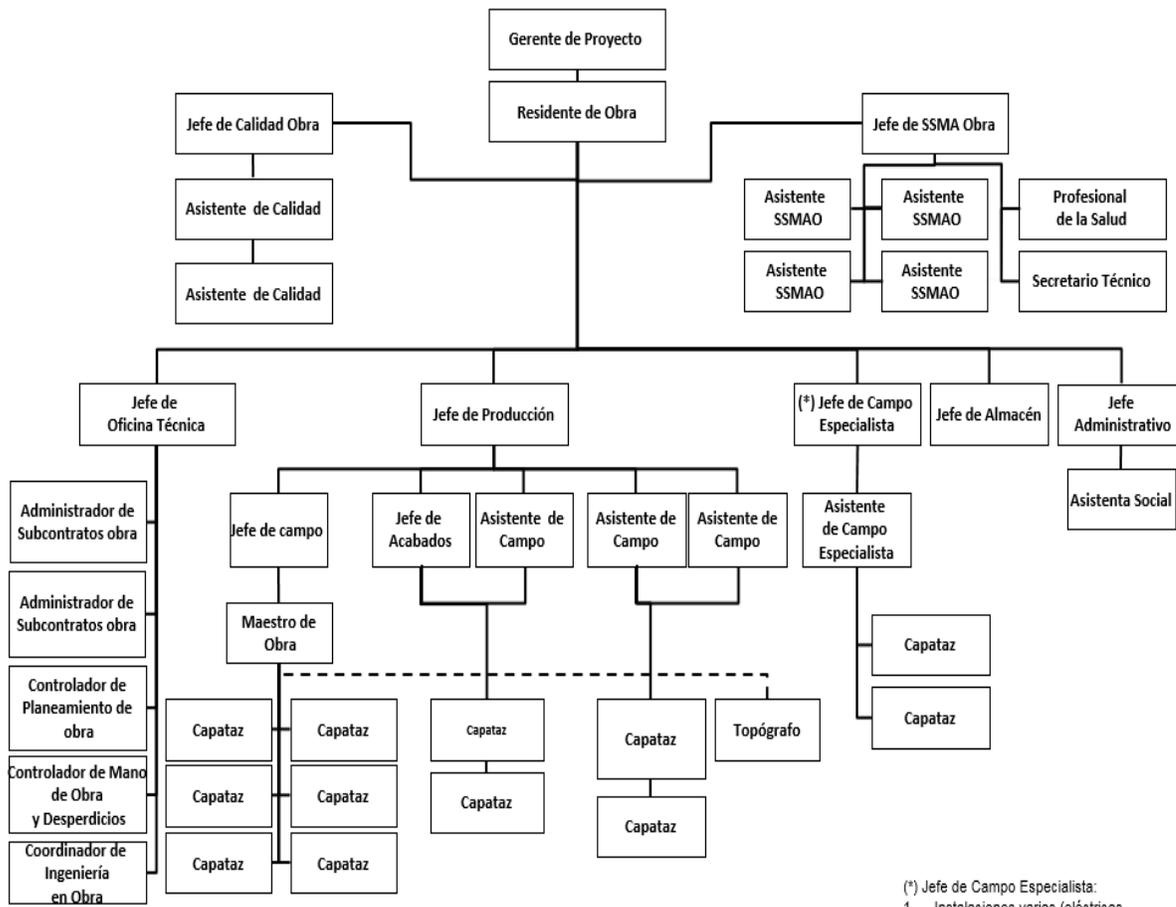


Figura 3.1. Proyecto Anexo Torre 3

Por otro lado, el proyecto tiene como finalidad lograr la Certificación LEED nivel Plata, por lo cual existen requerimientos establecidos en el Expediente Técnico para la etapa de construcción, suministro e instalaciones. Además, dentro del alcance de la contratista se encuentra realizar el modelado BIM del proyecto, con un nivel de detalle 200, así como organizar 10 reuniones de coordinación entre especialistas.

Es importante enfatizar que la empresa contratista cuenta con la certificación ISO 9000, por lo cual debe de cumplir con los estándares que este sistema exige. Uno de ellos es el control del producto no conforme, lo cual permite detectar no conformidades, tomar acciones correctivas y posteriormente correctivas. De esta manera, se busca identificar la causa raíz de las no conformidades y eliminarlas. La finalidad de este estándar es buscar la mejora continua del proyecto.

El proyecto comenzó su ejecución en noviembre del año 2014 y tiene proyectado finalizar el julio del 2016, cuenta con 9 hitos e incluye las especialidades de estructura, arquitectura, instalaciones eléctricas, mecánicas, sanitarias y ACI. Actualmente en la obra se tiene finalizada la etapa del casco y se está ejecutando la etapa de acabados e instalaciones. El proyecto, en su etapa de acabados e instalaciones, cuenta con un promedio de 180 trabajadores de la empresa contratista, 250 trabajadores de empresas subcontratistas y 29 miembros de staff, los cuales se encuentran organizados de la siguiente manera:



(*) Jefe de Campo Especialista:
1. Instalaciones varias (eléctricas).

Figura 3.2. Organigrama del proyecto Anexo Torre 3

A continuación se presentan los hitos de las especialidades de estructura, acabados e instalaciones:

Tabla 3.1. Principales hitos del proyecto Anexo Torre 3

<p>Hito N°05 22/03/2016</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Comprende la entrega del casco limpio sin apuntalamiento hasta el piso 12 (incluye limpieza de ducto de ascensores positivos).
<p>Hito N°06 15/05/2016</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Entrega de basamento terminado para Indeci (sótanos, piso 1 y 2).
<p>Hito N°07 30/05/2016</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Entrega de niveles del piso 3 al 7 terminados.
<p>Hito N°08 27/07/2016</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Entrega de terminaciones, cerramientos e instalaciones (Incluye muro cortina, IIMM, comunicaciones, control BMS).

3.2 Gestión del proyecto

La empresa contratista del proyecto Edificio Anexo Torre 3, aplica el sistema Last Planner para la planificación y control de avance de obra gruesa, acabados e instalaciones.

En la fase de acabados existe un jefe de producción general, dos asistentes de campo encargados de sótanos, un jefe de campo encargado de los pisos superiores y un asistente de campo encargado del muro cortina. En el caso de la partida de instalaciones y equipamiento, existe un jefe de especialidad, el cual tiene bajo su cargo a un asistente de campo.

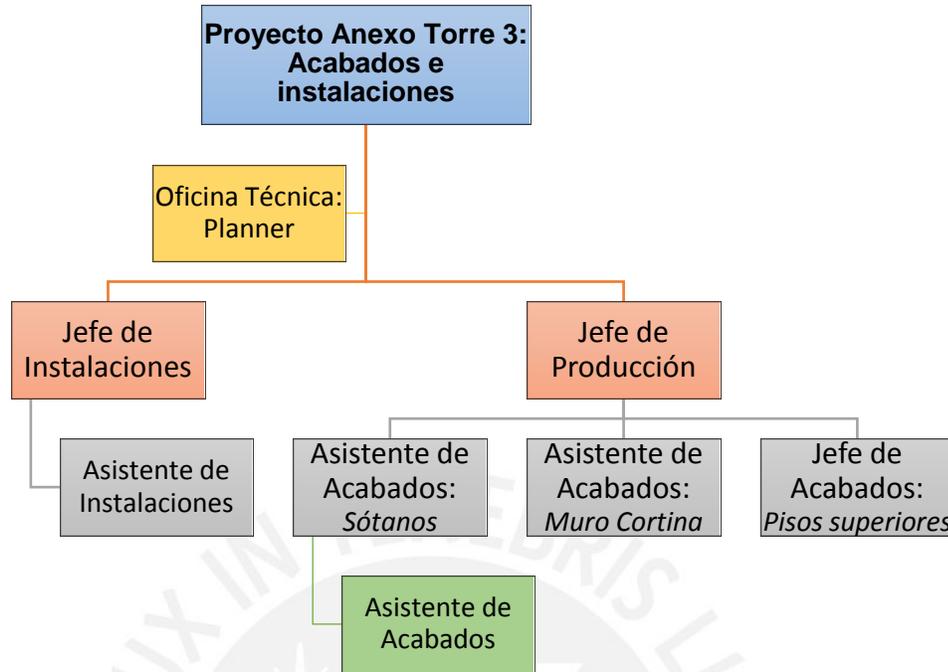


Figura 3.3. División del proyecto en la fase de acabados e instalaciones

La implementación y evaluación de resultados de la herramienta Lean Pull Planning será en la fase de acabados en pisos superiores (desde el 1 hasta el 12). En esta fase, se realizan tres programaciones diferentes:

- **Piso 1:** Cuenta con un lobby y un hall de ascensores en el cual se ubican 6 ascensores, la escalera de evacuación, una sala de usos múltiples, local comercial y restaurantes.
- **Piso 2:** En este piso se encuentra la administración, el cuarto de control, sala para proveedores con sus respectivos SS.HH y el segundo piso de los restaurantes y local comercial.
- **Piso 3 al 12:** Tienen planta libre, diseñados para dividirse hasta en dos oficinas, cada uno de ellos tiene hall de ascensores, batería de baños, escaleras de evacuación presurizadas, cuarto de data, cuarto eléctrico y planta libre de oficinas.

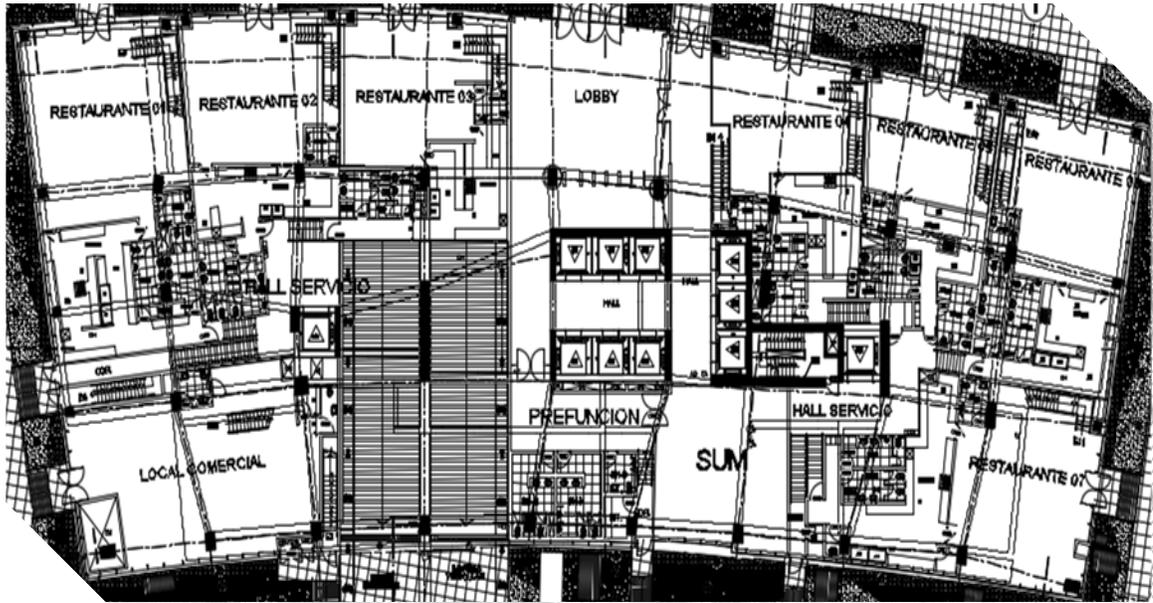


Figura 3.4. Plano de arquitectura del primer piso – Edificio Anexo Torre 3

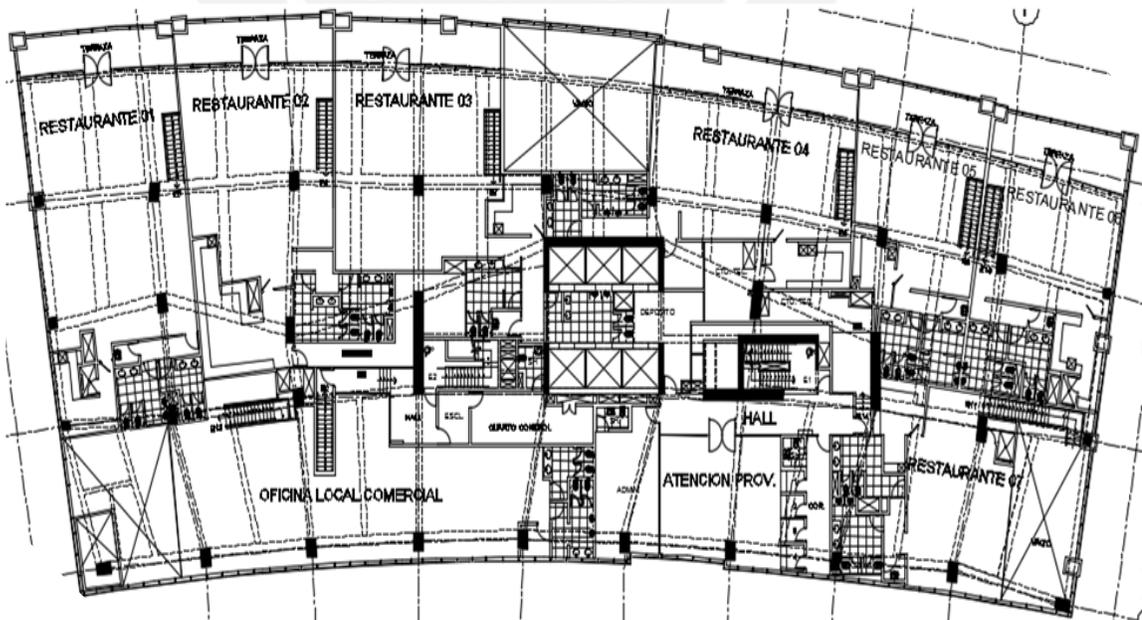


Figura 3.5. Plano de arquitectura del segundo piso – Edificio Anexo Torre 3

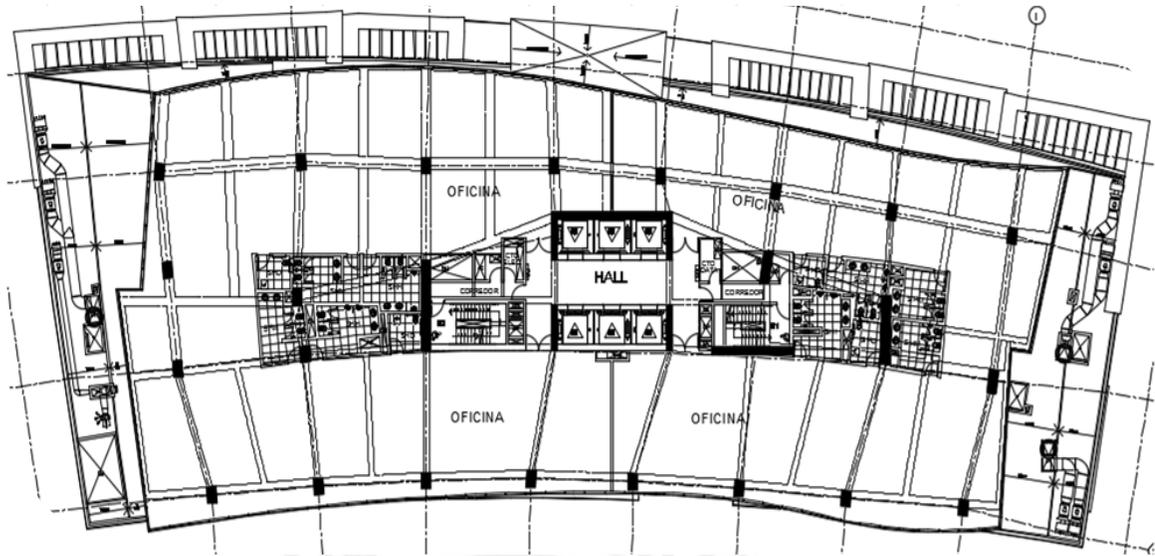


Figura 3.6. Plano de arquitectura piso típico – Edificio Anexo Torre 3

Esta fase de acabados de pisos superiores está administrada por un solo jefe de campo, el cual es dirigido por el jefe de producción. Sin embargo, se realizan tres programaciones distintas debido a que el piso 1 y 2 no son plantas típicas, mientras que del piso 3 en adelante son plantas de oficinas.

Para obtener un análisis veraz de la eficacia de la aplicación del Sistema Last Planner en la obra, se realizó una encuesta al residente del proyecto y a los jefes de campo, tanto de obra gruesa como acabados. El análisis de estos resultados pertenecerá a la línea base del proyecto.

A continuación se presenta el modelo de cuestionario aplicado en el proyecto Anexo Torre 3.

CUESTIONARIO DE ENTREVISTA A INGENIEROS DE LA OBRA “ANEXO TORRE 3”
**ESTUDIO DE LA EFICACIA DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA LAST PLANNER
EN EL PROYECTO “ANEXO TORRE 3”**

1. Datos del encuestado:

NOMBRES Y APELLIDOS:

CARGO:

RESPONSABILIDAD EN EL LPS:

2. ¿Quiénes son los encargados de realizar la planificación de las actividades a realizarse en campo? ¿Qué herramientas utilizan de apoyo?
3. ¿Qué criterio o qué factores se evaluaron para diseñar el tren de actividades del proyecto? ¿Existió alguna consideración extra para el tren de los sótanos?
4. ¿Los capataces son partícipes de la programación de las actividades a ejecutarse?
5. ¿Considera que la forma como se transmiten las indicaciones de ejecución hacia los capataces es adecuada? ¿Ha tenido problemas constructivos por un mal entendimiento de las indicaciones? ¿Cómo cree que se puede mejorar la comunicación con ellos?
6. ¿Cuáles son las principales restricciones semanales que originan que las actividades planificadas no se puedan cumplir en su totalidad? ¿Cuál es el PPC promedio de la obra? ¿Cuál es el cumplimiento de sótanos comparado con las torres?
7. ¿Existe algún sistema de retroalimentación de las restricciones que ayude a mejorar los flujos de trabajo?
8. ¿Cuáles son los principales retrabajos que han existido en obra? ¿Cuáles son las causas que los originan?
9. ¿Cuáles han sido las principales desviaciones de costos y plazos que se han dado en obra a causa de no haber identificado restricciones?

3.2.1 Resultados obtenidos a partir de la entrevista a expertos.

Tabla 3.2. Resultados obtenidos de la encuesta a ingenieros de campo

Pregunta / Respuesta	Ingeniero 1	Ingeniero 2	Ingeniero 3
Cargo en el proyecto	Residente de obra	Jefe de campo	Jefe de campo
¿Quiénes son los encargados de realizar la planificación de las actividades a realizarse en campo? ¿Qué herramientas utilizan de apoyo?	Los jefes de campo realizan la planificación de las actividades, además existe un ingeniero que realiza el seguimiento de avance y control de cumplimiento de lo programado. Las herramientas que se utilizan son el Look Ahead, plan semanal y tren de trabajo, los cuales se elaboran en formato Excel.	Los encargados son los ingenieros de campo. Los formatos que se utilizan son para la planificación de cuatro semanas (Look Ahead), semanal y diaria. Todos estos son elaborados en formatos Excel.	Los encargados son los ingenieros de campo, sin embargo, en ciertas ocasiones también me apoyo con mis capataces con la ayuda de un plano.
¿Qué criterio o qué factores se evaluaron para diseñar el tren de actividades del proyecto?	Primero se revisaron los planos del proyecto, luego se identificaron los hitos contractuales y se definió los cronogramas metas. Posteriormente se hicieron las sectorizaciones de acuerdo a la carga de trabajo planificada y los recursos.	Se evaluaron los frentes de trabajo, metrados, cuadrillas y los procesos constructivos.	Primero se tiene que saber la programación maestra y de acuerdo a esta definir el tren de actividades, además se tiene que tener los planos como referencia.
¿Los capataces son partícipes de la programación de las actividades a ejecutarse?	Al principio de obra sí, luego se perdió por la evolución y complicación de la obra.	Anteriormente el maestro de obra estaba involucrado en la planificación, sin embargo los capataces no son parte de este proceso.	En algunas ocasiones al finalizar las tareas diarias. Se analizan las actividades cumplidas y se reprograman las que no se pudieron ejecutar.

Tabla 3.2. (Continuación). Resultados obtenidos de la encuesta a ingenieros de campo

Pregunta / Respuesta	Ingeniero 1	Ingeniero 2	Ingeniero 3
<p>¿Considera que la forma como se transmiten las indicaciones hacia los capataces es adecuada? ¿Ha tenido problemas constructivos por un mal entendimiento? ¿Cómo cree que se puede mejorar la comunicación?</p>	<p>No ha existido una buena comunicación, se ha podido subsanar errores antes de cometerlos, pero si se han perdido muchas horas hombre al tratar de remediar los errores. La comunicación debería ser diaria entre los capataces y los jefes de campo, además la planificación debería ser en conjunto con la vista de planos en un gabinete. Las reuniones deberían de ser diarias.</p>	<p>No existe ningún problema en la comunicación, sin embargo, la comunicación puede mejorar si ellos reciben capacitaciones acerca de las diferentes herramientas de planificación, porque les permite captar mejor las ideas.</p>	<p>En campo siempre van a existir problemas, ya que casi siempre van a existir trabajos rehechos. Hasta ahora todos los problemas que han existido han sido en su mayoría por indefiniciones en los planos.</p>
<p>¿Cuáles son las principales restricciones semanales que originan que las actividades planificadas no se puedan cumplir en su totalidad? ¿Cuál es el PPC promedio de la obra? ¿Cuál es el cumplimiento de sótanos comparado con las torres?</p>	<p>La meta inicial de la obra el tener un PPC de 90%, sin embargo no se pudo llegar a ese cumplimiento debido a una mala identificación de restricciones.</p>	<p>Las principales restricciones son la falta de disponibilidad de recursos, ya que muchas veces se tiene las cuadrillas completas, pero no se pueden concluir las actividades ya que, por ejemplo, porque no ha llegado la arena. En otras ocasiones es que al existir muchos frentes de trabajo la mano de obra se dispersa y no es suficiente, debería existir una cuadrilla volante para mejorar esto. El PPC promedio es 75%</p>	<p>Las principales restricciones son los planos, por detalles no definidos o cambios en estos, lo cual origina que los trabajos sean paralizados, además muchas veces el proveedor no cumple con el despacho de materiales. El porcentaje que se cumple a la semana es 75%.</p>

Tabla 3.2. (Continuación). Resultados obtenidos de la encuesta a ingenieros de campo

Pregunta / Respuesta	Ingeniero 1	Ingeniero 2	Ingeniero 3
¿Existe algún sistema de retroalimentación de las restricciones que ayude a mejorar los flujos de trabajo?	Sí, anteriormente se tuvo reuniones con los jefes de subcontratas. Sin embargo, por motivos de tiempo se dejaron de realizar.	No. Sin embargo, deberían existir reuniones al término del día con los capataces, para analizar el motivo de incumplimiento de actividades y planificar las actividades del día siguiente, además de los materiales y los recursos.	Sí, en las reprogramaciones a veces participa residencia y oficina técnica, ellos se encargan de realizar las coordinaciones con los proveedores o enviar los RFI a la supervisión.
¿Cuáles son los principales retrabajos que han existido en obra? ¿Cuáles son las causas que los originan?	Reparaciones de desplomes en muros, segregaciones, demoliciones de muros de bloquetas, retiro de drywall ya instalado por cambios en instalaciones.	Retiro de instalaciones por modificaciones en planos, reparación de losas y columnas por cangrejeras. Esto se debe a que no existe un personal que controle estos procesos, debería ser un ingeniero del área de calidad.	Reparaciones de desplomes. La causa ha sido la ineficiencia del capataz, ya que muchas veces los trabajos fueron de noche, por lo cual el control de este proceso no fue el adecuado.

Según lo señalado por los profesionales entrevistados, existe una planificación maestra, la cual ha sido elaborada en el programa MS Project, de acuerdo a los hitos establecidos en el contrato de obra. Tomando como base esta programación se ha elaborado el Look Ahead Planning para cuatro semanas, en el cual se deben de ingresar las restricciones potenciales de las actividades planificadas, con el fin de solucionarlas antes que comience la ejecución de las actividades.

Además, cada semana los jefes de campo elaboran un plan semanal y un plan diario, en el cual se colocan las partidas que pueden ser ejecutadas, en este nivel de detalle

debería ser más fácil poder identificar las restricciones y encontrar alguna solución para estas. Todas estas herramientas de control son elaboradas en formato Excel.

Sin embargo, la programación es realizada, de forma separada, por los jefes de campo de la contratista, por lo cual solo pueden identificar las restricciones de su especialidad. Esto tiene como consecuencia que durante la ejecución de actividades se presentan interferencias con las demás especialidades, lo cual restringe el cumplimiento de muchas partidas.

Por otro lado, tampoco se considera como parte de la planificación de actividades a los jefes de las subcontratas. Como consecuencia, ellos no pueden programar a tiempo los recursos, tanto humanos como materiales, para cumplir con las actividades programadas.

El cumplimiento de estas actividades programadas se evalúa mediante el porcentaje de plan cumplido (PPC). Este formato es elaborado y controlado por el Planner del proyecto (miembro del área de Oficina Técnica).

En el proyecto Edificio Anexo Torre 3, la meta inicial fue obtener un PPC de 90%; sin embargo, el PPC real promedio de obra se encuentra entre 70% y 75%. Las causas de este bajo cumplimiento de programación son una mala identificación de restricciones, falta de disponibilidad de materiales e insuficiente mano de obra. La sugerencia realizada por uno de los profesionales encuestados fue la inclusión a obra de una cuadrilla volante, la cual realice actividades como orden y limpieza, eliminación de desmonte, picados y resanes, con la finalidad de que el avance de las cuadrillas de actividades productivas se mantengan constante y su rendimiento pueda ser cuantificable.

Tabla 3.2. PPC entre noviembre y diciembre del 2015 de la etapa de casco.

Semana	PPC
Sem 43	74%
Sem 44	73%
Sem 45	70%
Sem 46	71%
Sem 47	73%
Sem 48	75%
Sem 49	70%
Sem 50	73%

Para la elaboración del tren de actividades, primero se definió el cronograma meta tomando como referencia los hitos contractuales. Posteriormente, con el fin de estandarizar los procesos se procedió a evaluar los frentes de trabajo y realizar las sectorizaciones de acuerdo a los recursos. La etapa de acabados fue dividida en 3 unidades de producción: sótanos, pisos superiores y muro cortina. En esta tesis se analiza las mejoras obtenidas por la implementación de la herramienta “Pull Planning” en los acabados de pisos superiores. En los niveles superiores se elaboró un tren de actividades por plantas típicas, los cuales a su vez se dividían en ambientes.

No obstante, la planificación de la obra es realizada solo por los ingenieros de campo y el Planner del proyecto, sin considerar a los subcontratos ni capataces, quienes son los que tienen comunicación directa con los operarios. Como consecuencia, muchas veces la programación del trabajo semanal es sobrecargada, originando PPC bajos. Otra complicación que se origina por la no inclusión de los jefes de subcontratos ni capataces en la planificación, es un mal entendimiento de las indicaciones, lo que genera trabajos rehechos y pérdidas de horas hombre.

Los ingenieros encuestados consideran que algunas medidas correctivas para este problema son reuniones diarias entre jefes de campo de la contratista, subcontratas y capataces, en las cuales se realice la planificación de actividades en conjunto mediante la revisión de los planos de obra. Además, los jefes de campo deberían de recibir capacitaciones de uso de las herramientas de planificación, con la finalidad de un mejor entendimiento de estas. Asimismo, en las reuniones se debería de realizar una retroalimentación del día, en las cuales se analicen las causas de incumplimiento de las actividades planificadas, con el fin de evitar tener los mismos inconvenientes en actividades similares.

3.3 Selección de indicadores de control

En este trabajo de tesis se realizará un análisis comparativo entre la gestión inicial del proyecto, la cual ha sido explicada en la sección anterior, y la gestión del proyecto luego de haber implementado la herramienta Lean “Pull Planning”. Para poder realizar este análisis es imprescindible poder cuantificar las mejoras, por este motivo se necesita usar determinados indicadores de control.

- PPC:

El porcentaje de plan cumplido ocupa el cuarto lugar en la jerarquía Last Planner. Se calcula dividiendo el número de trabajos ejecutados en una semana entre los programados. Un alto PPC significa que los trabajos se están cumpliendo de acuerdo a lo planificado.

- Factor de producción:

El factor de producción es la relación entre las horas hombre gastadas (de acuerdo a los tareas de obra) entre las horas hombre ganadas. Las horas hombre ganadas son aquellas que miden las horas hombre que debieron haber sido gastadas de acuerdo al metrado de avance. Los ratios de HH/unidad de metrado son calculados por Oficina Técnica. Un factor de 1 es óptimo, ya que significa que el 100% de las horas hombres utilizadas durante la semana han contribuido como producción.

Por ejemplo, si una cuadrilla de albañilería que realiza tarrajes tiene 8 obreros, los cuales trabajan 8.5 horas diarias, las HH gastadas en el día son 68. Por otro lado, el ratio de HH/m² para la partida de tarrajeo es de 0.543, por lo cual si esta cuadrilla avanza 100 m² en ese día, las HH ganadas serán 54.3. Dividiendo ambos resultados el PF de esa cuadrilla sería 1.25, lo cual nos indica que la cuadrilla tiene un rendimiento menor al planificado.

- Task Made Ready (TMR):

De acuerdo a la publicación realizada por Farok y Omar, en el paper “Modelado de métricas del Last Planner System: Caso de estudio de la compañía AEC” (2013), este indicador es definido como la métrica del performance del Look Ahead Planning en la identificación y eliminación de restricciones, con la finalidad que se pueda lograr un mayor PPC semanal. Es decir, se identifican las restricciones de las actividades que se encuentran programadas en el Look Ahead Planning y se programan aquellas que el equipo está dispuesto a realizar.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Farok y Omar en su caso de estudio de la compañía AEC, el TMR es directamente proporcional al PPC.

Este factor se calcula mediante la división de 2 indicadores: **TTC / TTA**

- ✓ TTC (Total de tareas a completar): Tareas planificadas para la semana que sí se podrán ejecutar, esta información se conoce luego de realizar el análisis de restricciones.
- ✓ TTA (Total de tareas anticipadas): Tareas planificadas con más de una semana de anticipación, es decir en el Look Ahead Planning.

- Grado de implementación del LPS:

El grado de implementación del LPS en un proyecto se mide a través de la asignación de puntaje a determinados ítems. Como se desarrolló en el capítulo 2.2.1, los autores del paper “Improving the production planning and control system in a building company: Contributions after stabilization.” consideran 14 ítems de control para este indicador, los cuales aparecen en la tabla 2.1.

Posteriormente, en el año 2015, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE por sus siglas en inglés) publicó el paper “Effects of the Last Planner System on Social Networks among Construction Trade Crews”, en el cual se presentaban 15 ítems de control de este indicador, los cuales serán considerados para evaluar este indicador en el proyecto Anexo Torre 3.

3.4 Resultados de la aplicación de LPS en el proyecto: Línea base

El control de la producción y cumplimiento de la programación de avance de la obra Anexo Torre 3 se medirá a través de los siguientes indicadores:

3.4.1 PPC (Porcentaje de Plan Cumplido)

El análisis de este indicador se realizó para 10 semanas consecutivas de avance del proyecto, desde el 4 de enero hasta el 12 de marzo del 2016. Como se ha mencionado anteriormente, el análisis de porcentaje de cumplimiento se analizará para la etapa de acabados en pisos superiores. Para esta etapa se elaboran tres PPC: para el piso 1, para el piso 2 y para los pisos 3 al 12. A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos para 10 semanas de análisis:

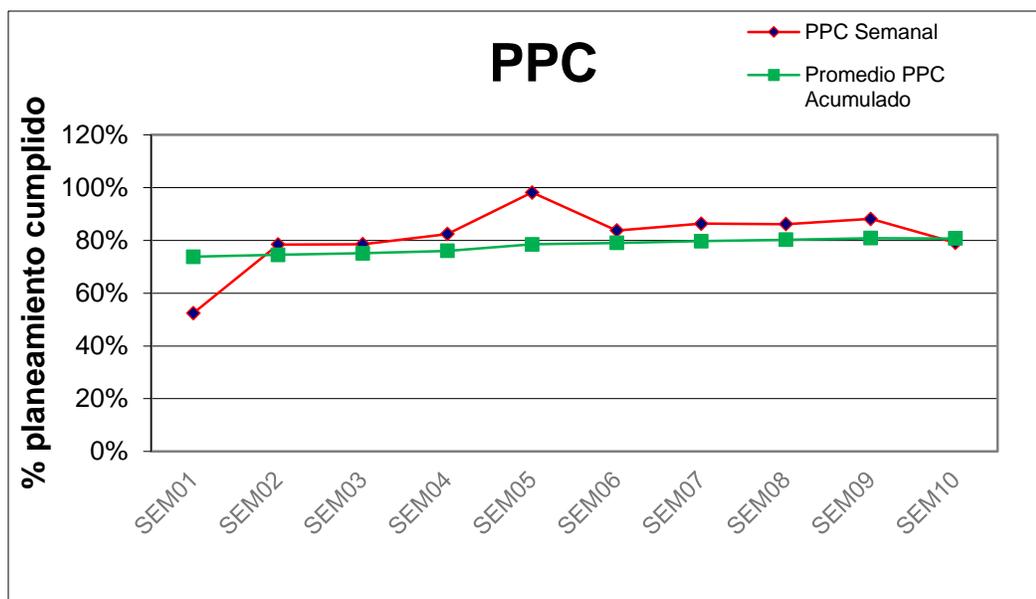
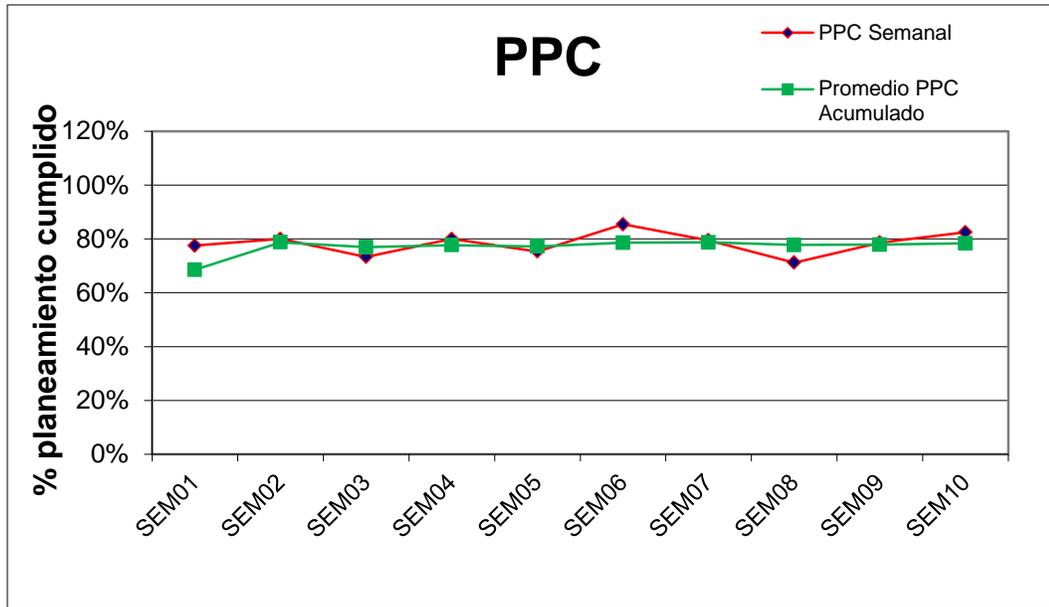
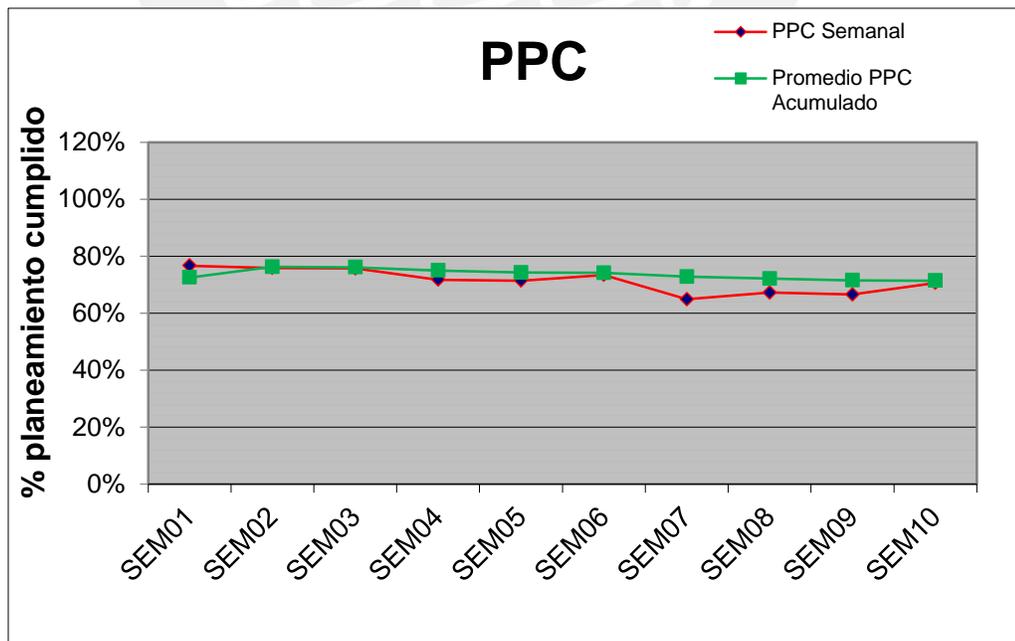


Figura 3.7. PPC en el piso 1



Control	SEM01	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05	SEM06	SEM07	SEM08	SEM09	SEM10
Semanal	78%	80%	73%	80%	75%	85%	79%	71%	79%	82%
Acumulado	69%	79%	77%	78%	77%	79%	79%	78%	78%	78%

Figura 3.8. PPC en el piso 2



Control	SEM01	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05	SEM06	SEM07	SEM08	SEM09	SEM10
Semanal	77%	76%	76%	72%	71%	73%	65%	67%	67%	71%
Acumulado	73%	76%	76%	75%	74%	74%	73%	72%	72%	71%

Figura 3.9. PPC desde el piso 3 al 12

Se analiza de forma separada el PPC del piso 1 y 2 debido a no son ambientes típicos del edificio, los cuales son las áreas para oficinas y empiezan en el piso 3. Además, estos dos niveles comprenden el lobby del edificio, local comercial y los restaurantes, ambientes que tienen mayor nivel de detalle de acabados. Los demás niveles son oficinas, la contratista solo se ocupa de los acabados en las áreas comunes y baños.

Del gráfico se observa que el PPC promedio del piso 1 es 81 %, con un mínimo de 52% de cumplimiento y un máximo de 98%. Por otro lado, en el piso 2 el PPC promedio es de 78% y en los demás niveles es 71%.

Existen distintas causas de incumplimiento de actividades en el proyecto, para visualizar rápidamente las causas de mayor influencia y plantear soluciones y oportunidades de mejora, a continuación se presenta un gráfico de Pareto. Según el enunciado de Pareto “el 80% de los problemas que se presentan provienen de sólo un 20% de las causas”. Identificar estas causas principales permite tomar decisiones basadas en prioridades.

Tabla 3.3. Tabla de frecuencia de causas de incumplimiento

Causas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia relativa acumulada (%)
Trabajos incompletos de instalaciones	49	49	25	25
Falta de ingreso a obra de subcontrata	41	90	21	46
Trabajos incompletos de estructura	26	116	13	59
Falta de personal o material	24	140	12	71
Falta de detalles	19	159	10	81
RFI's sin respuesta	14	173	7	88
Aprobación de muestras por Supervisión	7	180	4	92
Indefiniciones del cliente	7	187	4	95
Restricciones de seguridad	6	193	3	98
Modificaciones en planos sin formalización	3	196	2	100

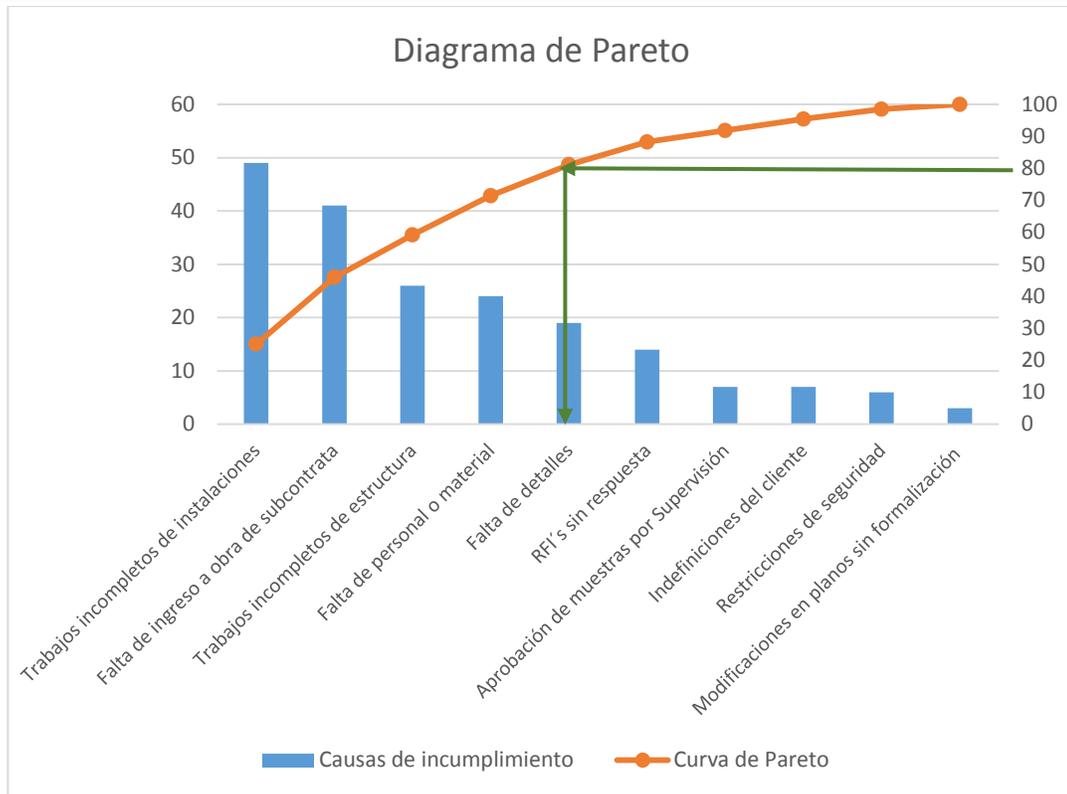


Figura 3.10. Diagrama de Pareto de causas de incumplimiento

De los resultados, se concluye que las principales causas de incumplimiento son los trabajos incompletos de la especialidad de instalaciones, falta de ingreso de subcontratas al proyecto (el área de Oficina Técnica es el encargado de este punto), trabajos incompletos de estructuras y falta de personal o material para la ejecución de las actividades planificadas. Estas restricciones involucran a todas las áreas del proyecto, por lo cual es necesario el compromiso de todos los profesionales, tanto contratista, subcontratos y Supervisión.

3.4.2 Factor de producción.

El control de este indicador se realizó en las mismas fechas del análisis del PPC, es decir, para 10 semanas consecutivas de avance del proyecto, desde el 4 de enero hasta el 12 de marzo del 2016. El PF es un indicador que se controla solo para las

actividades realizadas por la contratista, ya que los pagos a subcontratas son por avances y no por HH consumidas.

Tabla 3.4. Resumen de PFs durante 10 semanas

Control	Capataz	Partida	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 5	sem 6	sem 7	sem 8	sem 9	sem 10
Sem	OLAYUNCA	ALBAÑILERIA	1.95	3.55	3.39	1.59	1.93	2.28	2.28	1.88	2.52	2.99
Sem	ZAMBRANO	ALBAÑILERIA	1.39	1.71	1.37	1.89	3.28	3.68	2.08	1.93	2.13	1.74

Control	Capataz	Partida	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 5	sem 6	sem 7	sem 8	sem 9	sem 10
Acum	OLAYUNCA	ALBAÑILERIA	1.95	2.52	2.74	2.40	2.29	2.29	2.36	2.14	2.07	2.28
Acum	ZAMBRANO	ALBAÑILERIA	1.39	1.54	1.48	1.56	1.75	1.86	2.03	2.11	2.39	2.46

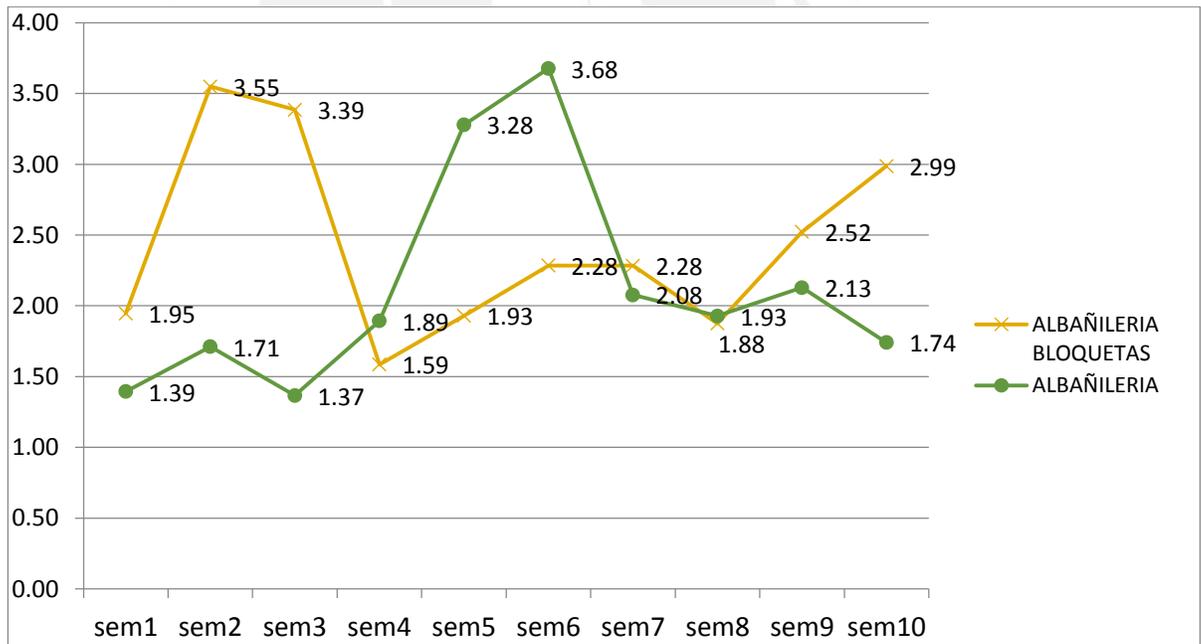


Figura 3.11. Histograma de factor de producción

El control de PF que se tiene en el proyecto es por capataz y por tipo de partida tanto en obra gruesa como en acabados. Como la aplicación de la herramienta “Pull

Planning” se realiza en la etapa de acabados, solo se analizará el resultado de PF de esta especialidad.

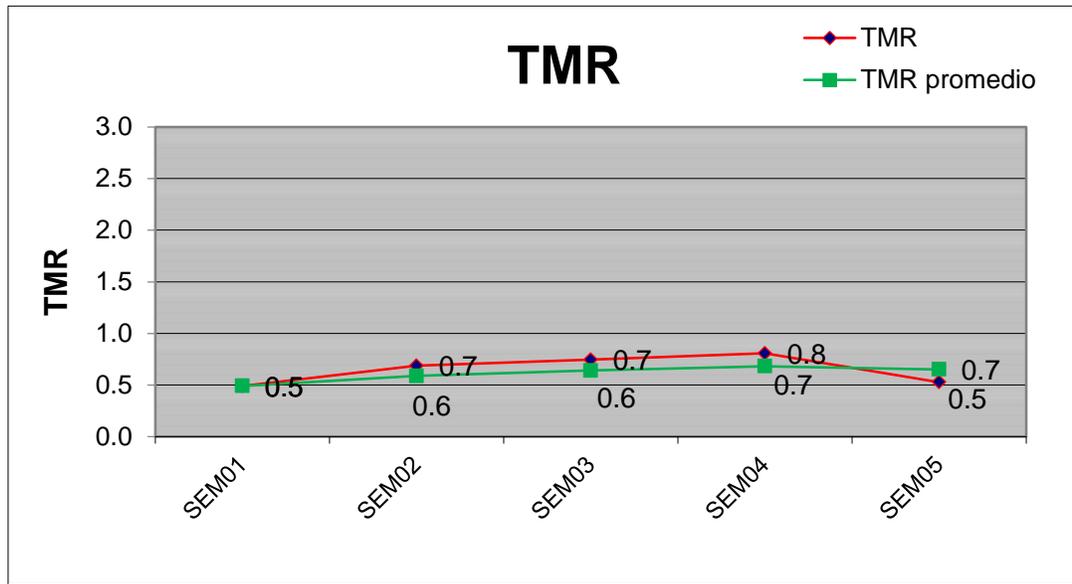
Como se observa en el cuadro, la empresa contratista tiene dos cuadrillas encargadas de la partida de acabados: la de color crema, que se encarga del asentado de bloquetas, y la de color verde, en la cual realizan actividades de tarrajeo, solaqueo, derrames y limpiezas de viga. En el caso que sea necesario realizar algún picado o resane antes de ejecutar la partida de albañilería, esta cuadrilla es la responsable de realizarlo.

De acuerdo a los datos del histograma, el factor de producción de las cuadrillas de acabados es de 2.4 en promedio. Este resultado nos indica que del total de horas hombres utilizadas en la semana, la cuadrilla ejecuta menos de la mitad del avance programado con respecto a las horas hombres que han consumido. Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos en las entrevistas realizadas a los ingenieros de campo del proyecto, los cuales declararon que existen trabajos rehechos, falta de análisis de restricciones y en ciertas ocasiones malas comunicaciones con los jefes de campo y capataces de obra, por lo cual los trabajos programados no se cumplen en su totalidad.

3.4.3 Task Made Ready (TMR):

En este caso, se evaluará la cantidad de trabajo programado según el Look Ahead Planning dos semanas antes (TTA) y la cantidad de trabajo programada semanalmente que sí podrá ser ejecutado (TTC). Ambos son programados por el jefe de campo.

Como se ha mencionado antes, la fase de análisis de esta tesis en el proyecto Anexo Torre 3 es en la fase de acabados de pisos superiores, el cual a su vez está dividido en piso 1, piso 2 y pisos del 3 al 12. Para obtener solo un valor de control de este indicador se sumarán el total de actividades programadas para estas tres programaciones.



	SEM01	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05
Tareas planificadas LAP	49	51	43	62	72
Tareas semanales con restricciones levantadas	24	35	32	50	38
TMR	0.5	0.7	0.7	0.8	0.5
TMR promedio	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7

Figura 3.12. Medición de TMR para 5 semanas

De los resultados obtenidos se observa que las actividades que se podrán ejecutar semanalmente son menos que las planificadas con dos semanas de anticipación en el Look Ahead Planning.

Aproximadamente el 35% de las actividades planificadas en la semana se proyectan a no ser ejecutadas debido a restricciones que no pueden ser levantadas, entre estas atrasos de la especialidad de instalaciones (eléctrica, sanitaria, mecánica, ACI), falta de ingreso de subcontratistas, falta de materiales por no haber realizado el pedido a tiempo, falta de respuestas a RFI's, falta de detalles, entre otros.

Esta identificación de restricciones son elaboradas de manera individual por cada jefe de campo, sin comunicación con los jefes de las demás especialidades ni los subcontratistas. El principal problema de este tipo de programaciones es que, si bien

es cierto se están identificando restricciones, no se consulta a los responsables si cuentan con los recursos necesarios para su levantamiento o si pueden entregarlo para la fecha propuesta por el jefe de campo que realiza la programación. Como consecuencia, muchas veces estas restricciones no son levantadas y, aunque hayan sido identificadas a tiempo, originan paralizaciones de las actividades y un PPC bajo.

3.4.4 Grado de implementación del LPS

La evaluación de este indicador es subjetivo, ya que el puntaje que se le asigna a cada ítem se basa en la observación de la planificación de las actividades y en control de estas en un proyecto de construcción.

Se medirán 15 actividades relacionadas con la implementación del LPS en un proyecto y se le asignará puntajes entre 0 y 1 de acuerdo a su nivel de implementación en el proyecto de oficina "Anexo Torre 3".

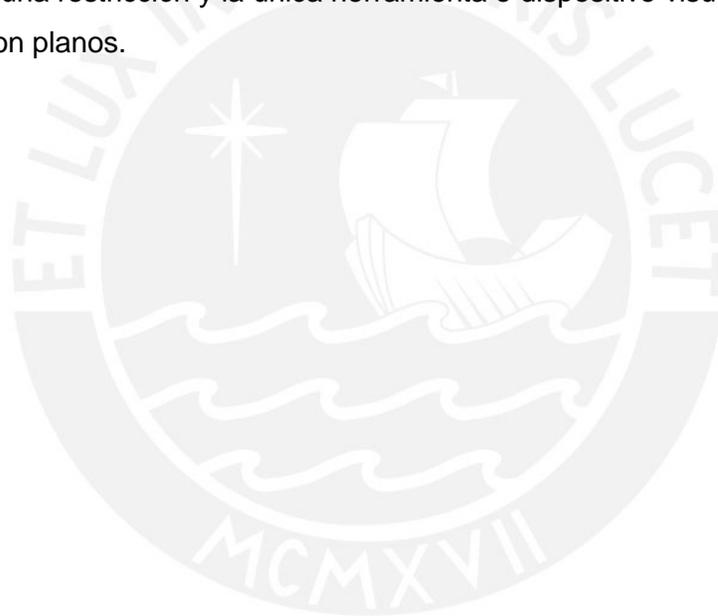
- ✓ Puntaje 1: Totalmente implementada (C)
- ✓ Puntaje 0.5: Parcialmente implementada (P)
- ✓ Puntaje 0: No ha sido implementada (N)

Tabla 3.5. Implementación del LPS en el proyecto

Ítem	Actividad	Puntaje
1.-	Formalización de planificación y control de procesos	0.5
2.-	Estandarización de reuniones de planificación a corto plazo	0
3.-	Uso de dispositivos visuales	0.5
4.-	Uso de PPC y acciones correctivas en causantes de actividades no cumplidas	0.5
5.-	Análisis crítico de información	0
6.-	Correcta definición de los paquetes de trabajo	0.5
7.-	Actualización del plan maestro, cuando sea necesario	0
8.-	Estandarización de reuniones de planificación a mediano plazo	0
9.-	Inclusión de actividades sin restricciones en planificaciones a corto plazo	0
10.-	Participación del equipo de trabajo en reuniones de planificación a corto plazo y toma de decisiones	0

11.-	Planificación y control de los flujos de trabajo	0.5
12.-	Medición de indicadores	0.5
13.-	Eliminación sistemática de restricciones	0.5
14.-	Uso de un plan maestro que sea fácil de entender, como una Línea de Balance	0
15.-	Planificación de trabajos de reserva	0
Puntaje total		3.5

De los resultados obtenidos, se observa que el nivel de implementación del LPS en el proyecto es un 23%. No existen reuniones de planificación ni a corto ni mediano plazo, no se verifica si las actividades que se consideran en la programación a corto plazo no tienen ninguna restricción y la única herramienta o dispositivo visual que se utiliza en el proyecto son planos.



Capítulo 4: Implementación de herramientas Lean y LP

4.1 Selección de una herramienta

De acuerdo a lo planteado en el capítulo anterior, la empresa contratista aplica algunos de los componentes del Last Planner System en la planificación y control de avance de sus actividades. Sin embargo, los resultados obtenidos no son totalmente satisfactorios debido a que no existe un correcto análisis de las restricciones, lo cual genera trabajos no ejecutados por falta de mano de obra o materiales. Además, existen una gran cantidad de retrabajos por una incorrecta comunicación de los jefes de campo con los capataces, por modificaciones en planos, detalles incompletos por parte de los proyectistas, falta de un personal que controle los procesos constructivos en obra o falta de concentración de los operarios en sus labores. Este último punto es crítico, ya que la falta de concentración de los trabajadores no solo origina mala calidad de trabajos, sino son causantes de altas tasas de accidentabilidad en las obras de construcción. (Breña, 2012). A continuación se desarrollará un cuadro comparativo de todas las herramientas que se plantearon en el capítulo 2.3 y se escogerá la que mejor se adapte al proyecto Anexo Torre 3.

Tabla 4.1. Cuadro comparativo de herramientas Lean

Herramienta Lean	Beneficios	Dificultades en obra
Pull Planning	<ul style="list-style-type: none"> - Componente del LPS. - Participación de todos los involucrados en el proyecto (inclusión de capataces). - Análisis de restricciones en conjunto. - Su implementación no es costosa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinación y reuniones de todo el equipo de obra.
Línea de balance	<ul style="list-style-type: none"> - Programación gráfica (mejor control y entendimiento). - Permite controlar de manera visual en avance del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - El plan maestro de la obra ya se encuentra elaborado. - Disponibilidad de recursos.
Las 5'S	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de riesgos de obra y mejor productividad. - Lugares de trabajo limpios y ordenados. - Trabajadores motivados e identificados con la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su implementación puede ser costosa. - El periodo de aprendizaje es amplio. - Compromiso de los trabajadores.

Luego de analizadas las herramientas Lean y la gestión del proyecto Anexo Torre 3, se decidió implementar el Pull Planning, ya que complementaría el uso del Last Planner System en el proyecto. Por otro lado, resuelve uno de los principales problemas de la planificación del proyecto, el cual es la falta de participación coordinada de los jefes de campo en la planificación de las actividades. Además, permitirá que el equipo en conjunto analice las restricciones y encuentre soluciones de manera rápida y colaborativa.



Figura 4.1. Elementos necesarios para la implementación de reuniones

En el aspecto económico, la implementación de esta herramienta no ocasionará altos costos, ya que para hacer el mapeo de actividades solo se necesita post-it, planos de obra y plumones. Asimismo, no es necesario habilitar un nuevo ambiente para las reuniones Pull Planning, ya que se puede utilizar la sala de reuniones de obra.

Por otro lado, se ha aplicado parcialmente la herramienta 5'S en el proyecto desde inicio de obra, obteniendo mejoras significativas en el orden y limpieza del proyecto. Si bien es cierto que su finalidad es diferente a la de la herramienta Pull Planning, contribuye a disminuir las condiciones inseguras de obras y por tanto, la accidentabilidad del proyecto. Además, la aplicación de esta herramienta permite tener áreas limpias y ordenadas, lo que hace que los trabajadores se sientan cómodos y

motivados. Sin embargo, la aplicación de esta herramienta ha sido parcial en el proyecto, ya que su alcance es amplio, como se ha mencionado en el Capítulo 2. A continuación, se presentarán algunas fotos de los resultados de la implementación de la herramienta 5'S en proyecto.



Figura 4.2. Charlas donde se fomentan las 5'S

En el proyecto se trata que los trabajadores se encuentren comprometidos con la obra y se sientan cómodos en su área de trabajo. Para lograr esto debe existir respeto y disciplina de todos los involucrados en el proyecto. Una de las acciones que se tomó en el proyecto es el correcto uso de los implementos de seguridad todos los días en las charlas de seguridad. Esto no solo implica que los implementos deben estar completos, sino que también deben estar limpios y cuidados. Deben de ser partícipes de estos estándares todos los trabajadores del proyecto, sin importar la empresa a la cual representen.



Figura 4.3. Selección y ordenamiento de los materiales

De acuerdo a la herramienta 5'S, se deben seleccionar y ordenar las áreas de trabajo de tal forma que no se tengan materiales excedentes que bloqueen los espacios de tránsito de los trabajadores. Además, los materiales deben de ser ubicados en zonas específicas, para que su ubicación sea más fácil.

Por otro lado, se debe señalar adecuadamente las zonas de salida, zonas de trabajo de altura, ductos y acopio de materiales, con la finalidad de disminuir las condiciones inseguras en obra. Si a esto se le suma la concientización de los trabajadores, de tal forma que disminuyan los actos inseguros, la tasa de accidentabilidad de la obra también disminuirá.



pieza de áreas de trabajo

En la aplicación de las 5'S también se indica que las zonas de trabajo se deben de mantener limpias. En el proyecto la limpieza se realiza todos los días, la distribución de los sectores es de acuerdo al espacio que utilizará cada cuadrilla para su actividad. Estas condiciones de orden y limpieza deben de estandarizarse, de tal manera que se convierta en un hábito de los trabajadores y no en una obligación.

La empresa contratista motiva a los trabajadores a mantener estos estándares con premios que se entregan cada mes, además de realizar diferentes campañas en las cuales se les concientiza de los peligros que existen en el sector construcción y las medidas que se deben implementar para minimizarlo.

4.2 Implementación Pull Planning

En el proyecto, se implementaron reuniones semanales de “Pull Planning”. En estas, participaban por parte de la contratista el planner, el jefe de producción y los jefes de campo de acabados e instalaciones. Por parte de los subcontratistas, asistían los jefes de campo o residentes. Se decidió que los participantes de estas reuniones sean profesionales que se encontraban permanentemente en obra, y no gerentes, debido a que los primeros se encuentran al tanto de las planificaciones, avances, recursos del proyecto y además, tienen la capacidad de tomar decisiones en estas reuniones.

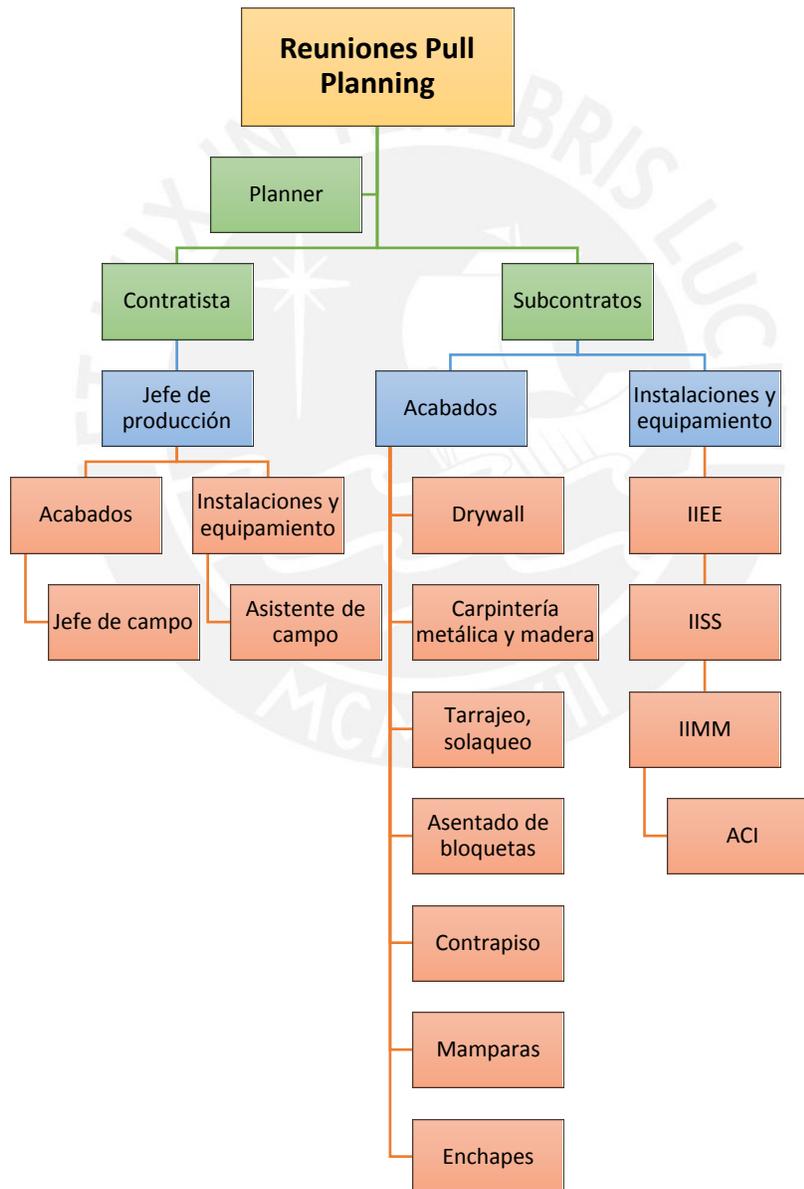


Figura 4.5. Participantes de reuniones Pull Planning

La participación de los subcontratistas en estas reuniones era de carácter obligatoria, condicionándose muchas veces con el pago de sus valorizaciones. Antes de estas reuniones se solicitó que cada jefe se reúna con sus capataces, de tal forma que estos últimos les puedan transmitir las dificultades que se presentaron en la semana y el cumplimiento de las actividades planificadas. En estas reuniones, se evaluaban las actividades que se encontraban programadas para la semana, se identificaban las restricciones y se reprogramaban las actividades hasta obtener una programación sin interferencias que compliquen el cumplimiento semanal. La finalidad de estas reuniones es lograr un flujo de trabajo continuo y cumplir con el plan semanal una vez que se han identificado todas las restricciones.



Figura 4.6. Reuniones Pull Planning, con la participación de los jefes de campo de acabados e instalaciones, así como el Planner de la contratista.

En las reuniones Pull Planning, cada jefe de campo debe de asistir con los trabajos que están programados para ejecución mapeados en planos, de tal forma que sea más fácil identificar las áreas de trabajo y posibles restricciones que se podrían presentar. Sin embargo, surgió un inconveniente, los jefes de campo muchas veces no identificaban todas sus restricciones y durante la ejecución de los trabajos aparecían interferencias no mapeadas que no permitían el total cumplimiento de las actividades planificadas.

Como proceso de mejora, se decidió implementar recorridos de obra antes de las reuniones, con la finalidad de identificar en campo los trabajos planificados de todas las especialidades. De esta forma, se analizaba in situ y en conjunto cada sector, siendo más fácil la identificación de las restricciones.

Otro proceso de mejora fue limitar el tiempo de duración de las reuniones semanales. La primera reunión tuvo una duración de 4 horas y no se terminó de evaluar todos los ambientes del proyecto. Posteriormente se limitó este tiempo a un máximo de dos horas y existía un moderador en cada reunión, de tal forma que las participaciones de los involucrados se desarrollen en orden y sean precisas.

4.3 Estructura de trabajo

La implementación de las reuniones Pull Planning en la etapa de acabados de pisos superiores fueron a corto y mediano plazo.

Para la asignación de colores en el mapeo de procesos primero se optó a darle un color diferente a cada subcontratista, pero, al ser la etapa de acabados, iban a ser más de 15 colores diferentes. Además, la planificación de actividades tenía que ser para 3 unidades de producción distintas: piso 1, piso 2 y pisos desde el 3 al 12. Debido a ambos factores se optó por utilizar 3 colores distintos para el mapeo de procesos:

Color	Nivel
Amarelo	piso 1
Rosa	piso 2
Verde	piso 3 - 12

Por otro lado, la programación de cada nivel se realiza por ambientes, a los cuales se les asigna todos los tipos de acabados que les pertenecen de acuerdo a las Especificaciones Técnicas. De acuerdo al plan maestro y tren de actividades del proyecto, los paquetes de trabajo son los siguientes:

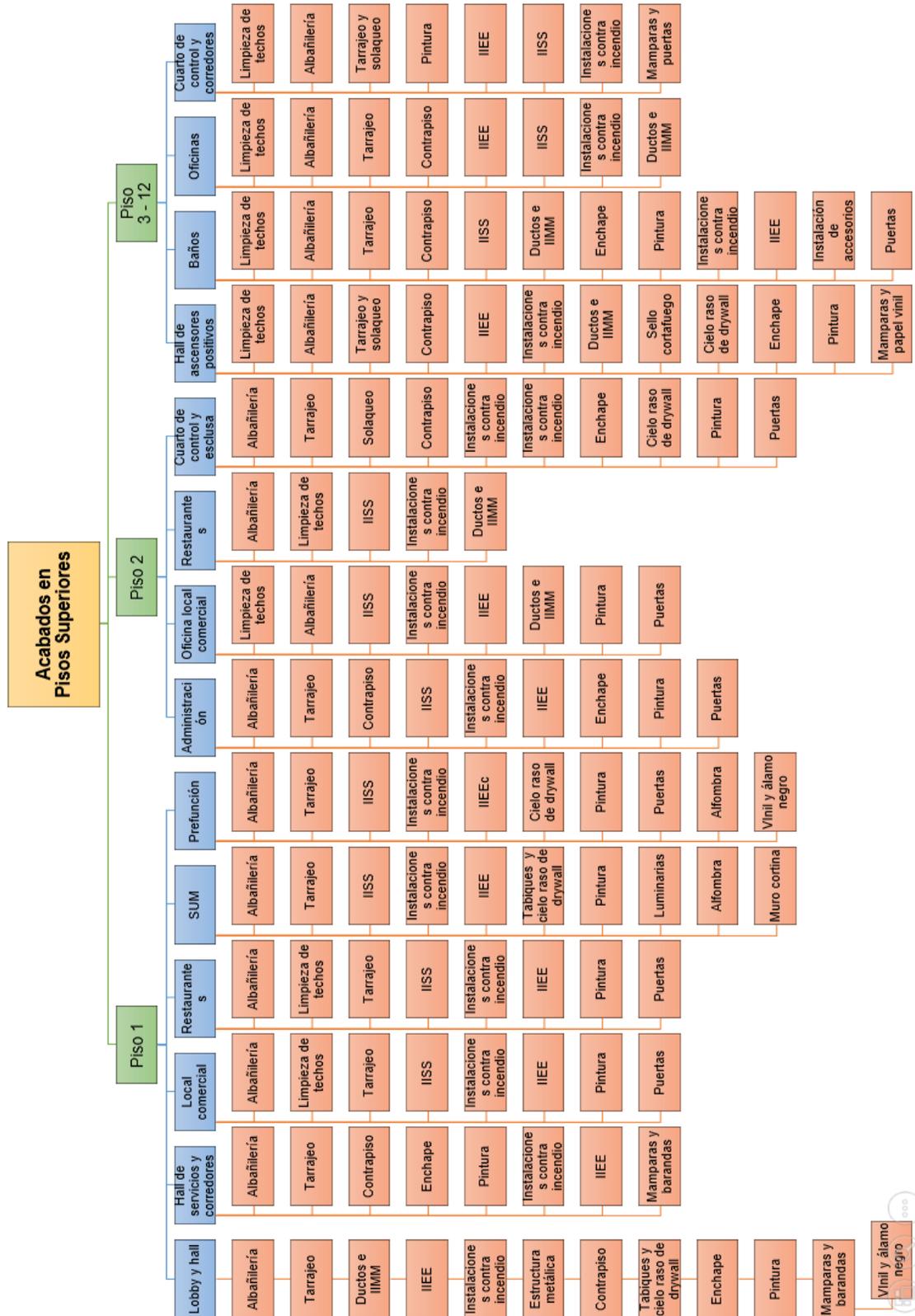


Figura 4.7. Estructura de trabajo de acabados e instalaciones en pisos superiores

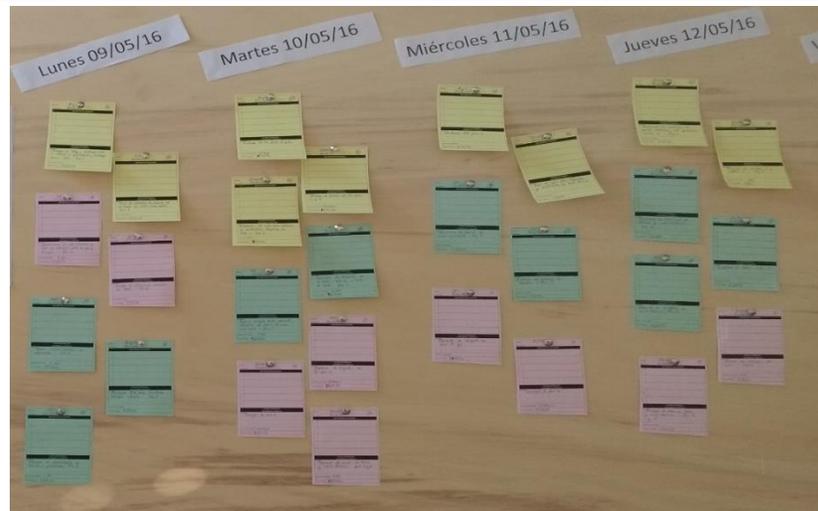


Figura 4.8. Mapeo de procesos diferenciado por colores

Tener identificados los paquetes de trabajo en un proyecto de edificación permite encontrar un flujo de trabajo continuo durante la planificación de actividades, ya que se puede identificar de manera más rápida las restricciones y disminuir las interferencias entre actividades. (Murguía et al., 2016).

4.4 Formatos de control del Pull Planning

Para obtener mejores resultados durante la aplicación de la herramienta Pull Planning en el proyecto “Anexo Torre 3”, se utilizan diferentes formatos, lo cuales se detallan a continuación:

- Metrados:

Esta información debe de ser proporcionada por cada jefe de campo. Los metrados ayudan a identificar la cantidad de personal y recursos que serán necesarios para realizar una actividad en un determinado sector. Además, si es una actividad realizada por personal de la contratista, los metrados permiten tener un mejor control de la producción que debe tener una cuadrilla de acuerdo a la cantidad de personas que la conforman.

- Tren de actividades:

Esta herramienta debe de ser elaborada luego de conocidos los hitos en el plan maestro. Los trenes de actividades de acabados de los pisos superiores tiene la misma división que el PPC: piso 1, piso 2 y las demás plantas típicas. En este tren aparecen las fechas de programación que tiene cada actividad y los metrados vinculados con esta partida.

- Look Ahead Planning:

Con el tren de actividades definido se puede elaborar el Look Ahead Planning. En el proyecto se consideran 4 semanas, este LAP puede ser modificado de acuerdo al cumplimiento de actividades que se presente en el proyecto, con la finalidad de cumplir con los hitos del proyecto.

El Look Ahead Planning fue fundamental en las sesiones Pull Planning, debido a que todas las modificaciones y reprogramaciones de fechas según el análisis de restricciones se realizaba sobre esta herramienta de planificación. Las fechas de fin de las actividades a realizar quedaban definidas cuando todas las restricciones identificadas tenían un responsable y una fecha de levantamiento.

- Análisis de restricciones:

Para realizar el análisis de restricciones en una sesión de Pull Planning, se consideran ocho aspectos principales: seguridad, planos – especificaciones, material, personal, equipos, actividad predecesora, espacio y demás aspectos no mencionados. Una vez identificada la restricción se debe asignar un responsable, que puede ser una persona en específico o un área, y una fecha de solución del problema. Esta restricción, luego de identificada, pasa a ser parte de la programación semanal. Una vez identificadas todas las actividades que se ejecutarán en la semana, estas se colocan en las tarjetas “I Get – I Give” en una pizarra. Con esto quedan definidas las fechas de compromisos de cada actividad, así como los responsables de su ejecución.

A continuación, se presenta el formato de análisis de restricciones, el cual contiene información que será usada como modelo.

Tabla 4.2. Formato de tren de actividades de la fase de acabados

			04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb	16-feb	17-feb	18-feb	19-feb	20-feb	21-feb	
		MET.	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	
HALL DE ASCENSORES POSITIVOS																					
LIMPIEZA DE TECHOS	M2																				
ALBAÑILERÍA	M2																				
TARRAJEO	M2																				
SOLAQUEO	M2																				
VACIADO DE CONTRAPISO	M2																				
II.EE	GLB																				
INSTALACIONES CONTRAINCENDIO	GLB																				
DUCTOS E IJMM	GLB																				
SELLOS CORTAFUEGO	GLB																				
FALSO CIELO PASO	M2																				
PRUEBAS E AISLAMIENTO DE TUB	GLB																				
COLOCACIÓN DE ENGACHAPES	M2																				
PINTURA	M2																				
COLOCACIÓN DE MAMPARAS Y PUERTAS DE EVACUACIÓN	UNID																				
MAMPARAS	GLB																				
PAPEL VINIL	M2																				
CONTRAZOCALO DE ALUMINIO	ML																				
BANOS																					
LIMPIEZA DE TECHOS	M2																				
ALBAÑILERÍA	M2																				
TARRAJEO	M2																				
IJSS	GLB																				
VACIADO DE CONTRAPISO	M2																				
LEVANTAMIENTO DE CARBONERO	GLB																				
ENGACHADO	M2																				
DUCTOS E IJMM	GLB																				
INSTALACIONES CONTRAINCENDIO	GLB																				
INSTALACIÓN DE TABLEROS APOYADOS	GLB																				
FALSO CIELO PASO	M2																				
PINTURA	M2																				
DIVISIONES DE BAÑOS	GLB																				
INSTALACIÓN DE PUERTAS	UNID																				
INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	GLB																				
LIMPIEZA FINA	GLB																				
CUARTO DE CONTROL Y CORREDORES																					
LIMPIEZA DE TECHOS	M2																				
ALBAÑILERÍA	M2																				
TARRAJEO	M2																				
SOLAQUEO	M2																				
PINTURA	M2																				
II.EE	GLB																				
IJSS	GLB																				
INSTALACIONES CONTRAINCENDIO	GLB																				
DISPOSITIVOS	GLB																				
SEGUNDA MANO DE PINTURA	M2																				
LUMINARIAS	GLB																				
COLOCACIÓN DE MAMPARAS Y PUERTAS DE EVACUACIÓN	GLB																				

Tabla 4.3. Formato de Look Ahead Planning de la fase de acabados

ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	UND	SEMANA							ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO				
										SI	NO	TIPO	CAUSA DE INCUMPLIMIENTO	OBSERVACION
			J	V	S	D	L	M	M					
	AMBIENTE 1													
SUB 1	ACTIVIDAD 1	UND												
SUB 2	ACTIVIDAD 2	UND												
SUB 3	ACTIVIDAD 3	UND												
SUB 4	ACTIVIDAD 4	UND												
SUB 5	ACTIVIDAD 5	UND												
	AMBIENTE 2													
SUB 1	ACTIVIDAD 1	UND												
SUB 2	ACTIVIDAD 2	UND												
SUB 3	ACTIVIDAD 3	UND												
SUB 4	ACTIVIDAD 4	UND												
SUB 5	ACTIVIDAD 5	UND												
	AMBIENTE 3													
SUB 1	ACTIVIDAD 1	UND												
SUB 2	ACTIVIDAD 2	UND												
SUB 3	ACTIVIDAD 3	UND												
SUB 4	ACTIVIDAD 4	UND												
SUB 5	ACTIVIDAD 5	UND												
SUB 6	ACTIVIDAD 6	UND												
SUB 7	ACTIVIDAD 7	UND												
SUB 8	ACTIVIDAD 8	UND												
SUB 9	ACTIVIDAD 9	UND												
	AMBIENTE 4													
SUB 1	ACTIVIDAD 1	UND												
SUB 2	ACTIVIDAD 2	UND												
SUB 3	ACTIVIDAD 3	UND												
SUB 4	ACTIVIDAD 4	UND												
SUB 5	ACTIVIDAD 5	UND												
SUB 6	ACTIVIDAD 6	UND												

SUB 7	ACTIVIDAD 7	UND												
SUB 8	ACTIVIDAD 8	UND												
SUB 9	ACTIVIDAD 9	UND												
	AMBIENTE 5													
SUB 1	ACTIVIDAD 1	UND												
SUB 2	ACTIVIDAD 2	UND												
SUB 3	ACTIVIDAD 3	UND												
SUB 4	ACTIVIDAD 4	UND												
SUB 5	ACTIVIDAD 5	UND												
SUB 6	ACTIVIDAD 6	UND												
SUB 7	ACTIVIDAD 7	UND												
SUB 8	ACTIVIDAD 8	UND												
SUB 9	ACTIVIDAD 9	UND												
										0	0			
										%	%			



Tabla 4.4. Ejemplo de *formato de análisis de restricciones* (Brioso, 2015)

ACTIVIDAD	ANÁLISIS DE RESTRICCIONES								DESCRIPCIÓN DE RESTRICCIÓN	RESPONSABLE	FECHA DE ENTREGA
	SEGURIDAD	PLANOS-ESPECIFICACION	MATERIALES	PERSONAL	EQUIPOS	ACTIVIDAD PREDECESORA	ESPACIO	VARIOS			
TOPOGRAFÍA									NO TIENE UN ÁREA LIBRE DISPONIBLE PARA TRABAJAR	CUADRILLA PREDECESORA	
Responsable		X							PLAN DE TRABAJO DEFINIDO PARA LA SEMANA Y DÍA A DÍA	AREA DE INGENIERIA	
Cuadrilla		X							PLANOS FIRMADOS PARA TODAS LAS CUADRILLAS	ING. DE CAMPO - CALIDAD	23-jul
ACERO VERTICAL				X					REQUIERE DE 3 CUADRILLAS	RECURSOS HUMANOS	23-jul
Responsat					X				PARA EL EPP SE REQUIERE ESCALERA + LINEA DE VIDA	LOGISTICA - SEGURIDAD	23-jul
Cuadrilla									SE REQUIERE EL ÁREA DE TRABAJO CON 01 DÍA DE ANTICIPACION	CUADRILLA PREDECESORA	29-jul
Cuadrilla de Habilitación (Platea y Verticales)											
IISS				X					PERSONAL PARA LA HABILITACIÓN DE AGUA Y DESAGUE	RECURSOS HUMANOS	23-jul
Responsable					X				MAQUINA DE FUSION PARA TRES DADOS	LOGISTICA	23-jul
Cuadrilla						X			LIBERAR ACTIVIDAD DE TRAZO TOPOGRAFICO Y ACERO	CALIDAD - SUPERVISION	30-jul
-	X								APROBACION DE ESCALERAS Y LINEA DE VIDA	SEGURIDAD	30-jul
							X		COORDINACION CON HORARIO EXTENDIDO	JEFE DE SEGURIDAD	30-jul
IIEE		X							SE REQUIERE UN PLAN DE TRABAJO ENTREGADO EN HORAS INDICADAS (ENCOFRADO DE TECHO, ACERO)	AREA DE INGENIERIA DE OBRA	29-jul
Responsable											
Cuadrilla											
Cuadrilla de Habilitación											
ENCOFRADO VERTICAL				X					CUADRILLA REQUERIDA: 14 OP + 14 AY + 1 OP(reservA)	RECURSOS HUMANOS	24-jul
Responsable		X							ENCOFRADO "ULMA" - MAS LIVIANOS	LOGISTICA	24-jul
Cuadrilla				X					DISPONER DE 1OP+1AY PARA APOYO EN CASO DE CONTINGENCIA	RECURSOS HUMANOS	24-jul
(Limpieza)											
VACIADO VERTICAL							X		AREA LIBERADA Y LIMPIA PARA ENTRAR A TRABAJAR	CUADRILLA PREDECESORA	31-jul
Responsable						X			APROBACION HECHA PARA LAS ACTIVIDADES ANTES DE ENTRAR	CALIDAD - SUPERVISION	01-ago
Cuadrilla											

Resumen de responsabilidades: Luego de identificadas todas las

restricciones y los responsables de solucionarlas, se elabora un gráfico de resumen de responsabilidades, en el cual se observe el porcentaje de tareas a solucionar asignadas a las áreas del proyecto. De esta forma, si un área es sobrecargada de tareas, puede ser apoyada por otra, con la finalidad de que todas las restricciones sean levantadas en las fechas programadas. Este formato no fue controlado permanentemente en el proyecto.

A continuación se presenta el formato de resumen de responsabilidades. Este formato contiene la información procesada de la *figura 39*. En este caso se observa un total de 22 restricciones evaluadas, las cuales en su mayoría tienen como responsables a la cuadrilla predecesora, debido a la secuencialidad de trabajos, y al área de recursos humanos, quienes son los encargados de la contratación de los operarios para las diferentes actividades a realizarse.

Tabla 4.5. *Ejemplo de resumen de responsabilidades (Brioso, 2015)*

RESPONSABLE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
CUADRILLA PREDECESORA	4	18.2%
AREA DE INGENIERIA DE OBRA	2	9.1%
ING. DE CAMPO - CALIDAD	1	4.5%
LOGISTICA - SEGURIDAD	2	9.1%
RECURSOS HUMANOS	3	13.6%
LOGISTICA	2	9.1%
CALIDAD - SUPERVISION	2	9.1%
SEGURIDAD	1	4.5%
JEFE DE SEGURIDAD	1	4.5%
AREA DE INGENIERIA DE OBRA	2	9.1%
TOPOGRAFIA	0	0.0%
CALIDAD - SUPERVISION	2	9.1%
CALIDAD	0	0.0%
	22	

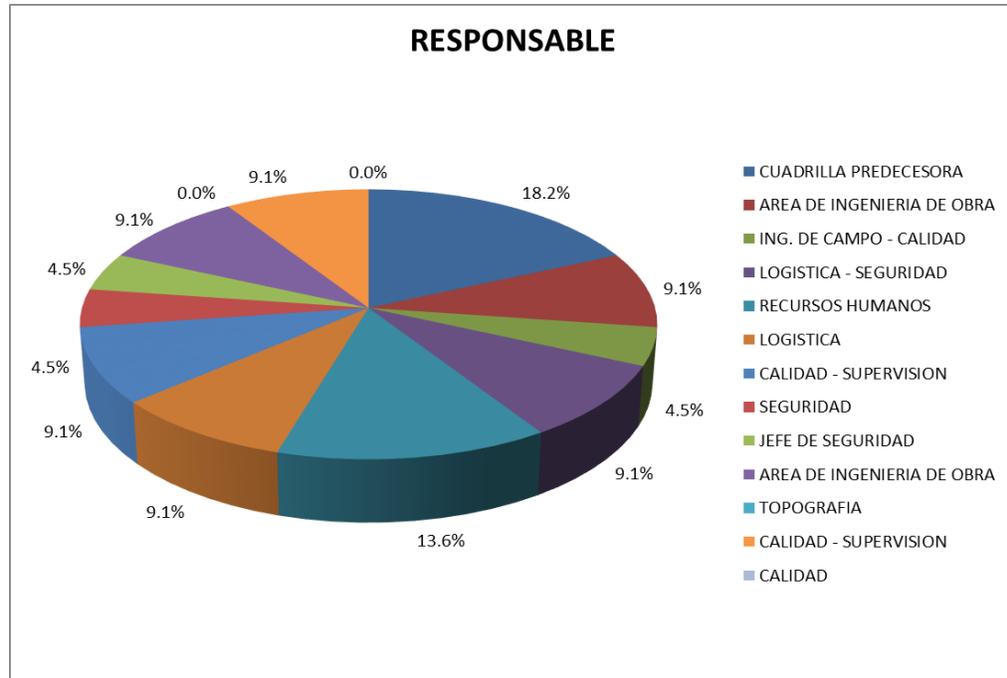


Figura 4.9. Gráfico de resumen de responsabilidades (Brioso, 2015)

- PPC semanal:

Al término de cada semana se debe verificar el porcentaje de cumplimiento de actividades. La finalidad es que al identificar correctamente las restricciones el cumplimiento semanal promedio sea 90%

Capítulo 5: Análisis de resultados

5.1 Causas de incumplimiento

A partir de los resultados de la encuesta realizada a los ingenieros de campo del proyecto, así como del análisis de los indicadores en la línea base del proyecto, se puede enumerar las principales restricciones que ha presentado el proyecto, las cuales originan que la planificación de obra no se cumpla, interrupción de actividades y costos extras:

- Distribución de cuadrillas de trabajo: Las cuadrillas de la contratista también se encargan de realizar el orden y limpieza de la zona de trabajo, acarreo de materiales y habilitación de material, lo cual origina que el flujo de trabajo no sea continuo. Además, estas cuadrillas no realizan actividades repetitivas todos los días, sino que se adaptan a las necesidades que presentan en campo. Estas condiciones no permiten que se pueda tener un control adecuado del rendimiento de la mano de obra, ni que las cuadrillas se especialicen en determinadas partidas.
- Pedido de materiales: En el proyecto, en ciertas ocasiones, no se solicitó con anticipación los materiales que se iban a necesitar, no percatándose de su falta hasta la ejecución de las partidas que los involucraban, originando paralizaciones del flujo de trabajo. En otras ocasiones, los proveedores no cumplieron con las fechas de entrega planificadas, lo cual también originó incumplimiento de actividades programadas. Si bien es cierto que este último factor es externo al proyecto, debe existir un personal responsable en el proyecto que controle que los despachos de los proveedores a obra se realicen de acuerdo a lo planificado.
- Cambios en los planos, incompatibilidades, detalles no definidos: En el proyecto se han enviado más de 300 RFI's hasta el momento. La rapidez de respuesta por parte de la supervisión varía desde un día hasta sesenta días,

lo cual dificulta el flujo de trabajo. Por motivos de cambio e incompatibilidades o detalles no definidos hay varios trabajos que han tenido de rehacerse, originando el uso de horas hombres no planificados. En el caso de detalles no definidos, estos originan paralizaciones de actividades que afectan tanto a la especialidad de instalaciones como a la de acabados.

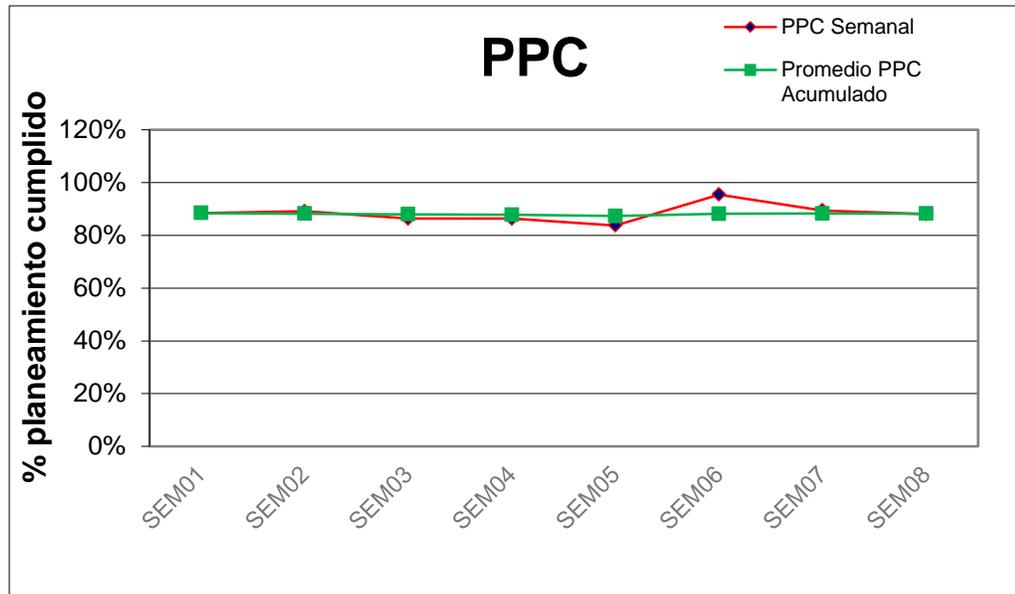
- Trabajos rehechos: Es cierto que un gran porcentaje de trabajos rehechos se originan por modificaciones e incompatibilidades en los planos, sin embargo, otro porcentaje se produce por la falta de supervisión constante de los procesos constructivos por parte de un ingeniero del área de calidad. Muchas veces se asume que los operarios y capataces tienen la experiencia necesaria y no necesitan ser controlados en todos los procesos constructivos, lo cual origina trabajos que no cumplen con los estándares de calidad. En el proyecto, este segundo factor fue controlado con la incorporación de un ingeniero especialista en el área de calidad, el cual se encontraba a cargo de las liberaciones en campo, así como el control de los procedimientos constructivos presentados por los jefes de campo de las diferentes especialidades.

5.2 Evaluación de indicadores de control

En el capítulo 3 de la presente tesis se ha evaluado y analizado los indicadores de control con los datos obtenidos de la línea base del proyecto. Posteriormente, se ha implementado la herramienta Pull Planning en el proyecto, cuyos resultados también serán analizados a través de los indicadores de control. De esta manera se puede evaluar la eficacia de esta herramienta Lean en el cumplimiento de la planificación del proyecto.

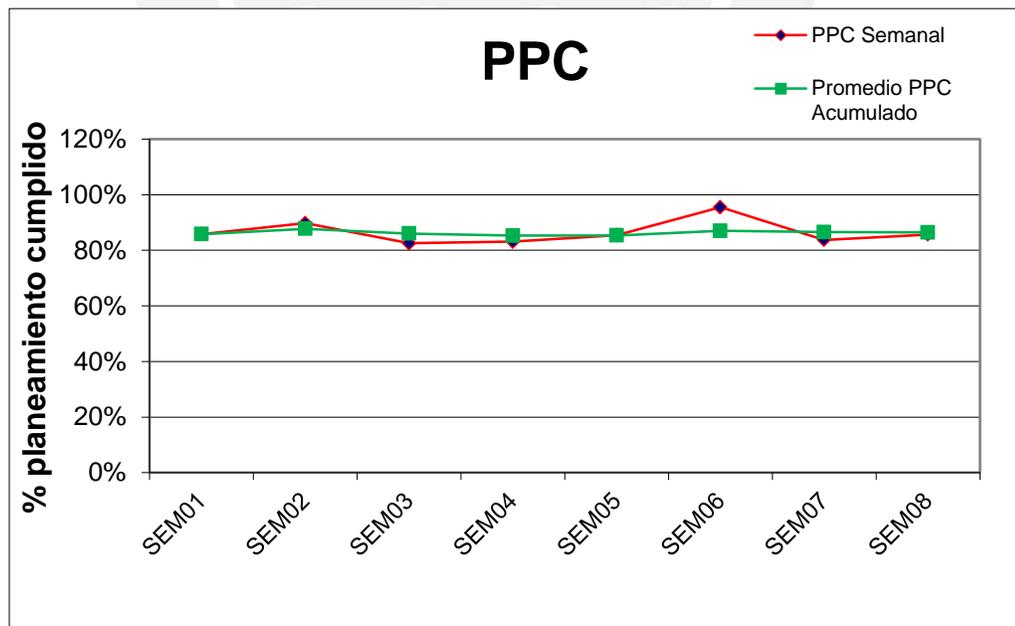
5.2.1 PPC (Porcentaje de Plan Cumplido)

El análisis de esta herramienta, luego de haber aplicado la herramienta “Pull Planning”, se realiza para 8 semanas, desde el 21 de marzo hasta el 14 de mayo del 2016. A continuación se presentan los resultados:



Control	SEM01	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05	SEM06	SEM07	SEM08
Semanal	88%	89%	86%	86%	84%	95%	89%	88%
Acumulado	88%	88%	88%	88%	87%	88%	88%	88%

Figura 5.1. PPC en el piso 1



Control	SEM01	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05	SEM06	SEM07	SEM08
Semanal	86%	90%	83%	83%	85%	95%	84%	86%
Acumulado	86%	88%	86%	85%	85%	87%	87%	88%

Figura 5.2. PPC en el piso 2

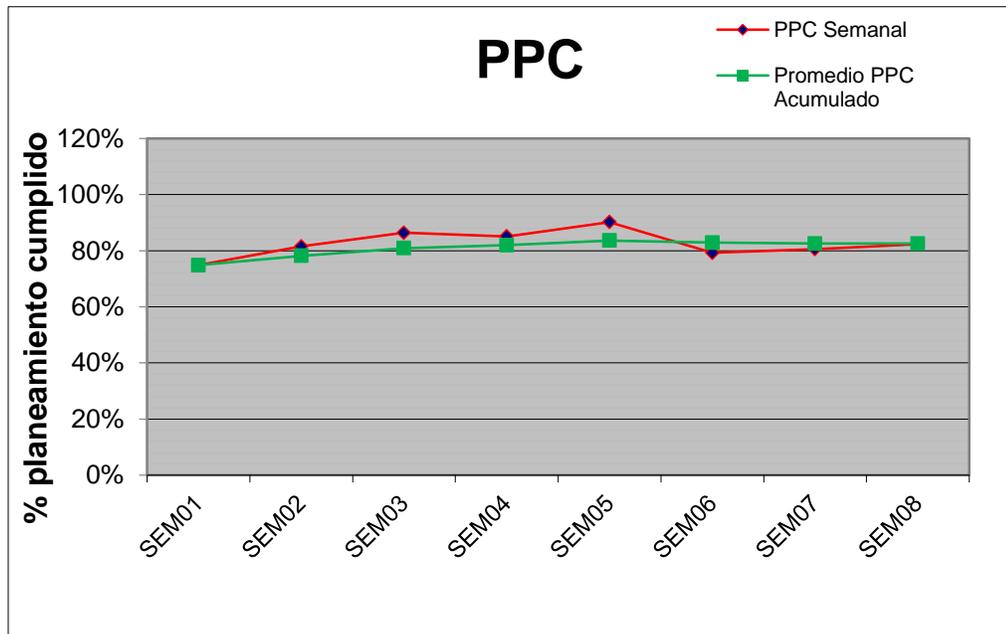


Figura 5.3. PPC desde el piso 3 al 12

De acuerdo a los gráficos, se observa que el PPC del piso 1 es casi 90%, valor que había sido el esperado en el proyecto. El piso 2 tiene como PPC promedio 86% y los demás pisos 83%. Todos los valores superiores al 80% de cumplimiento.

De estos resultados se concluye que la aplicación de las sesiones Pull Planning contribuyeron a un mayor cumplimiento de las actividades planificadas, como proyecciones de mano de obra y materiales. Sin embargo, todavía existen restricciones

que no han sido controladas en su totalidad. El análisis de estas, al igual que en la línea base, se hará mediante el diagrama de Pareto.

Tabla 5.1. Tabla de frecuencia de causas de incumplimiento

Causas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia relativa acumulada (%)
Falta de ingreso a obra de subcontrata	11	11	20	20
Trabajos incompletos de instalaciones	9	20	16	36
Trabajos incompletos de estructura	9	29	16	53
Falta de detalles	7	36	13	65
Aprobación de muestras por Supervisión	5	41	9	75
RFI's sin respuesta	5	46	9	84
Falta de personal o material	5	51	9	93
Indefiniciones del cliente	2	53	4	96
Restricciones de seguridad	1	54	2	98
Modificaciones en planos sin formalización	1	55	2	100

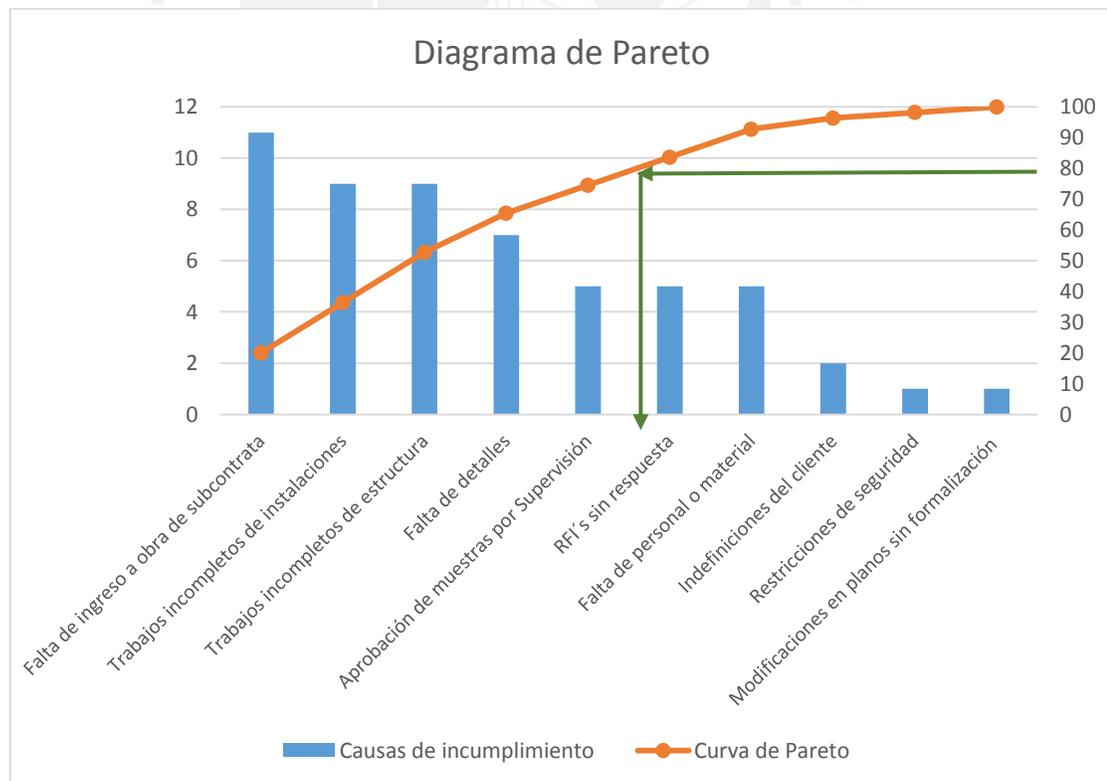


Figura 5.4. Diagrama de Pareto de causas de incumplimiento

En la gráfica se observa que en este caso son cinco las principales causas de incumplimiento de actividades: Falta de ingreso de subcontratas por parte de Oficina Técnica, trabajos incompletos de instalaciones y casco y falta de detalles y aprobación de muestras por parte de Supervisión. De este resultado se concluye que las restricciones que dependen de Supervisión no han podido ser controladas, esto debido a que no fueron partícipes de las reuniones.

5.2.2 Factor de producción.

El control de este indicador se realizó en las mismas fechas del análisis del PPC, desde el 21 de marzo hasta el 14 de mayo del 2016. Para estas fechas de medición la etapa de casco del proyecto ya había finalizado y solo se contaba con las partidas de acabados e instalaciones. A continuación se presentan los resultados:

Tabla 5.2. Resumen de PFs durante 8 semanas

Control	Capataz	Partida	sem1	sem2	sem3	sem4	sem5	sem6	sem7	sem8
Sem	OLAYUNCA	ALBAÑILERIA	1.64	1.52	1.52	1.97	1.61	1.42	1.50	1.64
Sem	ZAMBRANO	ALBAÑILERIA	1.59	2.00	1.61	1.63	1.68	1.35	1.82	1.34

Control	Capataz	Partida	sem1	sem2	sem3	sem4	sem5	sem6	sem7	sem8
Acum	OLAYUNCA	ALBAÑILERIA	1.64	2.16	2.27	2.27	2.27	2.27	1.90	1.82
Acum	ZAMBRANO	ALBAÑILERIA	1.59	1.82	1.74	1.71	1.70	1.63	1.65	1.56

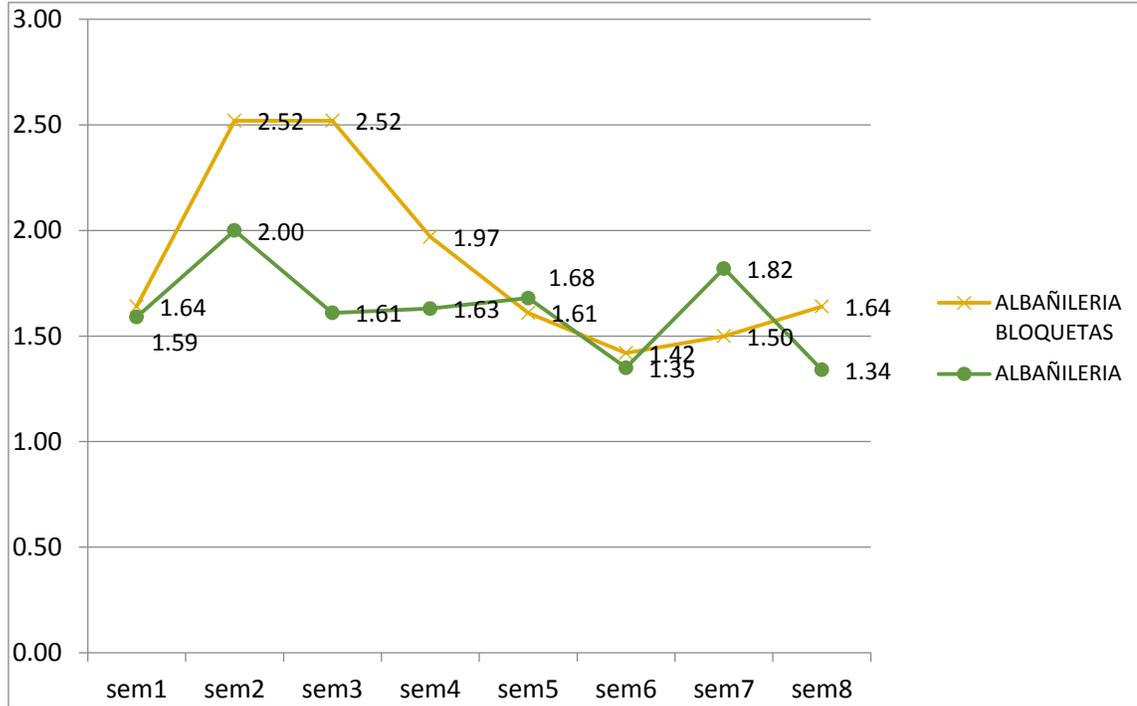


Figura 5.5. Histograma de factor de producción

Luego de la aplicación del Pull Planning en el proyecto, se obtuvo un PF promedio de 1.70 en la partida de acabados. A pesar que este resultado indique que el rendimiento es menor que el proyectado, existe mejoras respecto al PF antes de la aplicación de esta herramienta.

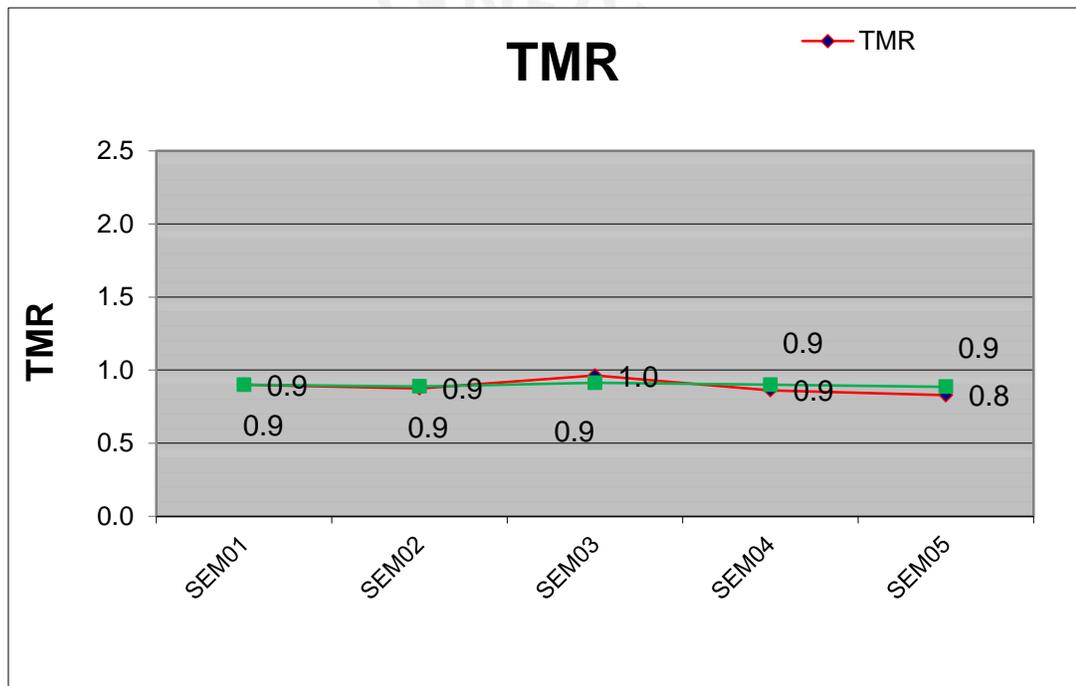
Se observa que la cuadrilla de crema (asentado de bloquetas) es la que presenta mayor desviación de PF. Esto debido a que parte de su personal se dedicaba a realizar remates en pisos asignados a una subcontratista retirada de obra. En estos remates, el personal invierte varias horas (debido al armado de andamios ya que son alturas mayores a 1.60 m.) y el metrado es mínimo.

Una medida correctiva para disminuir los PF's del proyecto fue asignar metas de avance diario a cada cuadrilla, dependiendo de la cantidad de obreros que conforman la cuadrilla. Además, se creó una cuadrilla de volantes, los cuales se dedicaban a picados, resanes y levantamiento de observaciones, de tal forma que cada cuadrilla se enfoque en sus partidas asignadas.

5.2.3 Task Made Ready (TMR):

En este caso, se evalúa la cantidad de trabajo programado según el Look Ahead Planning dos semanas antes (TTA) y la cantidad de actividades programadas en la semana que sí podrán ser ejecutadas, estas últimas se analizan en las reuniones Pull Planning (TTC).

La ventaja de analizar las restricciones en las reuniones Pull Planning, en las cuales se tiene una participación colaborativa, es que cada restricción encontrada es entregada a un responsable, el cual se compromete a levantar esta en una fecha en específico, luego de analizar la cantidad de recursos que tiene disponible.



	SEM01	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05
Tareas planificadas LAP	60	24	54	65	58
TPS con restricciones levantadas	54	21	52	56	48
TMR	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8
TMR promedio	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Figura 5.6. Histograma de TMR

De los resultados obtenidos se observa que el 90% de las actividades que se planifican en el LAP van a poder ser ejecutadas en la semana, ya que las restricciones que se encuentran asociadas a estas serán levantadas. El 10% restante, son en su mayoría restricciones que dependen de la Supervisión del proyecto, ya que tienen pendiente respuestas de detalles incompletos, incompatibilidades, falta de información o aprobación de trabajos adicionales. El levantamiento de estas restricciones durante la semana dependerá de la respuesta de Supervisión.

5.2.4 Grado de implementación del LPS

La evaluación de este indicador es subjetivo, ya que el puntaje que se le asigna a cada ítem se basa en la observación de la planificación de las actividades y el control de estas en un proyecto de construcción. A continuación se presentan los resultados luego de la aplicación de la herramienta Pull Planning:

Tabla 5.3. Implementación del LPS en el proyecto

Ítem	Actividad	Puntaje
1.-	Formalización de planificación y control de procesos	1
2.-	Estandarización de reuniones de planificación a corto plazo	1
3.-	Uso de dispositivos visuales	1
4.-	Uso de PPC y acciones correctivas en causantes de actividades no cumplidas	0.5
5.-	Análisis crítico de información	0.5
6.-	Correcta definición de los paquetes de trabajo	0.5
7.-	Actualización del plan maestro, cuando sea necesario	0.5
8.-	Estandarización de reuniones de planificación a mediano plazo	0
9.-	Inclusión de actividades sin restricciones en planificaciones a corto plazo	0.5
10.-	Participación del equipo de trabajo en reuniones de planificación a corto plazo y toma de decisiones	1
11.-	Planificación y control de los flujos de trabajo	0.5
12.-	Medición de indicadores	0.5
13.-	Eliminación sistemática de restricciones	0.5

14.-	Uso de un plan maestro que sea fácil de entender, como una Línea de Balance	0
15.-	Planificación de trabajos de reserva	0.5
Puntaje total		8.5

De los resultados obtenidos, se observa que el nivel de implementación luego de la aplicación de la herramienta Pull Planning es 57%. Entre mejoras que se lograron están la implementación de reuniones de planificación a corto plazo, con la participación de la contratista y subcontratistas, en la cuales todos participan en la identificación de restricciones y programación de actividades. Además, la herramienta Pull Planning se basa en el mapeo de procesos, aumentando el uso de herramientas visuales. La eliminación sistemática de restricciones permite que todos los demás indicadores también se optimicen.

5.3 Cuantificación de mejoras

A través del análisis de los indicadores de control estudiados en el punto 5.2, se estudió las mejoras que el proyecto hubiese tenido si se aplicaba la herramienta Pull Planning en la gestión del proyecto Anexo Torre 3. A continuación se presenta los resultados comparativos del caso de la línea base del proyecto y el caso donde se aplicó la herramienta Lean.

5.3.1 PPC (Porcentaje de Plan Cumplido)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el indicador de PPC para ambos casos, existe una diferencia de 9%. Según la revisión de literatura del Last Planner, una correcta planificación de actividades permite obtener un promedio de 80% en el PPC semanal, lo cual se ha cumplido con la aplicación de la herramienta Pull Planning.

El incremento del cumplimiento de actividades se debe a la participación colaborativa en las reuniones de programaciones por parte de la contratista y las subcontratas,

creando mayor compromiso y confianza de ambas partes. Esto se optimiza con los recorridos de obra, en los cuales se identifican in situ las restricciones.

Además, se debe tener en cuenta que todas las áreas de Oficina Técnica y Seguridad se encuentran como responsables de algunas restricciones del proyecto. La participación de representantes de estas áreas en las reuniones Pull Planning ayudaría a brindar soluciones a estas restricciones y comprometer a los involucrados.

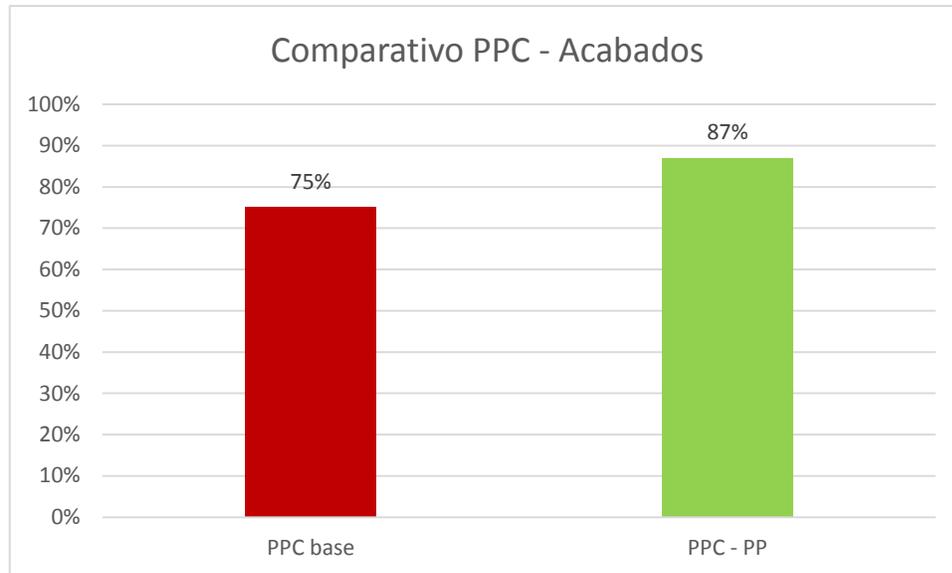


Figura 5.7. Comparativo de PPC en la etapa de acabados

5.3.2 Factor de producción.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el indicador de factor de producción, tanto real como aplicada, existe una diferencia de 0.70 entre ambos. Esta diferencia se debe dos factores, uno de ellos es la creación de una cuadrilla de volantes, encargada de realizar labores de picados y resanes, de tal forma que las cuadrillas de albañilería se enfocaran en sus actividades asignadas.

Por otro lado, se asignó avances metas diarias a las cuadrillas de albañilería, con el incentivo que una vez acabado el trabajo meta podrían retirarse de la obra, sin importar que sea antes del horario de salida. Estas estrategias crearon mayor compromiso y esfuerzo por parte de los trabajadores.

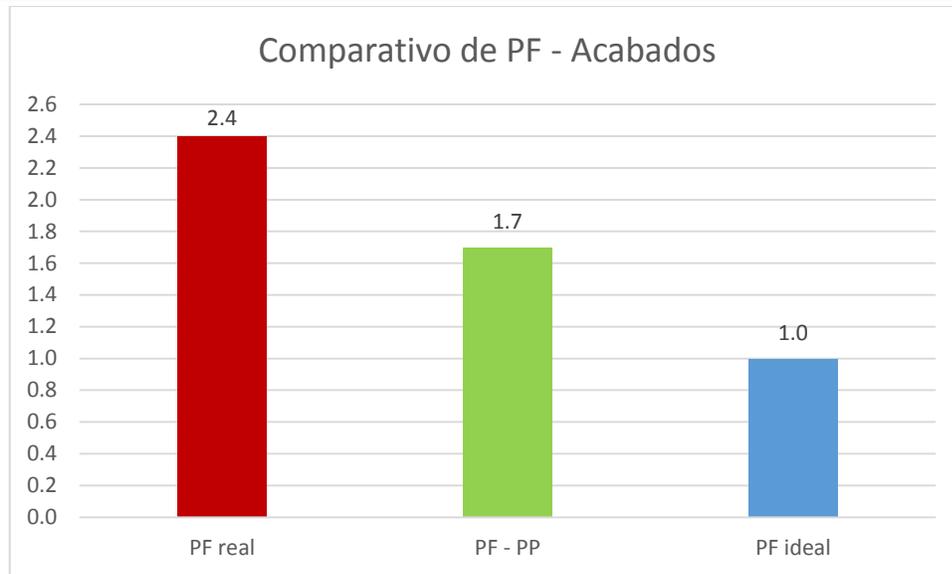


Figura 5.8. Comparativo de PF de acabados

5.3.3 Task Made Ready (TMR):

Las reuniones Pull Planning permitieron que se identifiquen las restricciones de las actividades planificadas, se le asigne a un profesional responsable y se programa la fecha de levantamiento, permitiendo que las demás actividades programadas sigan un flujo de trabajo continuo.

Por otro lado, la cantidad de tareas planificadas para la semana que se consideran posibles de ejecutar respecto a las programadas en el Look Ahead Planning pasó de 65% a 90%, lo cual concuerda con las mejoras obtenidas en el PPC.

Sin embargo, las restricciones que dependían de Supervisión no pudieron ser controladas a pesar de haber sido identificadas, debido a que restricciones como detalles incompletos o incompatibilidades de planos son enviadas a la Supervisión, pero a su vez ellos envían la información a los proyectistas. Por este motivo, la fecha de levantamiento de este tipo de restricción es incierto.

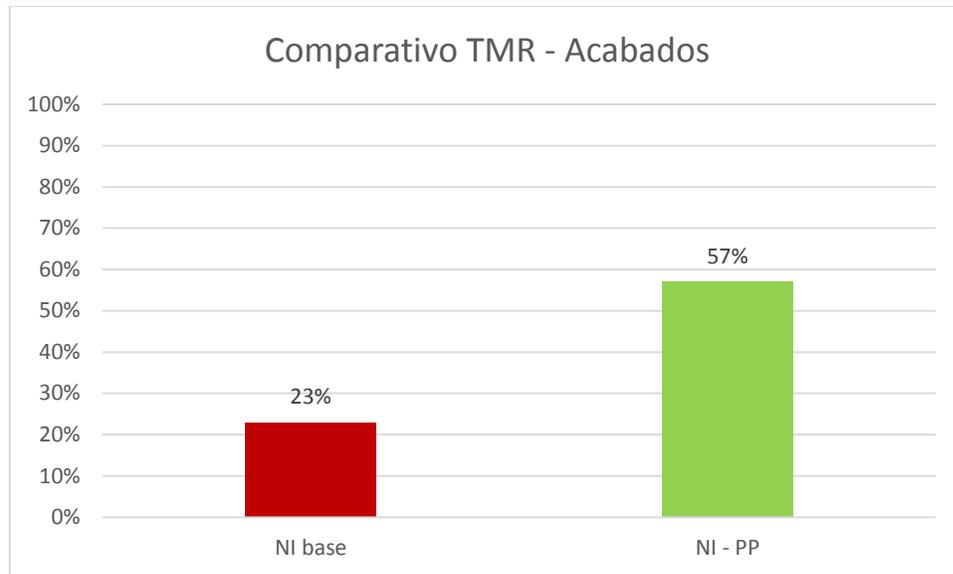


Figura 5.9. Comparativo de TMR

5.3.4 Grado de implementación del LPS

De acuerdo a los resultados obtenidos en el indicador, se optimizó el nivel de implementación del LPS de 23% a 57% luego de la implementación de la herramienta Pull Planning.

Según los niveles de implementación de un proyecto, presentados en el capítulo 2.2.1, existen tres escenarios o niveles de implementación del Last Planner System. Para el análisis base del proyecto, el nivel de implementación se encuentra en el segundo escenario (implementación del LPS y mantenimiento en el proyecto). Por otro lado, luego de la implementación de la herramienta Pull Planning, el nivel de implementación de encuentra ingresando al tercer escenario (mejoramiento y optimización del sistema LPS).

Sin embargo, existen varios aspectos de la implementación del LPS que se podrían optimizar en el proyecto, entre estos establecer reuniones Pull Planning en los cuales se realicen programaciones a mediano plazo, establecer indicadores de control y controlarlos semanalmente como mínimo, planificación de trabajos de reserva o buffers semanales, entre otros.

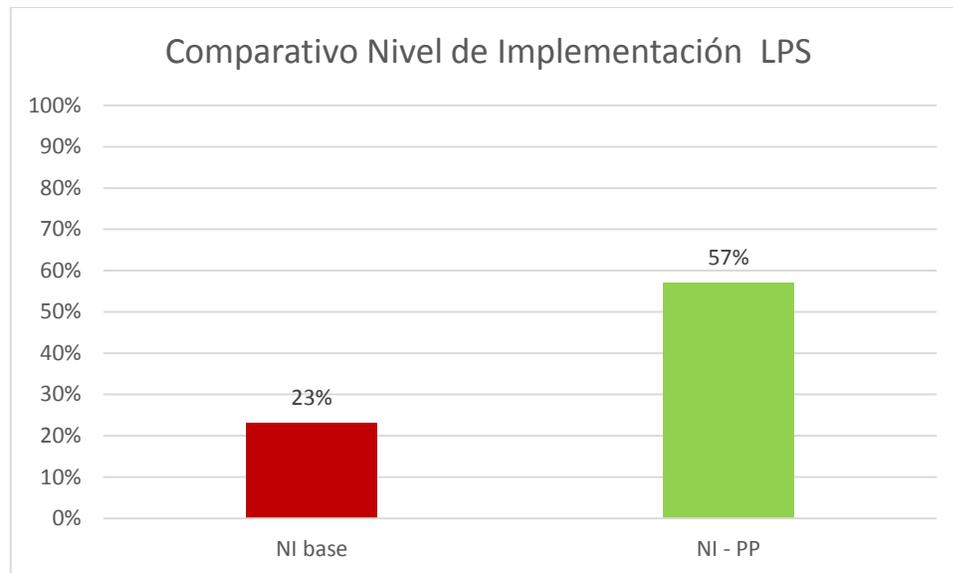


Figura 5.10. Comparativo de nivel de implementación del LPS

Por otro lado, luego de la implementación del “Pull Planning” en el proyecto de oficinas Anexo Torre 3, se obtuvo un tren de acabados final para los pisos típicos (oficinas). Este tren de actividades tiene la estructura de trabajo de acabados e instalaciones presentado el en capítulo 4. A continuación, se presenta el tren de actividades de las fechas de estudio de la implementación del Pull Planning en el proyecto.

Capítulo 6: Lecciones aprendidas y conclusiones

6.1 Discusión

Los resultados de la aplicación del componente Last Planner “Pull Planning” en el proyecto Anexo Torre 3 demuestra que se optimizan los resultados de los indicadores analizados: se incrementa el cumplimiento de las actividades planificadas, se tiene un mejor control de la mano de obra ya que se tienen reconocidas todas las partidas que se ejecutarán durante la semana y se identifican correctamente las restricciones logrando un flujo de trabajo más constante. En el caso de las no conformidades, estas dependen directamente del control que se tenga en campo por parte de un profesional especialista en el área de calidad, sin embargo, identificar y planificar todos los trabajos de la semana permite que exista un mejor control de los procedimientos constructivos.

Cabe señalar que no solo se mejora el flujo de los procesos y la planificación del proyecto, sino también se crea un cambio de actitud de todos los involucrados en el proyecto. Las reuniones de Pull Planning generan mayor compromiso de los involucrados, ya que son ellos mismos quienes proponen y programan la fecha de cumplimiento de las actividades. Por otro lado, genera coordinación y trabajo en equipo de los participantes, evitando cruces de procesos en la ejecución del proyecto y conflictos.

Si todas las actividades se encuentran identificadas y dentro de la programación semanal de un proyecto, se podrá destinar los recursos necesarios para su ejecución: llegada de materiales, cuadrilla para acarreo, disponibilidad de grúa. El control de este último factor es esencial en un proyecto, sobre todo si el acarreo de materiales es para niveles superiores al piso 3. En el proyecto, muchas veces existieron paralizaciones en obra de determinadas partidas debido a que la grúa estaba ocupada y no podía trasladar los recursos al área de trabajo.

La herramienta Pull Planning fue aplicada en el proyecto cuando las actividades de acabados ya habían empezado, y además presentaban atrasos respecto al tren de actividades, los cuales habían sido originados por: modificaciones de planos, demora de llegada de materiales, falta de subcontratistas y poca disponibilidad de materiales y mano de obra por parte de la subcontrata. Además, cada jefe de campo estaba acostumbrado a realizar sus programaciones por separado y veían a estas reuniones

como pérdida de tiempo. La adaptación a estas reuniones semanales por parte de todos los involucrados fue difícil de conseguir, pero luego de observar las mejoras en el cumplimiento de las planificaciones aumentó su interés por participar en las reuniones. Lo ideal sería implementar esta herramienta desde inicio de obra, brindándole capacitaciones a los especialistas del proyecto. La difusión de esta herramienta debe de partir de las cabezas de la obra: gerente de proyectos y residente, con la finalidad de crear mayor compromiso con los profesionales asignados al proyecto.

Luego de haber analizado los conceptos de Last Planner y Pull Planning, ejemplos de aplicación en diferentes países y los resultados obtenidos en el proyecto Anexo Torre 3, se concluye que hay determinados factores que pueden ser controlados con una correcta planificación de actividades, entre ellos:

- Restricciones: Este factor es controlado a través del Look Ahead Planning y las reuniones de Pull Planning. Si todas las restricciones son identificadas antes de la ejecución de los trabajos, es posible destinar los recursos necesarios para que el proceso se desarrolle sin paralizaciones.
- Cruce de actividades: La coordinación y planificación anticipada de las actividades entre los jefes de campo de las diferentes especiales evitarán cruces de trabajos en la ejecución del proyecto, logrando que el flujo de trabajo sea continuo.
- Abastecimiento de materiales: La participación activa de los proveedores y subcontratistas del proyecto en las reuniones de Pull Planning permitirá planificar el abastecimiento de materiales a obra, evitando paralizaciones por falta de recursos materiales.
- Procesos repetitivos: De acuerdo a lo señalado por Tsao y Hammons, a pesar que una edificación no tenga elementos repetitivos puede ser sectorizado en partes similares, con la finalidad de optimizar el control de los procesos e incrementar la eficiencia de producción.

6.2 Conclusiones

- Uno de los principales retos de la aplicación del Pull Planning en un proyecto es lograr la participación activa de todos los involucrados: jefes de campo, jefes de subcontratos, proveedores y capataces. Estas reuniones pueden generar conflictos entre las diferentes áreas; sin embargo, es necesario que exista un líder que pueda lograr que todo el equipo trabaje en coordinación, compartan ideas, opiniones y puedan obtener soluciones de las restricciones en conjunto. Estas reuniones generan compromiso y unión en el equipo. Es necesario que esta implementación sea asumida desde la gerencia del proyecto, ya que esto conlleva mayor compromiso y seriedad por parte del equipo de la obra. La implementación de esta herramienta debe darse desde el inicio del proyecto.
- De acuerdo a los resultados de los indicadores de control, se ha observado que las restricciones de las actividades planificadas muchas veces tienen como responsables a las áreas de soporte del proyecto: Oficina Técnica en el ingreso de subcontratistas, envío de RFI's y pedido de materiales, Seguridad en la aprobación de procedimientos y charlas de inducción a personal nuevo, Administración en el ingreso de personal al proyecto y Calidad para el control de procedimientos y protocolos. La participación de un representante de cada área en las reuniones de Pull Planning permitiría generar mayores ideas para solucionar las restricciones y además, un mayor número de responsables para el levantamiento de estas.
- La herramienta "Pull Planning" es un componente del Last Planner System que se desarrollado bajo los conceptos del Lean Construction. Tiene como propósito la identificación colaborativa de restricciones de las actividades de producción, con la finalidad de lograr flujos de trabajo continuos. La implementación de esta herramienta en un proyecto que usa el sistema Last Planner es económica respecto a los materiales, debido a que solo se necesita un ambiente donde se desarrollen las reuniones (el cual puede ser la sala de reuniones de obra), planos de las diferentes especialidades del proyecto y pos-it.

- El uso e implementación del Pull Planning en un proyecto donde los profesionales no han trabajado con este elemento del Last Planner, genera desconfianzas de su eficacia en las programaciones y puede ser calificado como una pérdida de tiempo, ya que implica reuniones semanales de al menos 1 hora. Sin embargo, debe de existir un profesional que asuma el rol de líder en las reuniones, el cual se encargue de transmitir los conceptos y la utilidad de esta herramienta y además, debe de dirigir estas reuniones.
- Es necesario involucrar a los subcontratistas en la planificación de las actividades y el análisis de restricciones, con el fin que ellos puedan definir la cantidad de personal, equipos y materiales que necesitarán. Además, deben de transmitir sus requerimientos de las actividades predecesoras, el tiempo de ejecución de sus trabajos y cuáles serán sus entregables. Se debe lograr que la participación de las empresas subcontratistas en las reuniones Pull Planning sea con su propia iniciativa y no condicionada a factores como el pago de sus valorizaciones. En la actualidad, en la mayoría de empresas peruanas que aplican el sistema Last Planner, los jefes de campo son quienes elaboran las programaciones de obra y solo informan a los subcontratos para su cumplimiento, lo cual ocasiona incumplimientos de tareas y por tanto el flujo de trabajo deja de ser continuo. En adición, si la empresa subcontratista es considerada en las programaciones de obra, su confianza y compromiso con la contratista y con el proyecto se incrementará.
- La implementación de esta herramienta en la etapa de planificación de obra es más económica que durante la ejecución. De acuerdo al paper “Implementing Lean in Construction” (Koskela et. al, 2013) si el costo de construcción es como 1, el costo de diseño es 0.1 y el de mantenimiento está entre 3 y 5. Es por este motivo que si se implementa esta herramienta antes de comenzar con la ejecución de los trabajos, los costos del proyecto serán menores. Por otro lado, es importante tener claro los requerimientos del cliente para la etapa de diseño, de tal modo que este no solicite cambios durante las otras etapas del proyecto.

- La implementación del Pull Planning en la etapa de acabados es un gran reto, ya que estas partidas dependen de varios involucrados: el contratista, subcontratas y proveedores. En el caso de proyectos de oficinas dirigidos al sector A o B, los materiales de los acabados son importados en su mayoría, por lo cual deben de ser solicitados con anticipación, estos pedidos son realizados entre el área de Oficina Técnica y Almacén. Los trabajos de instalaciones dependen de arquitectura y viceversa, por lo cual todas las subcontratas deben de trabajar coordinadamente. Además, todos los trabajos deben de ser ejecutados cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad. Es por este motivo, que no solo el área de campo debe estar involucrado en la implementación del Pull Planning, sino debe existir el compromiso de todas las áreas del proyecto.
- La participación de los capataces y jefes de campo en las reuniones de planificación son importantes, debido a que son quienes tienen contacto directo con los obreros. Si el medio de comunicación de instrucciones de jefes de campo a capataces es de manera oral, se puede generar malos entendimientos y esto conlleva trabajos mal ejecutados. Es por este motivo, que el uso de mapeos y planos facilitan la comunicación entre ambas partes. Por otro lado, los capataces son los que más conocen a sus cuadrillas y sus rendimientos, información que es de mucha utilidad para la planificación de las actividades a ejecutarse.
- Una correcta planificación de actividades, en la cual se aplique el Last Planner System, incluyendo el “Pull Planning”, permite lograr un cumplimiento de 90%. Se debe considerar días de buffers en la planificación de las actividades, de esta manera, si existe retraso de actividades se utilizarán estos buffers y no se afectará el cumplimiento de los hitos contractuales. Otra solución es realizar la planificación semanal hasta el día viernes, con el fin de recuperar los atrasos de actividades los días sábados.
- La implementación del sistema Last Planner en proyectos de ambientes repetitivos, como son las viviendas multifamiliares u oficinas, logra mejores resultados, debido a que las actividades son repetitivas y la variabilidad puede

ser controlada, así como se puede optimizar la asignación de recursos. En el caso de proyectos como los centros comerciales, cada ambiente es diferente a los demás, por lo cual realizar la planificación en conjunto se complica.

- La elección de las empresas subcontratistas, quienes brindan mano de obra especializada en determinadas actividades, debe de realizarse no solo teniendo en cuenta los precios que ofrece, sino también la estabilidad que presenta la empresa (para que no se quede sin flujo de dinero), la experiencia en otros proyectos y la disponibilidad de personal que tiene. Si solo se elige a una subcontratista teniendo en cuenta sus bajos precios, se corre el riesgo que esta ofrezca trabajos de baja calidad e incumpla los trabajos que se encuentran bajo su responsabilidad. Hacerlos partícipes de las reuniones de planificación de actividades crea mayor compromiso y confianza entre ellos y la contratista.
- A pesar que el proyecto ha sido modelado en el software Revit y han existido 10 reuniones de compatibilizaciones BIM, hasta el momento se han enviado más de 300 RFI's, los cuales comprenden detalles incompletos, indefiniciones e incompatibilidades. Los causantes de esta problemática son: las reuniones BIM no se realizaron en la etapa de diseño, sino luego de la adjudicación del proyecto solo para realizar el modelado. Otro factor son los profesionales que participan en estas reuniones, quienes no se encuentran capacitados para poder identificar las incompatibilidades del proyecto y cambios en los planos durante la ejecución de partidas.

Bibliografía.

- Alarcón, L., & Pellicer, E. (2009). “Un nuevo enfoque de la gestión: la construcción sin pérdidas.” España: Revista de obras Públicas.
- Arangua, M. (2015). “Mejorando la calidad de vida en la organización”. Chile: Revista HSEC.
- Ballard, G. (2000). “Lean Project Delivery System”. Retrieved from www.leanconstruction.org/
- Breña, S. (2012). “Propuesta de un plan de seguridad y salud y presupuesto del plan de un edificio multifamiliar de diecisiete niveles de vivienda y cuatro sótanos de estacionamientos y depósitos en el distrito de Miraflores” (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Buleje, K. (2012). “Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Calampa, S. (2014). “Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyecto de edificaciones”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Castillo, I. (2014). “Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Díaz, D. (2007). “Aplicación del sistema de producción Last Planner a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura”. (Tesis). Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Guio, V. (2001) “Productividad en obras de construcción”. Lima, Perú: FONDO EDITORIAL Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Gutierrez, A. (2011). “La Construcción sin pérdidas”. Retrieved from <https://construccionlean.wordpress.com/>
- Guzmán, A. (2014) “Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hamzeh, A., & Aradi, O. (2013). “Modeling the Last Planner System Metrics- A Case Study of an Aec Company” Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Ingvald, B., & Laeknes, N. (2014). “Integrated planning vs. Last planner system”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Jang, J., & Kim, Y. (2008). “The Relationship Between the Make-Ready Process and Project Schedule Performance” Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Koskela, L. (1992) “Application of the new production philosophy to construction”. Technical report #72. Stanford: Stanford University.
- Koskela, L., Bolviken, T., & Rooke, J. (2013) “Which are the wastes of construction?” Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Lindhard, S., & Wandahl, S. (2012). “Improving the Making Ready Process - Exploring the Preconditions To Work Tasks in Construction” Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Martins, R., Feitosa, J., & Mählmann, L. (2014) “Line of Balance – is it a synthesis or Lean Production principles as applied to site programming f works?” Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Miranda, D. (2012). “Implementación del sistema Last Planner en una habilitación urbana”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Murguía et al. (2016). “Applying lean techniques to improve performance in the finishing phase of a residential building” Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). “La planificación de las obras y el sistema Last Planner”. Boletín N° 12, Corporación Aceros Arequipa
- Orihuela, P., & Esteves, D. (2013) “Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra”. Cancún, México: Encuentro Latino Americano de Gestión y Economía de la Construcción.
- Pimentel, A. (2016) “Problemática en la etapa de acabados de edificios multifamiliares y recomendaciones para mejorar la confiabilidad de la programación”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pons, J. (2014). “Introducción a Lean Construction”. España: Fundación Laboral de la Construcción.
- Ponz, J. (2010). “Planificación de la Construcción.” España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Porwal, V. et al. (2010). “Last Planner System implementation challenges”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Priven, V., & Sacks, R. (2015). “Effects of the Last Planner System on Social Networks among Construction Trade Crews”. American Society of Civil Engineers.
- Ruiz, P. (2015). “Propuesta de técnicas y herramientas para optimizar la gestión visual y de las comunicaciones durante la etapa de diseño de un proyecto de construcción”. (Tesis). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Sanchis, I. (2013). “Last Planner System: Un caso de estudio”. (Tesis). Santiago de Chile, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Soares et al. (2002). “Improving the Production Planning and Control System in a Building Company - Contributions After Stabilization”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Sterzi et al. (2007). “Integrating Strategic Project Supply Chain Members in Production Planning and Control”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Tiwari, S., & Sarathy, P. (2012). “Pull Planning as a Mechanism to Deliver Constructible Design”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Tsao, C., Draper, J., & Howeel, G. (2014). “An overview, analysis, and facilitation tips for simulations that support and simulate pull planning”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Tsao, C., & Hammons, G. (2014). “Learning to see simplicity within a complex project through the lens of pull planning”. Retrieved from <http://www.igcl.com/>
- Vargas, H. “Manual de Implementación Programa 5S”. Corporación Autónoma Regional Santánder.
- Xu, L. & Tsao, C. (2012). “Use of design drivers, process mapping and DSM to improve integration within an introductory BIM course”