UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Implementación de herramientas Lean Construction en proyectos multifamiliares de densidad media. Caso Proyecto Precursores en Surco

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para Optar El Grado Académico De Maestro En Dirección De La Construcción

AUTORES

Araujo Cervantes Aída Lucia	(0000-0002-0899-3110)
Avila Llaves Karlo Andree	(0000-0002-3525-2641)
Barbaran Vizcarra Carlos Mijail	(0000-0002-9152-2394)
Castillo Trejo Francis Víctor	(0000-0001-9301-4492)
Chinchihualpa Marquez Jorge Luis	(0000-0003-0444-3565)

ASESOR

Augusto Narciso Ayesta Castro	(0000-0003-3357-6324)
-------------------------------	-----------------------

Lima, 05 de Diciembre 2019

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	2
1.1 Planteamiento y Formulación del problema:	3
1.2 Objetivos De La Investigación:	4
1.2.1 Objetivo General:	4
1.2.2 Objetivos Específicos:	4
1.3 Justificación e Importancia	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Qué es Lean Construction	6
2.2 Herramientas de la Filosofía Lean Construction	6
2.2.1 Planeamiento Pull	6
2.2.2 Last Planner System	8
2.2.3 Análisis De Restricciones	12
2.2.4 A3 - Resolución De Problemas	13
2.2.5 Carta Balance	14
2.2.6 Value Stream Mapping	16
2.2.7 Lean Coffee	18
2.2.8 Gemba Walk	20
3. DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL PROYECTO.	22
3.1 Descripción De La Empresa	22
3.2 Descripción Del Proyecto	22
3.3 Análisis de la Causa raíz del problema	29
3.4 Mapeo De Problemas En La Obra	30
4. PROPUESTA DE MEJORA	37
4.1 Sistema utilizado en el proyecto	37
4.2 Implementación de procedimientos metodológicos:	39
4.3 Implementación del Pull Planning:	40
4.4 Implementación del Last Planner System y las herramientas Lean:	43
4.5 Comparativo de herramientas implementadas:	43
4.6 Indicadores de mejora para evaluar los resultados:	45
5. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO:	49
5.1 Cálculo de la inversión:	49
5.2 Estimación de los ahorros:	50

5.3	Cálculo de los márgenes de obra:	51
5.4	Análisis de Sensibilidad:	52
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1	Conclusiones	61
6.2	Recomendaciones	61
7.	BIBLIOGRAFÍA (APA)	63
8.	ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información para uso de PPC	10
Tabla 2 Porcentaje de partidas completadas – semana 28	26
Tabla 3 Porcentaje de partidas completadas – Acumulado	27
Tabla 4 Evidencias de brechas durante la ejecución del proyecto	34
Tabla 5 Evidencias de brechas en Post Venta	35
Tabla 6 Nivel de satisfacción con el departamento	36
Tabla 7 Nivel de satisfacción con la comunicación postventa	36
Tabla 8 Nivel de recomendación de la marca	36
Tabla 9 Comparativo planificación actual con propuesta de mejora	45
Tabla 10 Estimación del ahorro previsto	46
Tabla 11 Cantidad de reclamos por partida	47
Tabla 12 Herramientas Lean de acuerdo al tipo de reclamo	47
Tabla 13 Tipo de retrabajos cuantificado	48
Tabla 14 Herramientas Lean por tipo de retrabajo	48
Tabla 15 Monto de la inversión	50
Tabla 16 Ahorros de costos durante la ejecución y post venta	50
Tabla 17 Comparativo del margen de obra	51
Tabla 18 Distribución mensual de los costos reales	52
Tabla 19 Distribución mensual de los costos aplicando la propuesta de mejora	52
Tabla 20 Diferencias de costos estimados y costos reales	53
Tabla 21 Cuadro de la tasa libre de Riesgo	54
Tabla 22 Cuadro para el cálculo del factor β	54
Tabla 23 Cuadro para el cálculo de la prima por el riesgo de mercado	55
Tabla 24 Cuadro para el cálculo del riesgo país	55
Tabla 25 Parámetros de las distribuciones	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Porcentaje de tiempo no contributorio en fábricas y en la construcción	6
Gráfico 2 Información para uso de PPC	11
Gráfico 3 Gráfica %PPC vs semanas	28
Gráfico 4 Avance de Obra	38
Gráfico 5 Parámetro de distribución triangular de la inversión estimada	57
Gráfico 6 Parámetro de distribución normal de los ahorros estimados	57
Gráfico 7 Parámetro de distribución triangular para los costos de capacitación	58
Gráfico 8 Resultado del análisis con @risk	59
Gráfico 9 Variación del VAN en función a las entradas	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Formulación de la asignación en el planeamiento LP	8
Figura 2	Sectorización de área de trabajo	9
Figura 3	Tren de trabajo de un área de trabajo	10
Figura 4	Last planner con proceso Lookahead	12
Figura 5	Carta balance de una actividad	15
Figura 6	Lean Coffee por InRhythm	19
Figura 7	Objetivos de Gemba walk	20
Figura 8	Preguntas para Gemba walk	21
Figura 9	Imagen del proyecto Precursores	23
Figura 10	Vista en planta – Proyecto Precursores	24
Figura 11	Vista de perfil – Proyecto Precursores	24
Figura 12	Organigrama de la empresa ejecutora	25
Figura 13	Análisis Causa Raíz - Método de Ishikawa	29
Figura 14	Cronograma de obra – Antes de ejecución	37
Figura 15	Cronograma de obra – Término de ejecución	38
Figura 16	Esquema de herramientas Lean	40
Figura 17	Conformación de involucrados	41
Figura 18	Programación Pull	41
Figura 19	Programación Pull incluido buffers	42
Figura 20	Planificación de Obra – Programación Pull	42
Figura 21	Indicador de calidad	47
Figura 22	Indicador para desperdicios	48

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo propone la aplicación de lineamientos y herramientas de la filosofía Lean Construction para lograr una adecuada planificación, ejecución y control de proyectos de construcción de edificaciones multifamiliares con el objetivo de minimizar y prevenir los diversos problemas en obra, que no sólo repercuten en costo, tiempo y calidad sino también en la imagen de la empresa.

A través de estas herramientas se busca lograr disminuir los retrabajos, el incumplimiento de calidad, mejorar la rentabilidad del proyecto y disminuir la cantidad de observaciones de post venta para lograr la satisfacción de los clientes del caso de estudio Precursores.

Finalmente se espera que con el presente trabajo se logre tener un mejor enfoque de gestión de proyectos multifamiliares y que sirva como punto de partida para que empresas constructoras y profesionales logren sus objetivos superando la expectativa de sus clientes.

Palabras clave: Lean Construction; Pull Planning; Last Planner; Gemba Walk; Lean Coffee; Análisis de restricciones

ABSTRACT

This research work proposes the application of guidelines and tools of Lean Construction philosophy to achieve adequate planning, building and control of multi-family building projects with the objective of minimizing and preventing various problems at work, which only affect in cost, time and quality but also in the image of the company.

Through these tools, we expect to reduce reworks, non-compliance quality, improve the profitability of the project and reduce the number of post-sale observations to achieve customer satisfaction in Precursores case study.

Finally, it is expected that in this work a better approach to multi-family project management will be achieved and it will serve as a starting point for building companies and professionals to achieve their objectives and surpassing the expectations of their clients.

Keywords: Lean Construction; Pull Planning; Last Planner; Gemba Walk; Lean Coffee; Constraint Analysis.

INTRODUCCIÓN

El sector construcción es una de las actividades económicas más importantes del país, su índice de crecimiento está fuertemente ligado con el crecimiento económico del país, ya que aporta un gran porcentaje dentro del PBI, consiguiendo en los primeros meses del año 2019 un 6,7% superando a todos los sectores económicos que existen en el Perú, y de esta manera genera muchos puestos de trabajo de manera directa e indirecta, sin embargo es un sector bastante complejo que se desarrolla en un entorno con alta variabilidad y un alto nivel de competencia.

Por lo tanto, los proyectos inmobiliarios presentan estos mismos desafíos, sobre todo aquellas que son de densidad media a construirse en zonas exclusivas de Lima, como es el presente caso de estudio, la cual se irá describiendo y analizando todas aquellas características y factores que afecten los objetivos de este tipo de proyectos como es el plazo, el costo y la calidad en edificaciones multifamiliares de densidad media, de esta manera se pretende identificar aquellas herramientas de gestión basados en el modelo Lean Construction que puedan ser aplicadas en proyectos similares al caso de estudio y de esta manera poder eliminar o mitigar aquellos impactos negativos que afrontan los proyectos de construcción debido a la variabilidad durante su ejecución, una vez identificadas aquellas herramientas de gestión se evaluará la inversión necesaria para su implementación y éste será comparado con los beneficios esperados por la utilización de estas herramientas de gestión basadas en el modelo Lean Construction.

1. ANTECEDENTES

Los proyectos inmobiliarios pueden clasificarse de acuerdo a varios factores, los cuales definen las características específicas durante el diseño, construcción y venta del inmueble, uno de los factores está ligado a la zona en la cual estarán ubicados este tipo de edificaciones, esto es importante ya que de esta manera se definirá el sector de la población a la cual estarán dirigidos este tipo de viviendas, básicamente por un tema de capacidad adquisitiva del cliente, así mismo otro factor importante es el área y los parámetros urbanísticos, ya que condicionarán el diseño y por lo tanto influenciará en la construcción del edificio, también otro factor importante son las características de las edificaciones aledañas, ya que influenciará en el sostenimiento durante las excavaciones así como la constante interacción durante la etapa de construcción con los vecinos.

En este sentido se puede clasificar a los proyectos inmobiliarios como proyectos básicos y proyectos exclusivos, siendo estos proyectos básicos orientados a un sector de la población cuyo principal requerimiento es un precio accesible del inmueble, en ese sentido se busca optimizar todos los costos tales como en los estándares de los acabados ya sea pisos, grifería, pintura, acabados, etc.; por lo general este tipo de edificaciones cuenta con departamentos con áreas mínimas y mayor cantidad de niveles o pisos del edificio, por lo general busca mayor cantidad de unidades o departamentos para que de esta manera puedan ofertar un precio accesible por cada departamento.

Por otro lado también podemos clasificar a los proyectos inmobiliarios como exclusivos a aquellos que se encuentran ubicados en zonas residenciales las cuales están orientados a personas con mayor capacidad adquisitiva, también cuentan con más altos estándares en los acabados, mayor cantidad de detalles arquitectónicos, y con amplias áreas comunes, por lo general estas edificaciones cuentan con pocos niveles o pisos lo que hace que sean pocas unidades o departamentos, sin embargo cada departamento contará con ambientes amplios, con buenos acabados, utilizando materiales con altos estándares de calidad orientados a clientes exigentes con altas expectativas, como es el presente caso de estudio.

Los proyectos inmobiliarios también pueden clasificarse según el tipo de urbanización y zonificación de acuerdo a la densidad pudiendo clasificarse en 3 tipos: residencial de densidad baja (RDB), densidad media (RDM) y densidad alta (RDA), siendo estos los parámetros para

determinar la cantidad de unidades o número de departamentos en un edificio. El presente caso de estudio pertenece a la clasificación de Edificio Residencial de densidad media.

Es así que el presente caso de estudio pertenece a los proyectos exclusivos con densidad media de poca altura y una de las particularidades que tienen este tipo de proyectos es que tienden a generar mejores márgenes de utilidad en comparación al resto, ya que se da valor a los detalles y características específicas, al mismo tiempo que está orientado a clientes con mayor poder adquisitivo que el común, sin embargo debido a que estos proyectos se ejecutan relativamente en periodos más cortos, los cumplimientos de las fechas suelen ser bastante desafiante, con cronogramas con lotes de producción pequeños y mucha superposición de actividades que generan interferencias durante el periodo de construcción.

Otro de los desafíos constantes son la interacción con los vecinos, debido a que este tipo de proyectos se encuentran ubicados por lo general en zonas residenciales donde es bastante restringido la ejecución de trabajos fuera del horario establecido, por lo que limita a realizar todas las actividades planeadas dentro de la jornada de trabajo, también es importante tener en cuenta que debido a que los inmuebles están orientados a clientes con mayor capacidad adquisitiva, es al mismo tiempo clientes más exigentes y con mayor expectativa, por ende requiere un mayor cuidado en la calidad de los acabados, es por todas estas razones que se hace necesario tener un adecuado sistema de gestión que permita enfrentar los constantes desafíos que se pudieran presentar durante la ejecución de los proyectos.

1.1 Planteamiento y Formulación del problema:

El incumplimiento del planeamiento y la generación de sobrecostos durante la construcción y post venta en una edificación multifamiliar de 5 pisos por la no utilización de herramientas de gestión adecuadas, Caso de estudio edificio multifamiliar Precursores.

En este caso analizado, el proyecto enfrentaba un retraso cuantificado del 8% en el mes número 4 de su ejecución, es decir en el mes de enero del 2018 según la programación contractual.

La empresa a cargo de la construcción utilizó las herramientas del Last Planner System, es decir contaba con un cronograma general, realizaba la planificación intermedia utilizando el Lookahead, se realizaba las programaciones semanales, finalmente se ejecutaba y se podía controlar semanalmente con el indicador PPC (Percent Plan Complete), sin embargo no contaba con un adecuado análisis de restricciones, ya que durante los trabajos se presentaban diversos problemas que finalmente hacía que se ejecutara otras partidas no programadas en la

semana, teniendo bajos indicadores de PPC y a todo esto sumado la variabilidad y los plazos cortos generaban finalmente problemas de incumplimientos del programa y sobrecostos por no calidad, requiriendo reprogramaciones cada vez más desafiantes y hacia la necesidad de contar con mayores recursos y esto a su vez generaba mayores interferencias al momento de la ejecución, afectando los rendimientos de las cuadrillas, repercutiendo finalmente en mayores costos, también se generaron problemas con la calidad e incumplimiento de los plazos previstos de acuerdo al cronograma, no obstante debido a la premura y a la ejecución de varias partidas en paralelo otro problema que se pudo evidenciar fue el de post venta, ya que se registraron varias observaciones por los clientes las cuales se pudieron mitigar o evitar con el uso de herramientas de planificación y control adecuadas.

1.2 Objetivos De La Investigación:

1.2.1 Objetivo General:

Implementar herramientas de gestión basadas en la metodología Lean Construction que ayuden a cumplir con los objetivos de plazo, costo y calidad para aplicar en edificios multifamiliares de densidad media en Lima.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar las herramientas y lineamientos de la filosofía Lean que sean aplicables al caso de estudio.
- Realizar un diagnóstico del sistema de gestión actual y compararlo con la metodología Lean.
- Implementar una propuesta de mejora en base a la filosofía Lean para cumplir con el plazo, costo y calidad del proyecto.
- Analizar y comparar el impacto económico de la gestión actual con una gestión que haga uso de herramientas adecuadas basadas en el modelo Lean Construction.

1.3 Justificación e Importancia

Esta investigación es desarrollada para las constructoras y profesionales que ejecuten proyectos inmobiliarios de densidad media en zonas urbanas ya que les brindará algunos lineamientos y herramientas que podrán utilizar para lograr una adecuada planificación, ejecución y control de sus proyectos, con la finalidad de minimizar problemas como el incumplimiento de los plazos, la generación de retrabajos, incumplimiento de los estándares de calidad y por ende tener mayor rentabilidad al finalizar los proyectos, así también se busca

tener una menor cantidad de observaciones de post venta logrando la satisfacción de los clientes finales.

Esto surge debido a que durante la ejecución de los proyectos inmobiliarios de densidad media se presentan diversos problemas muy frecuentes debido a las características específicas de este tipo de proyectos, por lo que se busca prevenir y minimizar estos problemas en obra, pues no sólo representa un impacto en el plazo, costo o la calidad, que finalmente se puede traducir en pérdidas económicas, sino también se refleja en la imagen de la empresa, pues se tendrá clientes insatisfechos, reclamos, mayores costos en post venta, etc.

Es por ello que en la presente investigación pretende proponer lineamientos, recomendaciones y herramientas prácticas para poder llevar una adecuada gestión del proyecto generando desde un punto de vista económico, mayor rentabilidad para los constructores, para ello se realizará un análisis de costo beneficio en la cual se cuantifica toda la inversión necesaria para la implementación de aquellas prácticas y lineamientos que nos permitan mitigar o minimizar los problemas sucedidos en la obra y se comparé con los ahorros esperados al minimizar los impactos económicos negativos generados.

Desde un punto de vista social, se pretende obtener clientes finales satisfechos con los proyectos, para ello se realizará un inventario de las principales observaciones de post venta cuantificando la cantidad de observaciones realizadas por los propietarios, luego planteamos algunas alternativas para mitigar o eliminar este tipo de observaciones, y finalmente se propondrá indicadores para su control, de manera que cuanto menos observaciones de post venta se tenga mayor será la satisfacción del cliente.

Y finalmente bajo un punto de vista ambiental se pretende minimizar los desperdicios producto de los retrabajos y de esta manera se contribuye a tener proyectos más limpios, para ello se realizará una cuantificación general de los retrabajos más incidentes realizados durante la ejecución del proyecto, así mismo se identificarán herramientas de gestión para mitigar o evitarlas y finalmente propondremos indicadores que nos permitan llevar el control de manera que cuanto menos re trabajos tengamos en la obra, menor será la cantidad de desperdicio producido, es decir menor será el impacto ambiental, de esta manera se pretende tener obras óptimas, evitando los retrabajos, minimizando las observaciones de post venta, aumentando la rentabilidad del constructor y satisfaciendo al usuario final.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Qué es Lean Construction

Lean viene a ser un modelo que tiene como propósito mitigar o eliminar las pérdidas naturales de un determinado proceso, y también el de maximizar aquella producción masiva que da valor al sistema (J. Womack, 1991)

Lean Construction está enfocado al sector de la Construcción, el cual busca cambiar los sistemas tradicionales de gestión conceptualizando en 3 caminos complementarios denominados transformación, flujo y generación de valor; además, hay que destacar que la aplicación del modelo Lean en la construcción es diferente a cualquier otro sector (en especial a las manufacturas) debido a que requiere de un grupo de objetivos para llegar a los entregables, se hace necesario maximizar los rendimientos a nivel de proyecto para calificar con el cliente, hay existencias de diseños concurrentes en el proceso y en el producto, y por último es necesario el control de la producción a lo largo de la ejecución, tal como se muestra en el Gráfico 1. Para ello es necesario entender la variabilidad y las restricciones a lo largo del flujo de valor (R. Fayek, 2013).

Gráfico 1 Porcentaje de tiempo no contributivo en fábricas y en la construcción

Fuente: Lean Construction Institute, 2004

Lean Construction es una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (Koskela Lauri, 1992).

2.2 Herramientas de la Filosofía Lean Construction

2.2.1 Planeamiento Pull

Para el comienzo de la ejecución de una obra de construcción, se tiene como base el plan maestro, el cual muestra la programación de una planificación. Hay 2 tipos de planificación: Push y Pull.

Push tiene una estrategia basada en una planificación tradicional, en el que tan solo busca llegar al tiempo establecido, además esta planificación es llevada a cabo por solo unas cuantas personas no necesariamente involucradas directamente con la producción de la obra.

La otra estrategia viene a ser Pull, el cual está alineado al pensamiento Lean. Este tipo de planificación se caracteriza por lo siguiente:

- Está basado en la demanda
- Depende de la última actividad, el cual es visible al cliente: Hitos.
- Todos los involucrados colaboran al mismo tiempo
- Tiene un orden coherente y definido.
- Tiene un límite explícito.
- No genera sobre producción y exceso de inventarios.
- Es flexible a los cambios.

Al ser un tipo de planeamiento en el que los involucrados con la construcción participan, los acuerdos y compromisos son confiables y son registrados para la fase inicial, para el uso del Last Planner System y algún software que pueda adaptarse a los lineamientos seguidos.

El primer paso para la aplicación tiene que ver con la participación de todos los involucrados que intervendrán en la obra, el cual viene a ser el staff del contratista, los proveedores, los subcontratistas, etc.

La participación se lleva a cabo en una reunión en el que se realizará la planificación total tomando en cuenta los hitos plasmados por el cliente. En función a los hitos se planificaron todas las actividades en reversa. Según este paso, es importante que se tomen en cuenta el tiempo de demora de cada actividad por cada participante, debido a que esa información será el compromiso de cada uno. Dentro de ese tiempo abarcan todas las restricciones que se pueden presentar, el tiempo que demora en ser ejecutado, así como el tener claro de qué otra actividad puede depender y quién viene a ser el responsable.

La manera de representar la información es por medio de unas notas de papel adhesivas, el cual cada participante tiene un color diferente para ser más notorio.

Al terminar estos pasos se podrá conocer la holgura para lograr cada hito el cual servirá como buffer para cumplir los objetivos.

Todos estos pasos son la fase inicial del uso de la herramienta del Last Planner System, el cual la principal información a usar es el plan total de la obra.

2.2.2 Last Planner System

El Last Planner System es una herramienta de la filosofía Lean Construction que se ubica dentro del LPDS (Lean Project Delivery System) en la fase de control de la producción y engloba otras herramientas de control de producción como la planificación maestra, planificación por fases, Lookahead, plan semanal, porcentaje de plan cumplido y causas de no cumplimiento.

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

El “Last Planner” o último planificador es el que ejecuta el LPDS, se define como la persona o grupo de personas que tienen la función específica de asignar el trabajo y transmitirlo directamente a campo, es decir están en el último nivel de planificación y se encargan de que toda la planificación se transmita efectivamente a los trabajadores de campo.

Adicionalmente la función del último planificador es lograr que lo que queremos hacer coincida con lo que podemos hacer y finalmente ambas se conviertan en lo que vamos a hacer. Esto se puede relacionar con el siguiente esquema como se muestra en la Figura 1.

Figura 1 Formulación de la asignación en el planeamiento LP

Fuente: Ballard, 2000

Según Ballard (1994). “en los esquemas convencionales de manejo de obra en construcción, se invierte mucho tiempo y dinero generando presupuestos y planificaciones de obra; el esfuerzo de planificación inicial se convierte durante la ejecución de la construcción en un

esfuerzo de control. Todo funcionará bien si viviésemos en un mundo perfecto”. Pero, como se sabe la planificación suele desviarse de lo propuesto prácticamente el primer día de la obra causando un efecto dominó y perjudicando las actividades siguientes, por esto se genera la necesidad de re planificar gran parte del proyecto, al ir disminuyendo las holguras. Dentro de la planificación general se genera una presión mayor por terminar más rápido, esto hace que los costos de mano de obra y equipos suban radicalmente trayendo como consecuencia, el uso de una gran cantidad de recursos por lo que se obtiene una eficiencia muy baja para lograr terminar la obra en los plazos establecidos.

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

El sistema comienza con el alcance, el cual debe ser plasmado en un plan maestro. Ya conocidos con una mejor precisión los tiempos en hitos, los recursos a usar y las secuencias entre especialidades, en función a esa información la planificación se plasmará en un Pull Planning. Adicionalmente, se debe implementar 2 aspectos: sectorizaciones y trenes de trabajo para las partidas principales

Se usa la sectorización para poder dividir los trabajos en áreas y metrados iguales, los cuales tales trabajos a realizarse en cada sector deben culminar en 1 día, la sectorización del área de trabajo puede ser representada como se muestra en la Figura 2.

Figura 2 Sectorización de área de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la cuadrilla que realiza el trabajo en un sector, el día siguiente debe realizar lo mismo en el siguiente sector, de tal forma que tenga un ritmo de producción que sea igual al planificado en el Pull Planning y se mantenga la constancia por día y mejor controlado. En la Figura 3 se observa una programación de un tren de trabajo en función a 4 sectorizaciones.

Figura 3 Tren de trabajo de un área de trabajo

Fuente: Elaboración propia

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

Para el correcto control es importante tener la información semanal de avances ejecutados y liberados, puesto que de esa manera se podrá comparar la situación tanto semanal como del proyecto. En la **Tabla 1** se tiene como ejemplo los avances en 4 semanas, el cual brinda conclusiones directas si la obra se encuentra atrasada o no. Para ese caso, pese a que en la semana 3 se cumplió el objetivo al 100%, en acumulado llegó a cumplirse el 90%. Ante ello, es fundamental tener una meta de lo planificado, el cual lo recomendable es cumplir al menos con un 80%

SEMANA	Programado		Ejecutado		PPC		
	SEM	ACUM	SEM	ACUM	SEM	ACUM	META
SEM 01	5	5	4	4	80%	80%	80%
SEM 02	8	13	7	11	88%	85%	80%
SEM 03	8	21	8	19	100%	90%	80%
SEM 04	8	29	6	25	75%	86%	80%

Tabla 1 Información para uso de PPC

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2 Información para uso de PPC

Fuente: Elaboración propia

En el **Gráfico 2**, se muestra el PPC, el cual permite generar una tendencia lineal. En el caso de ser positivo quiere decir que el ritmo de producción en función a lo planificado está en buena proyección, mientras que si es negativo, se debe identificar los motivos que no permiten cumplir con lo necesario de la programación, lo que conlleva a que se tomen decisiones para cambiar la situación.

En la primera publicación que se hizo sobre Last Planner, Ballard planteó un esquema en el cual se observa cómo interviene el Last Planner en la planificación de una obra, los cambios y mejoras que esto representa para toda la planificación y por consiguiente para el desarrollo del proyecto.

El último planificador proporciona las herramientas para que la programación a largo plazo sea cumplida con éxito, empieza acortando la programación en una de mediano plazo llamada “Lookahead”, la cual varía entre periodos de 3 a 5 semanas, el cual nos asegura en ese tiempo reajustar nuestra planificación inicial, nos permitirá conocer si están próximos a terminarse algunas partidas o por comenzar otras, además aquí se hace un análisis de las restricciones que presentan las actividades dentro del programa y luego se pasa a una programación más corta que es la semanal, a la cual se llevan todas las actividades libres de restricciones extraídas del Lookahead, esto hace que se pueda tener la certeza de que no habrá inconvenientes para cumplir con la programación establecida en la semana. En la **Figura 4**, se observa el proceso general enfocándose principalmente en la planificación a mediano plazo, mediante el uso de Lookahead.

Figura 4 Last Planner con proceso Lookahead

Fuente: Ballard, 2000

2.2.3 Análisis De Restricciones

Es un conjunto de metodologías que te permite identificar los procesos que son “cuellos de botella” para poder cumplir el objetivo planificado. Este análisis fue desarrollado por el Doctor Físico Eliayhu M. Goldratt en su libro “La meta”, donde establece una serie de procesos y mejora continua para cumplir con los objetivos del proyecto.

El análisis de restricciones dentro de la metodología del Last Planner System se basa en asegurar el cumplimiento del Lookahead de manera que al momento de realizar la programación semanal, las actividades de dicha semana no tengan restricciones que eviten su ejecución, para ello el análisis se realiza con 3 o más semanas de anticipación de tal manera que en una reunión con todos los responsables de obra se realice la identificación de todas las restricciones y estas se registren en una tabla donde cada una de estas restricciones estará asignado a un responsable quien será el encargado del levantamiento de esta restricción, en dicha tabla se coloca la fecha en la cual se realiza el compromiso y la fecha en la cual se estima realizar el levantamiento de esta restricción.

De esta manera semanalmente se realizará estas reuniones donde se registran nuevas restricciones para la nueva semana del Lookahead, así también se realizará una revisión de las restricciones pasadas para la verificación de su cumplimiento.

Una vez levantada la restricción se actualiza la tabla indicando la fecha real en la cual se levantó dicha restricción y se compara con la fecha prevista, debido a que los compromisos están relacionados al cumplimiento del Lookahead y el cumplimiento de los hitos del plan general o plan maestro, las fechas estipuladas para el levantamiento de las restricciones tienen que cumplirse ya que de tener atrasos podría comprometer con la secuencia de actividades y afectar el cumplimiento de los hitos del proyecto, finalmente se procede a realizar la programación de la semana con las actividades libres de restricciones.

Dentro de las restricciones que se puede encontrar durante la ejecución de un proyecto podemos encontrar:

- Problemas con la Ingeniería del proyecto.
- Problemas con los subcontratistas.
- Stakeholders
- Variabilidad
- Problemas con la cadena de suministro
- Falta de mano de obra calificada
- Problemas con la calidad
- Fallas inesperadas, etc

2.2.4 A3 - Resolución De Problemas

El reporte A3 es un modelo de informe de una sola página, llamado así por el tamaño de papel que contiene información crítica sobre un tema, este reporte surgió como una práctica de Toyota para desarrollar un problema, un análisis, una acción correctiva y un plan de acción por escrito en una sola hoja.

La estructura depende del tipo de A3 y las necesidades de la situación, un reporte general tiene la siguiente distribución:

1. Antecedentes.
2. Situación actual y problema.
3. Planeamiento de objetivos.
4. Análisis de Causa raíz
5. Situación Propuesta
6. Planes de Acción

7. Indicadores a Seguir

Con este reporte A3 no solo podemos solucionar problemas comunes y complejos en un proyecto, sino también es una herramienta de comunicación de ideas complejas de una manera sencilla, ya que muestra de una manera clara el problema y su solución mediante planes de acción representadas generalmente por diagramas o acciones específicas a seguir con fechas establecidas y responsables que las ejecuten, para finalmente poder hacer un seguimiento de los indicadores que nos mostrarán el cumplimiento de los compromisos, pudiendo tener toda esta información en una hoja A3, y este sea colocada en un lugar visible para conocimiento de todos los interesados.

2.2.5 Carta Balance

La búsqueda constante de mejorar los trabajos, procesos o rendimientos en una cuadrilla es un aspecto importante para el pensamiento LEAN, puesto que la mejora continua colabora directamente con maximizar el valor en el tiempo de vida de la construcción. Una metodología que forma parte de este paso viene a ser la Carta Balance.

La Carta Balance es una herramienta aplicable para la mejora continua en la producción de una obra, el cual se encarga de dar el equilibrio a las cuadrillas que en un inicio se conformaron a través del análisis en los trabajos que realiza cada obrero de una determinada cuadrilla que ejecuta una actividad.

Usando esta herramienta se tiene la posibilidad de obtener resultados en cuanto al método de trabajo y la cantidad de obreros reduciendo los tiempos improductivos para la eficiencia de esa cuadrilla. Para ello, es esencial comparar la actual metodología con otra que podría sustituir, luego se debe analizar el nivel de uso eficiente de los recursos de la cuadrilla como la mano de obra, maquinarias, materiales u otros, los cuales deben ser cuantificados. Una vez realizado ese paso, debe analizarse a mayor profundidad el diagrama de proceso de los recursos, en especial los de mayor extensión. Es recomendable tener varios muestreos en días diferentes para una mejor confiabilidad y precisión. Terminando estos pasos se podrán procesar todos los datos, obtener resultados, concluir y tomar decisiones en función a la carta balance ideal (Serpell, 1990).

La carta balance se representa por medio de diagramas en función a 3 variables: Persona, tiempo (en minutos) y trabajo que realiza el obrero tal como se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5 Carta balance de una actividad

Fuente: Serpell, 1990

Para obtener los datos correctos y resultados confiables es necesario tener en suma consideración lo siguiente:

- Elegir la actividad que se quiere optimizar en recursos y verificar la cantidad de personas que conforma la cuadrilla que lo viene ejecutando.
- Por cada persona, obtener los tiempos en cada trabajo que realiza, ya sea que se encuentre en actividad o no. El tiempo de análisis se toma según criterio (ej. 30 min).
- Dividir los tiempos de cada trabajador, según tiempos de trabajo productivo, contributorio y no contributorio.
- Obtener porcentajes de trabajo y sacar el primer análisis en función a obreros que tienen altos porcentajes de trabajo no contributorio.

- Analizar si se obtuvieron trabajos no contributivo por ausencia de recursos o por falta de actividad. Se puede cuantificar en función a tiempo que el recurso trabaja y el tiempo que el recurso está presente
- Analizar trabajos que tienen mayor tiempo y menor tiempo, y profundizar el por qué podrían tener porcentajes altos.

Al obtener la carta balance ideal, es importante plasmarlo en la cuadrilla para mejorar la generación del valor de los trabajos realizados. Posteriormente se debe seguir buscando otras cuadrillas que hagan otras actividades para la búsqueda de su mejora continua.

2.2.6 Value Stream Mapping

VSM es un conjunto de actividades productivas y no productivas de un proceso para obtener un producto. Esta herramienta consiste en investigar algunas partidas de un grupo de partidas en este caso de construcción.

De este proceso de investigación de las partidas se obtienen tiempos de espera, tiempos de ejecución, tiempo de paralización, cantidad de personas involucradas, etc, los cuales serán representados en un gráfico que nos ayudará a tener una mayor visualización. De esta manera estamos elaborando un mapeo del estado actual del producto, el cual puede tener deficiencias y/o oportunidades de mejora. Para ello, se ofrecerán recomendaciones y soluciones los cuales serán representados en un gráfico mostrando las reducciones de tiempo, al cual llamaremos mapeo del estado futuro.

A continuación, se explica el mapeo de cadena de valor enfocado en los 5 principios de la filosofía Lean:

- Valor: Está enfocado en la satisfacción del cliente en tiempo, costo, calidad, etc. Para ello, el constructor debe definir el valor en términos de todo el producto, brindando el soporte necesario a cada una de las áreas que componen a la empresa, por ejemplo: logística, RRHH, operaciones, etc. Además, se deben identificar los procesos que agregan y no agregan valor.
- Flujo: Es la cadena de valor de un proceso, compuesto de todas las actividades para obtener un producto. No necesariamente, todas las actividades agregan valor, el objetivo está en identificar qué actividades agregan valor y eliminar las que no, para

proponer un nuevo flujo de actividades. El cual se le conoce como el mapeo de cadena de valor estado futuro.

- Eliminar actividades que no agregan valor: En el sector construcción el trabajo se divide en 3 tipos:

Trabajo productivo: Son aquellos que agregan valor directamente al producto, por ejemplo: Asentado de ladrillo, tarrajeo de muros, etc.

Trabajo contributivo: Son aquellos que dan soporte al trabajo productivo, por ejemplo: mezclado de mortero para asentar ladrillo, acarreo de materiales, etc.

Trabajo no contributivo: Son aquellos que no agregan valor al producto, por ejemplo: demolición de una columna, personal sin hacer nada. Todos estos trabajos que no son necesarios se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Sobre producción: Ejecutar más cantidad de productos que la necesaria.
 - Esperas: Personal sin efectuar trabajos, por falta de aprobación, por disponibilidad de materiales, etc.
 - Transporte: Trasladar más cantidad de materiales que la necesaria.
 - Sobre procesamiento: Realizar más trabajo de lo necesario.
 - Inventario: Mantenimiento de productos en exceso.
 - Movimiento: Traslados innecesarios o que se pueden optimizar.
 - Defectos: Trabajos rehechos.
- Producción Pull al ritmo de la demanda del cliente: Se trata de producir un producto en la cantidad, calidad y en el tiempo determinado por el cliente. En nuestro caso por ejemplo: la construcción de un edificio multifamiliar, la inmobiliaria nos puede solicitar que finalicemos con los 3 primeros departamentos del 2do piso para que lo muestre al cliente final. Entonces entendiendo la prioridad, no ayudaría producir mucho de una sola partida, sino tenemos finalizado lo que el cliente necesita.
 - Mejora continua: El quinto paso está enfocado en hacer las cosas cada vez mejor. Para ello, podemos aplicar el ciclo de Deming (Planificar, hacer, chequear y actuar) a nuestro mapeo de cadena de valor estado futuro con la finalidad de identificar que las

propuestas hechas se hayan cumplido y si no identificar por qué no se cumplieron para tomar nuevas decisiones.

2.2.7 Lean Coffee

Esta idea fue implementada por Jim Benson y Jeremy Lightsmith a raíz de generar reuniones más productivas y coherentes. Esta práctica busca fomentar la filosofía Lean en los participantes y compartir conocimientos entre todos.

Lean Coffee es una reunión semi estructurada sin agenda en donde un grupo de personas se reúnen para discutir técnicas en forma “Lean”. La estructura de la reunión debe ser llevada por un facilitador quien desarrollara esta práctica de la siguiente manera:

A. Se crea un tablero Kanban, palabra japonesa que traducida significa “tarjeta con signos” o “señal visual”, esta denominación surgió en Toyota Production System (TPS) como método para gestionar el trabajo.

Este tablero está compuesto por 3 columnas: “por discutir”, “discutiendo” y “discutido”.

B. Se facilita “notas de papel autoadhesiva” a todos los participantes para que anoten temas relevantes que se deseen discutir, para este paso es aconsejable dar un lapso de tiempo, entre 2 a 3 minutos.

C. Una vez obtenidas las ideas y sin tener temas duplicados, se colocan en el tablero Kanban en la columna “por discutir”, en caso exista alguna duda sobre el tema, el participante que propuso el tema debe dar una breve explicación.

D. Luego se procede a votar, en donde cada participante tiene 2 votos como máximo, puede votar por el mismo tema o por temas diferentes. Se aconseja contabilizar los votos en el mismo “nota de papel autoadhesiva”.

El tema más votado pasa a la columna “discutiendo”, el resto de temas se deja en la columna de “por discutir” según prioridad de votos.

E. Luego se procede a discutir los temas más votados con la participación de todos los asistentes, se aconseja dar un lapso de tiempo de 5 a 10 minutos por tema.

F. Una vez concluido la discusión del tema, se decide a través de votación si se desea agregar 2 minutos más al tema. La votación se hace a través de una señal con el pulgar del índice: pulgar arriba significa “Sí”, mano en forma de puño es “neutro”, pulgar hacia abajo es “No”.

G. Cuando el tema está cerrado pase el “notas de papel autoadhesiva” a la columna “discutido” y así se ira tocando tema por tema

Todos estos pasos se muestran en la **Figura 6**.

Figura 6 Lean Coffee por InRhythm

Fuente: InRhythm

Al finalizar el Lean Coffee se debe tener planes de acción y temas resueltos, no debe tomar muchas horas sino se pierde el sentido “Lean” y además debe desarrollarse en un ambiente agradable y de confort para que las discusiones sean llevaderas.

Esta práctica ayuda a compartir conocimientos, generar relaciones con los participantes, hacer feed back de temas relevantes y aprender temas de otros ámbitos.

2.2.8 Gemba Walk

Según el Instituto de Construcción Lean Gemba es un término japonés que significa “en donde el trabajo se lleva a cabo” o “en el sitio de acción” creado por Taiichi Ohno, un ejecutivo de Toyota, con el fin de que los trabajadores puedan ver los procesos “desde afuera”, desde otra perspectiva, evaluarlos, hacer preguntas, analizarlos y proponer mejoras.

Los ingenieros deben detectar problemas y acudir a la causa raíz recopilando la información de todas las fuentes.

Gemba walk es un recorrido visual y planificado del lugar de trabajo para ver y entender los procesos, generando oportunidades de estandarización y mejora continua, que lleva la gestión desde la práctica o lo que se conoce como Gemba - Kaizen, que hace referencia a proceso de mejora continua basado en acciones concretas, simples y poco onerosas, y que implica a todos los trabajadores de una empresa.

Con la caminata Gemba se puede lograr varios objetivos que ayudan a la mejora continua, teniendo bastante relación con la filosofía Lean, los objetivos del Gemba walk se muestran en la **Figura 7**.

Figura 7 Objetivos de Gemba walk

Fuente: Elaboración propia

Para que las caminatas Gemba tengan un resultado efectivo deben cumplir con las siguientes reglas:

- Ir a ver: Se tiene que ver cómo funciona el proceso de producción, para comprobar uno mismo si los operarios y los procesos van en la misma dirección que los objetivos globales de la empresa.
- Preguntar ¿por qué?: Se tiene que conocer al detalle cada proceso de producción y eliminar los problemas del día a día. Muchas cosas se hacen por rutina sin preguntarse si están bien o mal. Al preguntar ¿por qué? en las acciones habituales se mejoran los procesos, ya que te das cuenta que muchas veces se hacen procesos que no son necesarios.
- Mostrar respeto: Se debe tratar de hacerle la vida más fácil al operario mostrando interés por su bienestar.

Algunas preguntas que se pueden realizar al momento de iniciar una Gemba walk se muestran en la **Figura 8**:

Figura 8 Preguntas para Gemba walk

Fuente: Elaboración propia

3. DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL PROYECTO.

3.1 Descripción De La Empresa

El proyecto analizado fue ejecutado por una empresa de amplia experiencia en el mercado peruano la cual está constituida por la constructora y la inmobiliaria que en conjunto se dedican a la promoción, desarrollo de proyectos inmobiliarios y a la construcción tanto de los proyectos propios como de proyectos de clientes externos.

La inmobiliaria pertenece a un grupo que tiene un sólido respaldo económico, cuenta con más de 20 años en el mercado peruano y ha desarrollado a la fecha 75 proyectos de edificios multifamiliares en Lima, principalmente en los distritos de: Miraflores, Surco, Lince y Jesús María, siendo estos orientados a sectores socioeconómicos A+/ A y B de la población.

La empresa Constructora está conformada por un equipo de trabajo con varios años de experiencia, las cuales ejecuta los proyectos propios, tanto de la inmobiliaria como proyectos de clientes externos entre ellos edificaciones multifamiliares, oficinas, comerciales y hoteleros.

3.2 Descripción Del Proyecto

- Obra: Edificio multifamiliar Precursores
- Ubicación: Calle Precursores N° 421 Urb Chacarilla - Surco - Lima
- Plazo de ejecución: 14 meses
- Costo: \$ 2,927,805.01

El proyecto Precursores es un proyecto multifamiliar conformado por 2 edificios de 5 pisos, 1 semisótano y 2 sótanos. En los sótanos se encuentran los estacionamientos, cisternas de Agua contra Incendio y consumo, cuarto de máquinas y cámara de desagüe. En los 5 pisos de la torre posterior se encuentra 1 departamento por piso, mientras que en la torre frontal tiene 2 departamentos por piso, haciendo un total de 15 departamentos. Cada uno de los edificios cuenta con 1 ascensor directo a los departamentos y escaleras como accesos a cada nivel.

El proyecto está ubicado en la Av. de los Precursores N° 417-421 Urb. Valle Hermoso, en el distrito de Santiago de Surco, el área del terreno es de 934.98 m², y un área total construida de 4,871.39 m². Está conformado por muros interiores de ladrillo, las cuales serán solaqueados y tarrajeo frotachado, empastado y pintado, al igual que el cieloraso, en cuanto a los pisos se tiene pisos de cerámico en las áreas de servicios y en los baños, mientras que se

tiene piso laminado en los demás ambientes. Se tiene carpintería mixta de fierro y contraplacado en puertas y closets, en fachadas en interiores sistema de vidrio y aluminio, acabados en porcelanato, granito y cuarzo.

Estructuralmente está conformado por placas y vigas de concreto armado con ejes variables entre 2.00 y 9.75 m aproximadamente, losas aligeradas con luces similares, tabiquería de ladrillo en muros interiores, caja de ascensores y escaleras de concreto armado.

En la **Figura 9** se muestra la imagen del proyecto Precursores.

Figura 9 Imagen del proyecto Precursores

Fuente: La Constructora

A continuación, se muestra algunas vistas en planta del proyecto como se muestra en la Figura 10, donde se puede notar las 2 torres, la torre A (ubicada en el frontis), y la torre B (ubicada en la parte posterior).

Figura 10 Vista en planta – Proyecto Precursores

Fuente: La constructora

También se muestra una vista en perfil del proyecto, Figura 11 donde se puede apreciar los 2 sótanos, el semisótano, los 5 niveles y la azotea, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 11 Vista de perfil – Proyecto Precursores

Fuente: La Constructora

La estructura de la organización estaba conformada básicamente por un ingeniero residente quien está a cargo de la dirección del proyecto, cuenta con un ingeniero de campo que también ve la parte de calidad, una arquitecta encargada de la validación de los planos y especificaciones, un jefe de seguridad y medio ambiente y un administrador encargado de los suministros, la logística y la administración de la obra.

En la **Figura 12** se muestra el organigrama de la empresa constructora.

Figura 12 Organigrama de la empresa ejecutora

Fuente: La Constructora

El proyecto inició el 26 de octubre del 2017 donde se entregó el terreno y se dio inicio a todas las actividades, empezando por el levantamiento topográfico, la ejecución de las calicatas para los cimientos, los permisos necesarios y las constataciones notariales con los vecinos, inmediatamente después la eliminación de los cimientos corridos existentes.

El planeamiento inicial se realizó ejecutando tanto la torre A (frontal) y la torre B (posterior) de forma paralela, sin embargo, en una reunión preliminar la inmobiliaria solicitó conservar la caseta de ventas que invadía 5 metros del terreno en gran parte de la fachada debido a una estrategia comercial, y esto generó que la torre A postergue su inicio 2 meses después de lo planificado y por este motivo se inició con la construcción sólo de la torre posterior (torre B) y parte del patio central; de esta manera desde el primer mes de obra el proyecto ya se encontraba totalmente desfasado con respecto al planeamiento inicial.

En enero del 2018 se inició la torre frontal (torre A) donde se llevó a cabo la demolición de la caseta de ventas y se reubicaron las oficinas técnicas, para este tiempo ya la torre B se encontraba vaciando los cimientos en el Sótano, sin embargo, ya el proyecto tenía un retraso contractual del 8%, no sólo representaba el atraso del inicio de los trabajos en la torre A, sino también que durante las excavaciones se encontraron algunos vicios ocultos que extendieron los tiempos previstos.

Para el mes de marzo del 2018 se terminó el casco de la torre B mientras que en la torre A, ya se habían culminado con todos los trabajos de excavaciones, muros anclados y se encontraban trabajando en el techo del sótano 2, a pesar que ya ambas torres se encontraban en ejecución, el proyecto aún permanecía con un 8% de retraso con respecto al cronograma contractual, así mismo el equipo de trabajo con el objetivo de revertir la situación y cumplir con la meta, incrementa el número de cuadrillas y acelera el ritmo de la ejecución, sin embargo todo este esfuerzo por acelerar los trabajos generó una falta de control del proyecto, no mapeando

algunas restricciones importantes, así como también generando algunas interferencias entre actividades, haciendo necesario en algunas oportunidades realizar re trabajos y reparaciones.

También se pudo observar que a pesar que el proyecto tenía buen ritmo de avance, no se veía totalmente reflejado en el PPC (Percent plan complete), ya que este normalmente arrojaba valores bajos, que indicaba que el proyecto podría estar avanzando sin embargo no exactamente con lo planificado, al mismo tiempo desarrollaban las reuniones semanales donde no se analizaron las restricciones, por lo que se puede presumir que la metodología Last Planner no se estaba siguiendo en su totalidad, en la tabla 2 se muestra el análisis del PPC de la semana 28.

PORCENTAJE DEL PLAN COMPLETADO													
NOMBRE DE PROYECTO: LE PARC		PROPIETARIO: UBICACION:		INVERPROM AV/DE LOS PRECURSORES 421 SURCO					FECHA: 24/08/2018 Nº DE HOJA: 3				
Descripción de la Actividad	Und	Metrado Programado	Metrado Realizado	SEMANA 28 DESARROLLO					ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA SEMANA				
				L	M	M	J	V	S	NO	FINO	CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	MEJORA CORRECTIVA
TRABAJO DE CAMPO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TORRE B		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DEPARTAMENTOS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TABLQUERIA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Asentado de Ladrillo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Asentado de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Escalera y c/corta de montante		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
fachada		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
ENCHAPES Y RESANES		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Enchape		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Enchape de Muro		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Drywall		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
REMETRADOS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Puertas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Tableros de la ventana		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Cristales		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Gase		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Muebles de Cocina		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Piso de Cocina		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Tableros de Cocina		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Remetado de Muebles de Baño		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PINTURA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Librería de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Impresión de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Empastado de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Empastado de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Niveles y Puntos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Caja Rosa		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tarrajeo de Vigas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Trazos y Puntos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tarrajeo de Pisos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TABLQUERIA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Trazos y Limpieza		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Instalaciones Eléctricas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pruebas de Estanqueidad		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Instalaciones Sanitarias		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Anclado de Aluminio Inst de Baño		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Asentado de Ladrillo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Asentado de Fachada		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nivelación de Puntos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pruebas de Presión		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
REMANES ASENTADO DE LADRILLO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DERIVACIONES Y NIVELACION DE PISO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cristales		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Fachada de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Solapado de Muros		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Derivaciones en Toboques		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tarrajeo de Muros y Derivaciones		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Derivaciones en Pisos y Vigas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Instalaciones Eléctricas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Limpieza de Contrapiso		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Conexión para Instalaciones de Gas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Instalaciones de Gas		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pruebas de Hermeticidad		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tableros de Cristales		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carpintería Metálica		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cajos de Volados y Resanes		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA SEMANA (FIN)										16	22		
										42%	38%		

Tabla 2 Porcentaje de Partidas Completadas – semana 28

Fuente: La Constructora

Como se puede observar en la tabla 2 la que muestra el PPC=42% correspondiente a la semana 28, que indica que el planeamiento de la semana tiene un 42% de confiabilidad y es reflejo de que muchas de las restricciones no fueron levantadas por lo que no se ejecutaron las actividades inicialmente programadas.

Realizando un análisis del indicador PPC desde el inicio de las actividades podemos ver la **Tabla 3** que muestra este indicador desde el inicio hasta la semana 28:

PPC (PORCENTAJE DE PARTIDAS COMPLETADAS)									
PROYECTO PRECURSORES									
INGRESE LOS DATOS EN LAS CELDAS SOMBREADAS DE NARANJA / VERIFIQUE LAS FECHAS Y SEMANAS A REPORTAR									
Mes	Semana	Hasta el día	Tareas Programadas		Tareas Realizadas		Confiabilidad (PPC)		
			Sem	Acum	Sem	Acum	Sem	Acum	Meta
Nov-17	Sem 1	04/11/2017	4	4	3	3	75%	75%	95%
Nov-17	Sem 2	11/11/2017	10	14	7	10	70%	71%	95%
Nov-17	Sem 3	18/11/2017	10	24	8	18	80%	75%	95%
Nov-17	Sem 4	25/11/2017	10	34	7	25	70%	74%	95%
Dic-17	Sem 5	02/12/2017	10	44	8	33	80%	75%	95%
Dic-17	Sem 6	09/12/2017	13	57	10	43	77%	75%	95%
Dic-17	Sem 7	16/12/2017	15	72	12	55	80%	76%	95%
Dic-17	Sem 8	23/12/2017	16	88	14	69	88%	78%	95%
Dic-17	Sem 9	30/12/2017	18	106	15	84	83%	79%	95%
Ene-18	Sem 10	06/01/2018	25	131	19	103	76%	79%	95%
Ene-18	Sem 11	13/01/2018	25	156	19	122	76%	78%	95%
Ene-18	Sem 12	20/01/2018	24	180	20	142	83%	79%	95%
Ene-18	Sem 13	27/01/2018	26	206	23	165	88%	80%	95%
Feb-18	Sem 14	03/02/2018	32	238	29	194	91%	82%	95%
Feb-18	Sem 15	10/02/2018	36	274	28	222	78%	81%	95%
Feb-18	Sem 16	17/02/2018	35	309	25	247	71%	80%	95%
Feb-18	Sem 17	24/02/2018	36	345	26	273	72%	79%	95%
Mar-18	Sem 18	03/03/2018	34	379	22	295	65%	78%	95%
Mar-18	Sem 19	10/03/2018	36	415	27	322	75%	78%	95%
Mar-18	Sem 20	17/03/2018	36	451	28	350	78%	78%	95%
Mar-18	Sem 21	24/03/2018	35	486	28	378	80%	78%	95%
Mar-18	Sem 22	31/03/2018	55	541	33	411	60%	76%	95%
Abr-18	Sem 23	07/04/2018	55	596	34	445	62%	75%	95%
Abr-18	Sem 24	14/04/2018	52	648	37	482	71%	74%	95%
Abr-18	Sem 25	21/04/2018	55	703	35	517	64%	74%	95%
Abr-18	Sem 26	28/04/2018	54	757	32	549	59%	73%	95%
May-18	Sem 27	05/05/2018	56	813	32	581	57%	71%	95%
May-18	Sem 28	12/05/2018	57	870	24	605	42%	70%	95%

Tabla 3 Porcentaje de partidas completadas – Acumulado

Fuente: La Constructora

En la Tabla anterior se puede notar el total de las actividades programadas y las actividades ejecutadas, teniendo finalmente el indicador PPC semanal, y como se mencionó en la semana 28 se obtuvo un PPC de 42%, y un acumulado a esa fecha es de PPC = 70%, estando por debajo de la meta prevista de cumplimiento, meta de PPC=95%.

Si graficamos el indicador %PPC obtenido semanalmente tendremos la siguiente gráfica:

Gráfico 3 Gráfica PPC vs Semanas

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el Gráfico 3, se grafica en el eje horizontal las semanas desde el inicio de los trabajos mientras que en el eje vertical se grafica el indicador PPC obtenido semanalmente, finalmente se coloca una línea de tendencia la que nos indica cuál es su comportamiento con los que se observa lejos de mejorar el indicador PPC con el tiempo, se nota que cada semana la programación pierde confiabilidad, es decir que cada semana se van ejecutando menos actividades de las cuales se programaron ejecutar.

Así también cuando se inició los pisos superiores de la torre A se avanzó ejecutando la fachada con acabado caravista, sin embargo, esta partida se ejecutó a un ritmo más lento de lo programado por el grado de dificultad de este.

Debido al inicio tardío de la estructura en la torre A se tuvieron que tener aseguramientos para cumplir el estándar de calidad, como ensayar probetas de concreto para desencofrado anticipado y optimizar los tiempos de espera por resistencia, así también el controlar la humedad para el inicio de la pintura.

Se tuvo la previsión correspondiente en la ejecución de las partidas de acabados, pero aun así se generaron problemas de atención con algunos proveedores tanto en llegada de los materiales (importación) y fabricación por cambios de los clientes.

Debido a estos problemas se pudo notar que el programa inicialmente previsto para la ejecución de trabajos no se cumplió, también se puede notar que no se realizó un adecuado análisis de restricciones, debido a ello muchas de las actividades programadas aún tenían restricciones por lo que el planeamiento semanal no se cumplía.

3.3 Análisis de la Causa raíz del problema

Como se pudo describir anteriormente el proyecto presentaba diversas dificultades para el cumplimiento del planeamiento, teniendo como indicador al PPC(Percent Plan Complete) en un 42% en la semana 28 y un 70% como acumulado, que indica que la planificación tenía poca confiabilidad ya que estaba por debajo del previsto, que era de 95%, y con el fin de cumplir los plazos del proyecto se realizaron incrementos de recursos que generaron mayores costos, problemas de calidad y que finalmente se tuvieron varias observaciones en la post venta.

Con base a lo analizado se puede determinar que el problema es “El incumplimiento del planeamiento y la generación de sobre costos durante la construcción y post venta”, de esta manera con el fin de identificar la causa raíz procedemos a realizar un análisis utilizando el método de Ishikawa.

Para analizar el método de Ishikawa analizaremos los siguientes factores: Personas, Equipos, Material, Método, de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 13 Análisis Causa Raíz - Método de Ishikawa

Fuente: Elaboración Propia

En la **Figura 13** se muestra el análisis de la causa raíz al problema con el método de Ishikawa, donde podemos determinar que la causa principal por la cual no se cumple con el planeamiento, por ende se generan los sobrecostos, problemas de calidad y de post venta, tiene que ver con el método utilizado, ya que a pesar de que la empresa como se mencionó anteriormente realiza su planificación y control utilizando la herramienta del Last Planner System, esta no está siendo utilizada adecuadamente ya que no se realiza un adecuado análisis de restricciones, teniendo así constantes problemas para la identificación y posterior levantamiento de las restricciones que genera problemas como improductividad en equipos y personal ejecutando tareas no previstas, así como también problemas con los proveedores y los materiales llegando con retrasos, es por este motivo que cuando se ejecuta la programación de la semana esta tiende a cambiar ya que aparecen restricciones no identificadas y no levantadas haciendo que el indicador PPC tenga valores bajos al momento de realizar el control, finalmente debido a toda esta variabilidad las reuniones semanales dejan de tener la importancia necesaria, ya que el personal de obra se encuentra saturado resolviendo los problemas no previstos, que finalmente se hace un círculo vicioso semanal, en la que no se realiza un adecuado análisis de las restricciones y por ende se vuelve a tener los problemas en la planificación teniendo indicadores de PPC bajos y recursos trabajando improductivamente.

Es por ello que la causa raíz del problema es la no utilización de herramientas de gestión adecuadas para un correcto análisis de restricciones, con base a ello el presente trabajo de investigación se enfoca en la implementación de herramientas de gestión basadas en el modelo Lean Construction para una adecuada planificación, análisis de restricciones, solución de problemas y control para el cumplimiento del cronograma, costo y calidad del proyecto.

3.4 Mapeo De Problemas En La Obra

Desde el inicio de la planificación hasta la etapa de post-venta se presentaron diversos factores que influenciaron con la producción de la obra, como ya se vio anteriormente gran parte de ello radica en que no se cumplió el plan inicial, la cual generó retrasos durante los primeros meses de obra, y el otro punto fue que no se realizaba un adecuado análisis de restricciones, por lo que la planificación semanal por lo general no se cumplía obteniendo bajos indicadores de PPC, esto generaba como consecuencia mayores costos, incumplimiento del cronograma, retrabajos y algunos problemas con la calidad que finalmente se reflejó en las observaciones de post venta.

A continuación, se detallan los principales problemas que se generaron, según cada etapa de obra:

Etapa de planificación

- Antes del inicio de obra no hubo una reunión colaborativa para la planificación de la obra, es decir no hubo un método Lean como base para la ejecución, ya que la principal guía que se utilizó fue un plan maestro que no consideraba los distintos requerimientos de los principales interesados, es por ese motivo que desde el inicio de los trabajos se tuvo grandes desfases del cronograma.
- No hubo hitos de control a lo largo de la obra; es decir, la fecha final de entrega de obra estaba marcada como la referencia para la planificación sin embargo no se contaba con ninguna otra referencia que nos pudiera alertar el cumplimiento del cronograma y así asegurar la fecha de entrega final, esto generaba que cada vez se requiera mayor cantidad de recursos para el cumplimiento de la fecha de entrega, teniendo que acelerar la producción en los últimos meses, la que finalmente repercutió en mayores costos y los problemas de calidad mencionados.
- El sistema de Last Planner no se realizó antes de iniciar obra, pues ésta se fue implementando en el transcurso de la ejecución de la obra, ya que al inicio sólo se contaba con el plan maestro, posteriormente luego de los cambios y la reprogramación se realizó el Lookahead y las programaciones semanales, sin embargo como ya se analizó anteriormente esta programación tenía una baja confiabilidad reflejando un bajo indicador PPC, ya que no se realizaba un adecuado análisis de restricciones, teniendo finalmente problemas con el cumplimiento de la programación al mismo tiempo que no se tenían reuniones semanales efectivas.
- Pese a que el alcance del proyecto es fundamental desde el inicio de los trabajos, no hubo un conocimiento claro del alcance, generando que en algunos casos se tenga que realizar trabajos a destiempo e improductivos, esto se genera debido a que no se tuvo un tiempo adecuado para realizar una buena planificación e identificación de todos los trabajos con la participación de todos los interesados.

Etapa de Ejecución

Obras Provisionales

- La caseta de ventas se mantuvo por 3 meses por estrategias comerciales invadiendo 5 metros de la fachada de la torre “A”, esto impidió el inicio de los trabajos según la planificación inicial por lo que esta decisión generó un atraso no pudiendo ser prevista por la falta de una planificación adecuada al inicio de la obra.
- Al ser un terreno muy estrecho, hubo complicaciones para el Layout Plant, sobre todo para la sectorización, ubicación de la bomba para los vaciados, ubicación de la grúa, etc

Movimiento de tierras

- Mientras se realizaban las excavaciones se encontraron calzaduras (vicio oculto), aspecto que no estaba previsto en el planeamiento inicial.
- En el lindero se encontraron muros anclados pasando el límite del área del terreno, el cual se tuvo que perfilar, generando esta actividad sobre costos y retrasos en el proyecto.
- Uno de los linderos tenía un edificio que presentaba una cimentación que tenían falsas zapatas por los desniveles que presentaban las mismas, lo cual generó unos trabajos extras de calzaduras.

Sótanos

- Interferencia de tuberías de Agua contra incendio con las vigas.

Casco

- El acabado caravista de la fachada demoró 15 días más de lo previsto por el grado de dificultad.
- Falta de un seguimiento semanal de la programación, no se realizaba un adecuado análisis de restricciones por lo que el indicador del PPC mostraba bajos porcentajes no siendo coherente con el avance real de la obra.

Arquitectura

- No se contaban con los planos para identificar espesores de los muros y acabados.
- Modificaciones por parte de los clientes luego de realizar trabajos planeados inicialmente (En estos casos se consideraron como trabajos adicionales para el constructor, sin embargo, no contemplaba adicionales en el plazo del proyecto).

- Hubo nivelación de pisos en diversas ocasiones.
- Se tuvo que mejorar el alcance de closets por temas comerciales.
- El proveedor de enchapes entregó 3 tonalidades (solo debió ser 1) y en un lote llegaron tonos diferentes.
- El subcontratista de puertas abandonó el trabajo (puertas sin acabado).
- Los pisos de ducha de fibra de vidrio se cajonearon.
- Se identificó instalación de griferías defectuosas durante la entrega de los inmuebles.
- Se equiparon las cocinas luego de terminar los departamentos.
- Se contrató al contratista encargado del paisajismo fuera del plazo previsto lo que generó problemas con la tierra de chacra, ensuciando departamentos que ya estaban culminados.
- En cuanto a la fabricación de vidrios, la subcontratista cambio el proceso de fabricación demorando en tiempos de entrega.
- Se registraron retrabajos por daños durante reparaciones en algunos acabados.
- Ocurrieron problemas en el pacto de medidas en los vanos.
- Hubo problemas en las pendientes hacia los drenajes en los pisos enchapados.

Instalaciones eléctricas, sanitarias y otros

- Los planos de detalles eran incompatibles con los requerimientos de gas, IISS e IIEE.
- Las Termas debieron ser termotanques, pero fueron Calefón.
- Los montantes de lavanderías no fueron independientes, lo que generó un rediseño
- La ubicación de las secadoras era distinta en planos de arquitectura y detalles.

Post venta

- La Impermeabilización de jardineras con material cementicio.
- Existencia de malos olores en inodoros por instalación inadecuada.
- Dilatación del piso bambú.
- El concreto caravista presentó fisuras. Hubo reclamo por parte de los clientes.

- Se repintaron las puertas por presentar un mal acabado.

Como se pudo detallar los diversos problemas que sucedieron en el proyecto durante las etapas de planificación, ejecución y post venta, se procede a clasificar y cuantificar sus impactos económicos para poder determinar cuál fue el desfase de costo.

Se consolidaron en el siguiente cuadro de brechas mostrando los principales impactos económicos:

Nº	MAPEO DE PROBLEMAS EN OBRA	COSTO ESTIMADO	HERRAMIENTA DE GESTION	RECOMENDACIÓN	INDICADOR
OBRAS PROVISIONALES					
1	La caseta de ventas se mantuvo por 3 meses adicionales por estrategias comerciales.	-S/ 50,000.00	Planeamiento Pull	Incluir la restriccion dentro del tiempo de ejecucion de obra	N. De días desde inicio de obra /plazo
2	Al ser un terreno muy estrecho, hubo complicaciones para el Layout.	-S/ 11,333.33	Last Planner System	Incluir el layout plant en la elaboracion del look ahead	PPC
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
3	Mientras se realizaban las excavaciones se encontraron calzaduras (vicio oculto).	S/ -	Last Planner System	Despues de la etapa de demolicion realizar un estudio previo para determinar la presencia de vicios ocultos y establecer el plazo adicional a considerar en el plan	PPC
4	En el lindero se encontraron muros anclados pasando el límite del área del terreno.				
5	Uno de los linderos tenía un edificio con falsas zapatas.				
SÓTANOS					
6	Interferencia de tuberías de Agua contra incendio con las vigas.	-S/ 6,000.00	Lean coffe	Compatibilizar los planos de todas las especialidades en la planificacion al inicio	N. interferencias
CASCO					
7	El acabado cara vista de la fachada demoró 15 días más de lo previsto.	-S/ 25,000.00	Planeamiento Pull	Tomarlo en cuenta para el pull planning	PPC
ARQUITECTURA					
8	No se contaba con planos para identificar espesores de los muros y acabados.	-S/ 3,000.00	Lean coffe	Compatibilizar los planos de todas las especialidades en la planificacion al inicio	
9	Modificaciones por parte de clientes luego de realizar trabajos planeados.	S/ -	Lean coffe	Poner una fecha limite para realizar los cambios de los clientes	
10	Hubo nivelación de pisos en diversas ocasiones.	-S/ 8,000.00	Gemba walk / VSM	Asegurar el proceso de nivelacion de pisos a traves del control de calidad	N. Hh perdidas
11	Se tuvo que mejorar el alcance de closets por temas comerciales.	S/ -	Lean coffe	Poner una fecha limite para realizar los cambios de los clientes	
12	El proveedor de enchapes entregó 3 tonalidades distintas.	-S/ 12,000.00	Planeamiento Pull	Tener un control de los materiales a utilizar	N. de no conformidades
13	El subcontratista de puertas abandonó el trabajo (puertas sin acabado).	-S/ 22,000.00	Planeamiento Pull	Tener proveedores de servicios homologados	
14	Los pisos de ducha de fibra de vidrio se cajonearon.	-S/ 10,000.00	VSM	Analizar esta no conformidad para la evaluacion de futuros proveedores	
15	Se identificó instalaciones de griferías defectuosas durante el proceso de entrega.	-S/ 1,200.00	VSM	Hacer participe al encargado de logistica para la funcionalidad de las compras	
16	Se equiparon cocinas luego de terminar los departamentos.	-S/ 1,600.00	Planeamiento Pull	En la planificacion pull ncluir esta actividad	
17	Se contrató al proveedor del paisajismo luego del plazo previsto, ensuciando ambientes.	-S/ 1,600.00	Planeamiento Pull	Tener proveedores de servicios homologados	
18	El proveedor de vidrios cambio sus procesos, demoras en la entrega.	-S/ 16,000.00	Planeamiento Pull	Tener proveedores de servicios homologados	
19	Existencia de retrabajos por daños durante reparaciones en algunos acabados.	-S/ 3,600.00	Gemba walk	Realizar un check list de las actividades pendientes para la culminacion de trabajos	
20	Diferencia en las medidas de los vanos, mayor uso de sellador.	-S/ 8,333.33	A3	Analizar esta no conformidad para la evaluacion de futuros proveedores	
21	Hubo problemas en las pendientes hacia los drenajes en los pisos enchapados.	-S/ 1,127.08	lean coffe	Poner como una leccion aprendida en las sesiones lean coffe	
INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS					
22	No se consideró ventilación en el grupo electrógeno, el cual hubo un rediseño.	-S/ 7,000.00	Lean coffe	Poner como una leccion aprendida en las sesiones lean coffe	
23	Los planos de detalles eran incompatibles con los requerimientos de gas, IISS e IEEE.	-S/ 3,000.00	Lean coffe	Compatibilizar los planos de todas las especialidades en la planificacion al inicio	
24	La ubicación de las secadoras era distinta en planos de arquitectura y detalles.	-S/ 3,000.00	Lean coffe	Compatibilizar los planos y acordar en las sesiones lean	
TOTAL		-S/ 193,793.75			

Tabla 4 Evidencias de brechas durante la ejecución del proyecto

Fuente: La Constructora

De acuerdo a lo mostrado en la **Tabla 4** anterior se pudo analizar las brechas económicas que impactaron negativamente al proyecto únicamente relacionado con la gestión del proyecto se estima en S/ 193,793.75, con la que se puede deducir que la mayoría de problemas se dieron

por que no se tuvo una buena planificación inicial que permita definir los hitos, la estrategia de ejecución, y una adecuada previsión para la contratación de servicios y proveedores.

Así mismo se tiene una estimación de los gastos por el levantamiento de las observaciones en post venta, siendo estos como se muestra en la **Tabla 5**:

N°	MAPEO DE PROBLEMAS EN OBRA		COSTO ESTIMADO	
1	Pintura	Presencia de hongos	-S/	2,593
2		Desprendimiento de empaste	-S/	4,149
3	Enchape de porcelanato	Cajoneo	-S/	1,556
4		Diferencia de tonos de color	-S/	4,149
5		Desprendimiento de Fragua	-S/	1,037
6	Puertas	Desprendimiento de pintura	-S/	5,186
7		Fallas en cerrajería	-S/	3,630
8		Hongos en las superficies	-S/	3,890
9	Vidrios	Rayaduras	-S/	1,556
10		Falla en cerrajería	-S/	5,186
11	Grifería	Fallas de fabricación	-S/	2,074
12	Aparatos Sanitarios	Mala instalación del anillo de cera	-S/	5,705
13	Redes de Desague	Filtraciones	-S/	10,372
14	Mobiliario	Bisagras oxidadas	-S/	778
TOTAL			-S/	51,861.25

Tabla 5 Evidencias de brechas en Post Venta

Fuente: La Constructora

Se observa que, entre las diversas observaciones de post venta, se puede cuantificar un impacto total de S/ 51,861.25, que representa gastos por materiales, hh de personas y todos los costos asociados para las reparaciones de todas las observaciones identificadas.

Es en ese sentido que se hace necesaria la aplicación de algunas herramientas de gestión basadas en la filosofía Lean Construction para poder enfrentar este tipo de problemas, realizando una planificación maestra adecuada y siguiendo con las herramientas del Last Planner System, de manera que pueda complementarse con algunas herramientas lean para un mejor análisis.

Pese a los diversos problemas que se tuvo durante la ejecución del proyecto y durante la etapa de post venta, que finalmente repercutieron en que la empresa constructora incurrió en mayores costos de lo previsto, ya que con el propósito de cumplir el plazo de entrega se tuvo que incrementar recursos y realizar muchos trabajos de manera apresurada afectando en algunos casos la calidad, sin embargo finalmente se pudo cumplir con el plazo de entrega establecido, por lo que la inmobiliaria no se vio afectada en este aspecto, llegando a cumplir con la entrega prevista de los departamentos a cada uno de los clientes, mientras que durante

la etapa de post venta tanto la constructora e inmobiliaria atendieron oportunamente cada uno de las observaciones encontradas con el fin de satisfacer a los clientes y que la marca de la empresa sea recomendada.

Una de las formas en que la inmobiliaria pudo identificar la satisfacción de sus clientes fue a partir de un estudio de satisfacción en postventa siendo este el resultado final como se muestra en la **Tabla 6**:

Tabla 6 Nivel de satisfacción con el departamento

Fuente: La Constructora

Tabla 7 Nivel de satisfacción con la comunicación postventa

Fuente: La Constructora

Tabla 8 Nivel de recomendación de la marca

Fuente: La Constructora

La **Tabla 6** muestra un 90% de satisfacción con el inmueble, mientras que la **Tabla 7** resalta que el 80% de los clientes afirman que hubo una buena comunicación con post venta. Por último, hay un 80% que definitivamente si recomendarían a la empresa, según la **Tabla 8**. Como se puede observar los objetivos de la inmobiliaria se cumplieron de acuerdo a lo planificado.

4. PROPUESTA DE MEJORA

4.1 Sistema utilizado en el proyecto

Es importante tener en conocimiento qué herramientas fueron utilizados en la obra desde la etapa de planificación hasta la culminación con el propósito de identificar aquellas que dan resultados y seguir usándolas como también distinguir las lecciones aprendidas para las futuras obra.

El principal procedimiento que se utilizó en la etapa de planificación de la obra llegó a ser un cronograma general, el cual entre sus características muestra fechas de inicio de etapas de arquitectura, estructuras en torres y sótanos, el cual no tiene hitos de control, ni sectorizaciones como flujo de tren de trabajo. En la **Figura 14**, se observa el resumen del cronograma que se tenía en la etapa de planificación, el cual se mantuvo hasta el final de obra.

Figura 14 Cronograma de obra – Antes de ejecución

Fuente: Elaboración Propia

Pese a lo mostrado en la **Figura 14**, lo que se realizó en la etapa de ejecución fue notoriamente diferente, debido a que en últimas instancias se optó por tomar decisiones que trataron de solucionar las principales restricciones que se presentaron al momento de ejecución. En la **Figura 15**, se observa el cronograma tal como pasó hasta el final de obra, el cual muestra cambios en fechas de inicio y fin de cada actividad.

Figura 15 Cronograma de obra – Término de ejecución

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la **Figura 15** los frentes de trabajo se dividen en 2 sectores, lo que hace concluir que la obra se manejó diferente a lo planificado, hubo pocos hitos de control que garantice el cumplimiento de trabajos. Además, se debe considerar que las predecesoras de actividades internas e incluso de partidas subcontratadas no fueron planificadas, lo que generó el aumento de la variabilidad de la obra, disminución en buffers, sobre costos, retrabajos, etc.

En la siguiente imagen se puede visualizar el avance valorizado del proyecto, donde la línea verde representa el avance contractual, la línea azul representa el avance meta, y la línea roja representa el avance realmente ejecutado.

Gráfico 4 Avance de Obra

Fuente: La Constructora

En el **Gráfico 4**, se puede visualizar como el avance se dio de una manera distinta a lo previsto al inicio de obra, dado que las decisiones tomadas durante la ejecución de la obra nos

llevaron a cambiar la planificación, cronograma e hitos de control. Como se puede observar, durante los últimos meses de la obra se tuvo que acelerar las actividades para poder cumplir con la entrega final del proyecto. Esta superposición de actividades, incremento de producción en algunas actividades generaron unos gastos imprevistos por retrabajos y gastos de postventa.

4.2 Implementación de procedimientos metodológicos:

Como se pudo analizar en el capítulo anterior, los problemas ocurridos radican en que no se tuvo una planificación adecuada al inicio del proyecto, así mismo durante la ejecución de la obra no se realizó un adecuado análisis de restricciones que pudiera identificar y levantar oportunamente las restricciones para el cumplimiento del planeamiento, es por ello que se propone una estructura de planificación basada en una planificación Pull, realizada al inicio de la obra con todos los interesados para la ejecución de la obra.

También se propone un adecuado uso de la metodología del Last Planner System, para ello se partirá del planeamiento general Pull Planning con hitos de control, realizar un adecuado layout plant, sectorización y de esta manera establecer los trenes de trabajo con lo que se realizará la programación intermedia o el Lookahead, para ello es indispensable un adecuado análisis de restricciones de manera que se pueda realizar la programación semanal libre de interferencias y esta pueda cumplirse, en ese sentido se propone la implementación de herramientas basadas en la filosofía Lean para el levantamiento de las restricciones, entre las principales herramientas que se propone están: el VSM (Value Stream Mapping), A3 (reporte A3 para la solución de problemas), Carta Balance (para la mejora de la productividad y eliminación de desperdicios), de esta manera se ejecutará lo planificado en la semana, teniendo un control semanal del PPC (Percent plan complete) que nos indicará la confiabilidad del planeamiento, y analizando las Causas de No Cumplimiento (CNC), de manera que se puedan identificar los problemas recurrentes que afectan el planeamiento, y de esta manera retroalimentar la planificación siguiendo la Mejora continua, para ello se propone implementar las herramientas basadas en la filosofía Lean como son: El Gemba Walk, que es un recorrido por la obra para identificar problemas y el Lean Coffee, que es una reunión efectiva para la discusión y solución de problemas, para así finalmente mejorar la planificación semanal y poder cumplir con los trabajos previstos.

En la **Figura 16**, se observa el proceso de uso de las principales herramientas Lean Construction, el cual, siguiendo ese orden, será posible dar un mejor aprovechamiento desde el momento de planificación hasta la etapa de ejecución del proyecto:

Figura 16 Esquema de herramientas Lean

Fuente: Elaboración propia

4.3 Implementación del Pull Planning:

Antes de dar inicio a la ejecución del proyecto, es vital tener un tiempo de planificación que involucre a todos los responsables interesados y se pueda establecer los hitos y la estrategia de ataque. En esta etapa se analiza el mejor escenario posible para cumplir con los objetivos del proyecto. Asimismo, es esencial tener claro el alcance de la obra, los hitos a cumplir, el personal que formará parte, tanto interno como externo, sectorizaciones, interferencias, etc. Una de las partes principales es la realización de la planificación Pull, debido a que a partir del compromiso entre los involucrados el proyecto deberá ser lo más parecido a lo acordado durante la ejecución de la obra. En esta etapa, todos los involucrados participan de la

planificación total de la obra, el cual luego se programará en un cronograma general siendo los hitos los puntos de control.

Para realizar la planificación Pull, ha sido necesaria la participación de los siguientes involucrados como se muestra en la **Figura 17**.

Figura 17 Conformación de involucrados

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de estas reuniones se ha obtenido las fases de trabajo y las fechas de entrega de cada fase (hitos). Una vez obtenido los hitos de la obra, se ha procedido a programar hacia atrás teniendo en cuenta la duración de cada actividad y las relaciones de secuencia, sin considerar los buffers por actividad, **Figura 18**.

Figura 18 Programación Pull

Fuente: Elaboración Propia

Luego se coordinó con los involucrados de obra para decidir a qué actividad se les da mayor buffer de acuerdo a su incertidumbre, **Figura 19**.

Figura 19 Programación Pull incluido buffers

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera podremos obtener una adecuada planificación Pull, y esta puede ser incluida a la planificación con Línea Balance y visualizar en paralelo con la planificación Pull de adquisición de compra de materiales, contratación de equipamientos y servicios como se muestra en la siguiente figura:

Figura 20 Planificación de Obra – Programación Pull

Fuente: Elaboración Propia

En la **Figura 20** se puede observar en la parte superior la planificación maestra con líneas balance, donde se muestra los hitos principales de la obra, el ritmo de avance, y las fechas de inicio y fin de las partidas principales a ejecutar. Se visualiza detalladamente en el Anexo 1

En la parte inferior de la **Figura 20** se puede notar que en función a estas fechas de inicio y fin se realiza la planificación Pull de la compra de los principales materiales, contratación de los servicios, y contratación de los equipamientos y todo aquello que permita que la

planificación se cumpla y de esta manera tener un claro panorama del alcance y saber oportunamente el inicio de las actividades a realizar para poder cumplir el cronograma.

4.4 Implementación del Last Planner System y las herramientas Lean:

Al momento del inicio de la ejecución de la obra, ya debe estar claro la programación desde la primera semana sin restricciones y así para todas las semanas siguientes, asegurando de realizar la programación de las actividades que no tengan restricciones, es por ello que se debe de realizar la programación del Lookahead con 3 semanas de proyección combinando con un adecuado análisis de restricciones para poder levantar las restricciones de las semanas venideras, el cual a medida que se acerque a la fecha de ejecución todo esté en condiciones de ejecutarse.

En cuanto al análisis de restricciones, pueden surgir problemas que pueden ser más profundos o más complejos de lo que parece. Para estos casos, se propone la utilización de las herramientas de gestión basadas en la filosofía Lean como son el VSM, carta balance o el A3, los cuales son buenas herramientas para solucionar problemas y para la mejora continua.

Por último, para seguir mejorando con la productividad y ser más óptimos en cumplir con los objetivos del proyecto es recomendable buscar la mejora constante mientras la obra se ejecuta, Para ello, el Gemba Walk, que viene a ser usada en la misma área de trabajo, y el Lean Coffee, usada en reuniones, son herramientas que colaboran con las otras herramientas previamente mencionadas, cuyo valor es el potenciar lo que se busca mejorar y solucionar con alternativas para el beneficio de la obra.

Una vez, se haya establecido los cronogramas general, semanal y diario, es importante relacionarnos más con los procesos para entender sus necesidades. Para ello, aplicaremos la herramienta VSM nos ofrece una metodología para mejorar procesos y disminuir los tiempos de ejecución empleando una menor cantidad de recursos.

4.5 Comparativo de herramientas implementadas:

La propuesta de mejora muestra las herramientas a realizarse desde la etapa previa a la ejecución hasta el cierre de obra para cumplir con los objetivos de obra sin ningún inconveniente y con el control necesario. En la **Tabla 9** se muestra un resumen entre la planificación actual y la propuesta de mejora en función a los procesos utilizados, herramientas y carga que se ejerce para las personas con los 2 tipos de planificación.

Tomando en cuenta los procesos que se realizan a lo largo del proyecto, la propuesta de mejora ofrece espacios que permiten gestionar la fluidez de trabajos y la sincronización que debe existir entre inicios y finalizaciones de partidas, especialidades o proveedores, todo ello realizable en el Pull Planning. Por otro lado, se logra la sinergia de las cuadrillas de producción a partir de las sectorizaciones, trenes de trabajos, y su mejor producción se dará mientras se controlen las restricciones a través de las reuniones como Lean Coffee o las reuniones de análisis de Lookahead. La planificación actual solamente brinda reuniones semanales siendo un tiempo en el que se tocan todos los temas de todas las áreas de la obra, en donde no todas las consultas se solucionan necesariamente.

En cuanto a las herramientas que se utilizaron en la gestión de la obra, en el inicio se usó como base el plan maestro realizado en Ms Project, el cual luego se fue implementando un Lookahead; sin embargo, no llegó a ser utilizado constantemente dando como consecuencia la poca confiabilidad. Asimismo, no existieron herramientas para la mejora de procesos ni herramientas usadas directamente para la solución de conflictos. Por el lado de la planificación propuesta, el uso del Pull Planning es la herramienta apropiada para desarrollar el cronograma general de la obra, el control de la obra se llevó a cabo con el uso del Last Planner System, mientras que para la mejora de los procesos se tienen herramientas como VSM, A3, Carta Balance y Gemba Walk. Por último, las sesiones de Lean Coffee, las herramientas A3 y análisis de restricciones permiten la solucionar los conflictos que se presentan en obra.

El papel que tienen las personas en los 2 tipos de gestiones presentan una similitud en cuanto a cantidad, pero existen diferencias en cuanto a carga laboral y el entorno. La planificación usada en obra presenta una menor cantidad de actividades al no usarse las herramientas de Lean Construction, pero eso genera un mayor grado de incertidumbre en cuanto al control de la obra dando como consecuencia un peor entorno cuando se llega a conocer que hay retrasos en obra dando una mayor presión. En la planificación propuesta se usan más actividades propias de Lean Construction, el cual son adaptables en función al calendario y al cargo del equipo de trabajo mostrados en los anexos 2 y 3, el cual muestra que es posible el uso de tales herramientas con un mismo tiempo de horas de trabajo dando a cada persona un panorama mucho más claro de la situación de la obra y un control realista constante, el comparativo de la gestión se muestra en la **Tabla 9**.

Resumen		Planificación Actual	Planificación con Lean
Procesos	Planificación y control de obra	Sectorizaciones	Sectorizaciones para trabajo coordinado de cuadrillas
		Tren de trabajo	Tren de trabajo de partidas mas importantes
		LookAhead incompleto	LookAhead actualizado semanalmente en función al análisis de restricciones y al PPC dadas en las reuniones de planificación
	Coordinación con involucrados	Reuniones semanales de obra	Reuniones como Lean coffe y análisis de LookAhead entre involucrados
			Planificación pull con todos los involucrados
Herramientas	Cronograma	Ms Project (Plan maestro)	Pull Planning
	Control	avance semanal o valorización	Last Planner (LookAhead, PPC, análisis de restricciones)
	Mejora de procesos	-	GEMBA WALK, VSM, A3, Carta balance
	Solución de conflictos	Reunión semanal o quincenal	Lean coffe, análisis de restricciones, A3
Personas	Ingeniero de campo	Supervisión técnica en campo	Anexo 2 y 3
		Valorizaciones	
		Supervisión en producción de cuadrillas	
		Planos As Built	
		Reuniones de obra	
		Coordinación con involucrados externos	

Tabla 9 Comparativo planificación actual con propuesta de mejora

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Indicadores de mejora para evaluar los resultados:

Como se pudo observar en la **Tabla 4** (Evidencias de brechas durante la ejecución del proyecto) y **Tabla 5** (Evidencias de brechas en Post Venta) mostradas anteriormente donde se realizaron la cuantificación de los impactos económicos durante la ejecución del proyecto y la etapa de post venta, estos montos pueden ser mitigados o hasta eliminados con la utilización de las herramientas de gestión desarrolladas en el presente capítulo, teniendo en cuenta que si bien es cierto podemos eliminar estos impactos económicos negativos la variabilidad hace que se tenga diversos tipos de eventualidades desde los que impactan grandemente en costo y plazo del proyecto, hasta los que casi pasan inadvertidos sin embargo por la cantidad de eventos pueden en sumatoria impactar considerablemente.

Es por ello que las herramientas de gestión implementadas apunta a mitigar aquellos problemas que inciden más en el proyecto controlando las causas principales siguiendo básicamente el principio de Pareto que nos indica que el 80% de los defectos provienen del 20% de las causas, que mayormente se le conoce como “pocos vitales, muchos triviales”(Joseph M. Juran,1989), en ese sentido con la aplicación de las herramientas de

gestión propuestas apuntamos a mitigar el 80% de los defectos generados en el proyecto, como se muestra en la **Tabla 10**:

Item	Problemas	Brecha	%	Monto Previsto de Ahorro
Problemas durante la ejecución del proyecto				
1	Problemas en la planificación, con los proveedores, en los procesos para los acabados, retrabajos por mala planificación, etc.	-S/ 193,793.75	80%	S/ 155,035.00
Problemas durante la etapa de postventa				
2	Observaciones en la pintura, los enchapados, puertas, vidrios, grifería, redes de desagüe, etc	-S/ 51,861.25	80%	S/ 41,489.00
MONTO TOTAL PREVISTO AHORRAR				S/ 196,524.00

Tabla 10 Estimación del ahorro previsto

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la **Tabla 10** se tuvo una brecha cuantificada durante la etapa de construcción por un monto de S/ 193,793.75 y de acuerdo al principio de Pareto bajo la implementación de las herramientas de gestión propuestas se pretende ahorrar el 80% de este monto es decir S/ 155,035.

Del mismo modo, los sobrecostos incurridos en la post venta se cuantificaron en S/. 51,861.25 y de acuerdo al principio de Pareto bajo la implementación de las herramientas de gestión propuestas se pretende ahorrar el 80% de este monto es decir S/ 41,489.00.

Finalmente, con la implementación de las herramientas de gestión pretendemos obtener un ahorro total de S/ 196,524.00, producto de la implementación de las herramientas de gestión basadas en la metodología Lean Construction.

Luego de haber aplicado las herramientas de la filosofía Lean desde la planificación Pull y durante la ejecución de los trabajos podemos obtener mejores resultados, las cuales se reflejarán no solo en la parte económica, sino también obtenemos un producto de calidad que se refleje en la satisfacción de los clientes. Si bien anteriormente hemos realizado un análisis interno de nuestra gestión, también es importante evaluar el nivel de satisfacción del cliente para lograr un panorama más completo y la mejora continua. Es por ello, que en la etapa de post venta se registró los reclamos de cada departamento a lo largo del 1er año de operación y se obtuvo como resultado la **Tabla 11**, mostrada a continuación:

Nº	ACTIVIDAD	TIPO DE RECLAMO	# DE RECLAMO
1	Pintura	Presencia de hongos	5
		Desprendimiento de empaste	8
2	Enchape de porcelanato	Cajoneo	10
		Diferencias de tonos de color	3
		Desprendimiento de fragua	5
3	Puertas	Desprendimiento de pintura	6
		Fallas en cerrajería	2
		Hongos en las superficies	6
4	Vidrios	Rayaduras	1
		Falla en cerrajería	2
5	Griferías	Fallas de fabricación	3
6	Aparatos sanitarios	Mala instalación del anillo de cera	10
7	Redes de desagüe	Filtraciones	5
8	Mobiliario	Bisagras oxidadas	3
TOTAL DE RECLAMOS			69

Tabla 11 Cantidad de reclamos por partida

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se ha identificado los reclamos de los dueños de departamento y relacionado con una de las herramientas Lean que pueden evitar la ocurrencia de dichas fallas en futuros proyectos, como se muestra en la **Tabla 12**:

Nº	ACTIVIDAD	HERRAMIENTA A APLICAR	RECOMENDACIONES
1	Pintura	VSM	Realizar un buen control de procesos y de calidad
		Lean Coffee	Respetar los tiempos tecnológicos
2	Enchape de porcelanato	Gemba walk	Realizar un mayor seguimiento a las actividades
		Pull planning de adquisiciones	Tener proveedores homologados
3	Puertas	VSM	Realizar un buen control de procesos y de calidad
		Gemba walk	Realizar un mayor seguimiento a las actividades
4	Vidrios	Gemba walk	Realizar un mayor seguimiento a las actividades
		Pull planning de adquisiciones	Tener proveedores homologados
5	Griferías	Gemba walk	Realizar un mayor seguimiento a las actividades
6	Aparatos sanitarios	VSM	Realizar un buen control de procesos y de calidad
7	Redes de desagüe	Lean Coffee	Realizar un buen control de procesos y de calidad
8	Mobiliario	Lean Coffee	Aumentar la calidad de productos

Tabla 12 Herramientas Lean de acuerdo al tipo de reclamo

Fuente: Elaboración propia

El nivel de satisfacción de los clientes será medido con la cantidad de reclamos entre la cantidad de departamentos. Este indicador nos muestra que a menor valor, los clientes están más satisfechos y por el contrario, a mayor valor, están menos satisfechos, este indicador se muestra en la **Figura 21**:

<p>KPI DE CALIDAD:</p> $\frac{\text{Número de reclamos}}{\text{Número de departamentos}} \times 100$
--

Figura 21 Indicador de calidad

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo el enfoque no sólo es en cuanto al tema económico determinada por los ahorros estimados, y social determinada por la satisfacción de los clientes finales, sino también tiene un enfoque ambiental, que busca la disminución de los desperdicios producto de los retrabajos sucedidos durante la ejecución de la obra, para ello se ha identificado el número de departamentos afectados por tipo de retrabajos, la cual se muestra en la **Tabla 13**:

Nº	Descripción de retrabajo	# Dep. afectados
1	Modificaciones en departamentos concluidos por el cliente	6
2	Fallas en la instalación de los pisos de duchas	10
3	Departamentos con pendientes en acabado de puertas	5
4	Retrabajos en pintura de muros	4

Tabla 13 Tipo de retrabajos cuantificado

Fuente: Elaboración propia

Estos retrabajos tienen un impacto en el costo y en el plazo, es por ello, que se proponen herramientas Lean para mitigarlo y que formarán parte del Know How de la empresa. Por ejemplo, una medida que se propone para mitigar las modificaciones en departamentos, es una reunión “Lean Coffee” donde se establecerá una fecha límite, el cual no afecte los objetivos de la empresa. Se evidencian parte de los retrabajos en el Anexo 4.

Nº	Descripción de retrabajo	Recomendaciones
1	Lean coffee	Proponer una fecha límite para aceptar modificaciones
2	VSM	Asegurar en el flujo el correcto procedimiento de instalación
3	Pull planning de adquisiciones	Cotizar con subcontratistas, los cuales deben estar homologados
4	Carta balance	Verificar la cantidad de hh invertidas en trabajos productivos

Tabla 14 Herramientas Lean por tipo de retrabajo

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 14** se propone unas recomendaciones para cada uno de estos casos donde se realizaron los retrabajos más incidentes de la obra.

Finalmente, con el objetivo de tener proyectos más limpios y reduciendo la cantidad de retrabajos disminuyendo así los desperdicios generados en la obra se propone el siguiente indicador para el control como se muestra en la **Figura 22**:

$$\text{KPI DE CALIDAD: } \frac{\text{Número de retrabajos}}{\text{Número de departamentos}} \times 100$$

Figura 22 Indicador para desperdicios

Fuente: Elaboración propia

5. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO:

En este capítulo se realiza un análisis entre los costos de inversión para la implementación de las herramientas de gestión y buenas prácticas basadas en la filosofía Lean Construction y los costos ahorrados estimados previstos, básicamente por la reducción de los retrabajos, reducción de los reclamos de post venta y de esta manera evaluar el impacto en el margen final del proyecto y al mismo tiempo evaluar el grado de confiabilidad de este resultado.

5.1 Cálculo de la inversión:

Con el objetivo de realizar una adecuada planificación se requiere tener al personal estratégico del proyecto 15 días antes del inicio de las actividades, para alinear y definir los principales hitos, la estrategia de ataque, principales restricciones, etc. Cabe mencionar que este tiempo estimado considera una mayor permanencia del personal estratégico para la exclusiva revisión del alcance, ejecución del Pull Planning, compatibilizaciones de la ingeniería, revisión y planificación de los contratos de obra, y finalmente implementación del Last Planner System, considerando que los permisos, constataciones notariales con los vecinos, las calicatas y el levantamiento topográfico ya fueron realizados.

Para ello se requiere contar con la participación del Gerente General y el Superintendente de la empresa, así también se requiere al Residente de Obra, El ingeniero de Campo y el Maestro de obra exclusivamente para la planificación inicial del proyecto.

Ya que se plantea mantener la misma cantidad de personas durante todo el proyecto es necesario también dotarlos de herramientas y competencias específicas a través de reuniones efectivas, capacitaciones, delegación y trabajo en equipo, para ello se plantea realizar charlas y capacitaciones puntuales con personal especializado que pueda orientar y reforzar los conceptos y herramientas lean descritas en la presente investigación, así como también la realización de talleres que fomente el trabajo en equipo y el liderazgo para mejorar las competencias del personal estratégica durante la ejecución del proyecto.

Según el análisis realizado para el proyecto se requiere la siguiente inversión total:

COSTO DE INVERSIÓN

hh de staff durante la etapa de planificación

15 días

Item	Descripción de Cargo	% Participación	Costo Empresa S/.	Costo S/.
3	Residente de Obra	100%	19,000.00	S/. 9,500.00
4	Ingeniero de Campo	100%	13,500.00	S/. 6,750.00
5	Maestro de Obra	100%	8,500.00	S/. 4,250.00
Costo Total por mayores HH				S/. 20,500.00

Capacitacion y talleres mensuales

Item	Descripción de trabajos			Costo S/.
1	Capacitacion en Herramientas LEAN			S/. 8,500.00
2	Talleres de trabajo en Equipo			S/. 4,000.00
3	Talleres de Liderazgo			S/. 4,000.00
Costo Total capacitaciones y talleres				S/. 16,500.00

INVERSION TOTAL PREVISTA	S/. 37,000.00
---------------------------------	----------------------

Tabla 15 Monto de la inversión

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la **Tabla 15**, se estima que para la implementación de las herramientas basadas en la metodología Lean Construction se estima entre mayores hh, capacitaciones y talleres por un monto de S/. 37,000.00.

5.2 Estimación de los ahorros:

Se estimó que por la falta de una planificación Pull y una falta adecuadas herramientas de gestión se incurrió en sobre costos reflejados tanto durante la ejecución del proyecto, así como también en la etapa de post venta las cuyos montos se pretende ahorrar de acuerdo al siguiente cuadro resumen:

Monto del Proyecto		S/. 9,497,799.46
--------------------	--	------------------

Item	Descripción	Monto S/.	%
1	Ahorros estimados durante la ejecución	S/. 155,035.00	1.63%
2	Ahorros estimados en post venta	S/. 41,489.00	0.44%
Total de Sobre Costos		S/. 196,524.00	

Tabla 16 Ahorros de costos durante la ejecución y post venta

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 16 los montos por sobrecostos por la no utilización de herramientas Lean adecuadas representan aproximadamente un 2% del monto total del proyecto siendo estos probablemente optimizados con una adecuada aplicación de las herramientas de gestión descritas en la presente investigación, por lo que estos se convertirán en ahorros para el proyecto.

De tal manera que haciendo una inversión de S/. 37,000.00 que representa un 0.4% del monto del proyecto por la implementación de herramientas de gestión en base a la filosofía Lean Construction, podemos optimizar hasta S/. 196,524.00 que representa un 2.07% del monto de la obra.

5.3 Cálculo de los márgenes de obra:

Con la aplicación de las herramientas Lean podemos obtener ahorros al final del proyecto y esto se traduce en un aumento de la rentabilidad. Ya que se pretende tener un ahorro de (S/. 196,524), menos el monto de la inversión que es (S/. 37,000), obteniendo el resultado de $S/. 196,524 - S/. 37,000 = S/. 159,524$, que se refleja en el margen final de la siguiente manera:

El costo total incurrido real por el proyecto es de S/ 9,035,478, sin embargo, aplicando las herramientas analizadas podemos obtener un ahorro neto de S/. 159,524, es decir que el nuevo costo total incurrido proyectado sería de $S/ 9,035,478 - S/ 159,524 = S/ 8,875,954$.

De esta manera podemos realizar un cuadro comparativo entre los márgenes previstos, márgenes reales y el margen proyectado considerando la aplicación de las herramientas propuestas como se muestra en la siguiente tabla:

Resultado Operativo del proyecto			
	Previsto	Real	Caso Analizado (proyectado)
Total ingresos	S/. 9,497,799	S/. 9,497,799	S/. 9,497,799
Total Costos	S/. 8,832,953	S/. 9,035,478	S/. 8,875,954
Margen	S/. 664,846	S/. 462,321	S/. 621,845
% Margen	7.00%	4.87%	6.55%

Tabla 17 Comparativo del margen de obra

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la **Tabla 17**, el Margen previsto es del **7%**, mientras que el real obtenido en obra fue tan solo del **4.87%**, sin embargo, de acuerdo al análisis realizado e

implementando el uso de las herramientas Lean Construction podemos obtener un margen proyectado de **6.55%**, mejorando de esta manera en **1.68%** en margen real del proyecto.

5.4 Análisis de Sensibilidad:

Esta evaluación pretende determinar si la inversión inicial realizada será finalmente rentable bajo las condiciones propuestas y cuál es el grado de confiabilidad ante la variabilidad de algunos de sus factores.

Haciendo el análisis de la inversión y los ahorros estimados podemos evaluar la viabilidad de esta inversión bajo el indicador del VAN, calculado al inicio del proyecto.

Para ello mostramos los costos reales incurrido en el proyecto por rubros durante todo el plazo del proyecto como se muestra en la **Tabla 18**:

	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19
COSTO REAL	OBRAS PROVISIONALES	732,752	8,442	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	43,898	
	SEGURIDAD Y SALUD	287,964	0	14,398	14,398	23,037	23,037	23,037	28,796	28,796	28,796	23,037	23,037	23,037	17,278	17,278	0	0
	ESTRUCTURA	3,288,274	0	328,827	328,827	328,827	328,827	493,241	493,241	493,241	493,241	0	0	0	0	0	0	0
	ACABADOS	1,140,140	0	0	0	0	0	0	55,867	62,708	77,530	136,817	200,110	216,627	182,422	82,090	74,109	51,861
	INSTALACIONES	2,336,425	0	0	0	116,821	116,821	116,821	116,821	233,643	233,643	350,464	350,464	350,464	116,821	116,821	116,821	0
	EQUIPAMIENTO	287,634	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71,908	86,290	100,672	28,763	0
	GASTOS GENERALES	962,290	11,086	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	57,649	
	SUB TOTAL (Sin IGV)	9,035,478	19,528	464,300	464,300	589,760	589,760	754,174	815,800	939,462	954,284	631,392	694,685	783,110	523,886	437,935	321,240	51,861

Tabla 18 Distribución mensual de los costos reales

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 19** podemos observar la distribución de los costos estimados considerando la inversión inicial por la mayor permanencia del personal estratégico para la planificación Pull y las capacitaciones y talleres durante el inicio del proyecto, así como también la distribución de los ahorros luego de la implementación de mejora.

	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19
COSTO CON PROPUESTA	OBRAS PROVISIONALES	732,752	8,442	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	52,339	43,898	
	SEGURIDAD Y SALUD	287,964	0	14,398	14,398	23,037	23,037	23,037	28,796	28,796	28,796	23,037	23,037	23,037	17,278	17,278	0	0
	ESTRUCTURA	3,288,274	0	328,827	328,827	328,827	328,827	493,241	493,241	493,241	493,241	0	0	0	0	0	0	0
	ACABADOS	950,663	0	0	0	0	0	0	55,867	62,708	70,482	129,770	164,875	174,344	147,187	67,996	67,062	10,372
	INSTALACIONES	2,329,378	0	0	0	116,821	116,821	116,821	116,821	233,643	233,643	350,464	350,464	350,464	113,298	113,298	116,821	0
	EQUIPAMIENTO	287,634	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71,908	86,290	100,672	28,763	0
	GASTOS GENERALES	999,290	31,586	74,235	71,485	68,735	71,485	68,735	71,485	71,485	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	68,735	57,649	
	SUB TOTAL (Sin IGV)	8,875,954	40,028	469,800	467,050	589,760	592,510	754,174	818,550	942,212	947,237	624,345	659,450	740,828	485,127	420,318	314,193	10,372

Tabla 19 Distribución mensual de los costos aplicando la propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, realizando una comparación de la distribución los costos estimados con la propuesta de mejora y la distribución de los costos reales podemos obtener la diferencia de los

costos en la que se puede notar la inversión inicial en los primeros meses y la distribución de los ahorros durante los últimos meses según la **Tabla 20**:

DESCRIPCIÓN	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19
MES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16
COSTOS REALES	19,528	464,300	464,300	589,760	589,760	754,174	815,800	939,462	954,284	631,392	694,685	783,110	523,886	437,935	321,240	51,861
COSTOS CON PROPUESTA	40,028	469,800	467,050	589,760	592,510	754,174	818,550	942,212	947,237	624,345	659,450	740,828	485,127	420,318	314,193	10,372
DIFERENCIA DE COSTOS	- 20,500	- 5,500	- 2,750	-	- 2,750	-	- 2,750	- 2,750	7,047	7,047	35,235	42,282	38,759	17,618	7,047	41,489

Tabla 20 Diferencia de costos estimados y costos reales

Fuente: Elaboración propia

Como se puede mostrar en la **Tabla 20**, se muestra la inversión para la implementación de la propuesta de mejora en el primer mes, y la diferencia de costos durante todos los demás meses que dura el proyecto hasta el último mes que representa los ahorros obtenidos en la post venta.

De esta manera podemos realizar el cálculo del VAN al mes 1, para poder evaluar si la inversión inicial será finalmente rentable obteniendo valores del VAN mayores a cero, para ello calculamos la tasa de descuento que vendría a ser el $COK = Ke$ (Costo del Capital).

“la tasa de rendimiento esperada de un activo debe ser igual a la tasa libre de riesgo más la prima de riesgo esperada de mercado multiplicada por la beta del activo. (Gauna, 2008)

Dado por la fórmula: $Cok = Ke = rf + \beta * (Rm - rf) + rp$

Donde:

Ke =Costo de Capital,

rf =Tasa libre de riesgo,

β =beta (contribución del riesgo de un activo al riesgo de un portafolio diversificado,

$Rm - rf$ = Prima por riesgo de mercado,

rp =Riesgo País

Para ello calculamos la tasa libre de riesgo americana (rf), como referencia se toma normalmente el rendimiento ofrecido sobre bonos emitidos por el Tesoro americano que están respaldados por el gobierno de Estados Unidos, al considerarse relativamente libres de riesgo por percibirse a este país como sólido económicamente, con capacidad teórica de imprimir la mayor cantidad de su moneda y así obtener una baja probabilidad de caer en morosidad con sus obligaciones.

El plazo de los bonos debe ser equivalente al horizonte de análisis de la inversión. En consecuencia, se toma como tasa libre de riesgo el rendimiento promedio ofrecido, durante los 24 meses del período precedente al cálculo, sobre bonos del Tesoro Americano de largo plazo (T-Bonds) con vencimiento a 20 años (CREG, 2002, p. 57).

Siendo este cálculo $r_f=1.58\%$ de acuerdo a la **Tabla 21**:

Treasury Yields

NAME	YIELD
3 Month	1.64%
6 Month	1.62%
12 Month	1.57%
24 Month	1.58%
60 Month	1.59%
120 Month	1.76%

Tabla 21 Cuadro de la tasa libre de Riesgo

Fuente: bloomberg/rates-bonds/us

El factor (β) = 1.45, la cual cuantifica el riesgo sistemático de la inversión y mide la sensibilidad relativa del negocio respecto a los movimientos del mercado según la **Tabla 22**:

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Effective Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value
Advertising	48	1.22	71.06%	5.69%	0.79	8.64%
Aerospace/Defense	85	1.24	25.39%	11.40%	1.04	4.65%
Air Transport	18	1.02	89.82%	6.48%	0.61	3.77%
Apparel	50	0.93	35.00%	14.19%	0.74	3.43%
Auto & Truck	14	0.79	195.44%	10.15%	0.32	5.94%
Auto Parts	52	1.17	39.95%	11.57%	0.90	7.24%
Bank (Money Center)	10	0.71	203.85%	26.01%	0.28	34.12%
Banks (Regional)	633	0.57	76.51%	26.99%	0.36	10.54%
Beverage (Alcoholic)	31	1.30	34.18%	2.55%	1.03	1.35%
Beverage (Soft)	37	1.18	23.53%	3.87%	1.00	4.21%
Broadcasting	24	1.02	144.55%	2.54%	0.49	3.76%
Brokerage & Investment Banking	38	1.21	296.73%	22.47%	0.37	18.29%
Building Materials	42	1.10	32.99%	16.11%	0.88	3.99%
Business & Consumer Services	168	1.22	35.68%	7.60%	0.96	3.95%
Cable TV	14	1.13	70.70%	3.61%	0.74	2.85%
Chemical (Basic)	39	1.55	66.48%	7.33%	1.03	7.90%
Chemical (Diversified)	6	1.82	36.80%	3.18%	1.42	4.49%
Chemical (Specialty)	89	1.17	32.62%	10.71%	0.94	4.93%
Coal & Related Energy	23	1.17	67.40%	1.75%	0.78	19.77%
Computer Services	119	1.27	39.18%	8.75%	0.98	6.22%
Computers/Peripherals	57	1.68	25.13%	6.60%	1.41	5.66%
Construction Supplies	48	1.45	45.88%	13.21%	1.08	6.01%
Diversified	23	1.36	35.47%	7.41%	1.07	6.09%
Drugs (Biotechnology)	481	1.51	18.92%	0.93%	1.32	7.47%
Drugs (Pharmaceutical)	237	1.47	14.36%	2.26%	1.32	4.08%

Tabla 22 Cuadro para el cálculo del factor β

Fuente: pages.stern.nyu.edu

La prima por el riesgo del mercado ($R_m - r_f$) = 11.22%, estimándose de manera convencional como la diferencia entre la rentabilidad promedio del mercado y la tabla libre de riesgo de acuerdo a la **Tabla 23**:

Arithmetic Average				Risk Premium	
				Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds
1928-2018	11.36%	3.43%	5.10%	7.93%	6.26%
1969-2018	11.10%	4.76%	7.10%	6.34%	4.00%
2009-2018	13.49%	0.49%	2.28%	13.00%	11.22%

Tabla 23 Cuadro para el cálculo de la prima por el riesgo de mercado

Fuente: pages.stern.nyu.edu

Finalmente, sumado el riesgo país, de acuerdo al BCRP es igual a $r_p = 1.4\%$, tal y como se muestra en la **Tabla 24**:

	Diferencial de rendimientos del índice de bonos de mercados emergentes (EMBIG) / Emerging Market Bond Index (EMBIG) Stripped Spread							
	Perú	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Ecuador	México	Venezuela
2017	145	412	264	130	194	621	256	2845
Ene.	157	467	300	150	211	610	305	2089
Feb.	152	454	278	132	199	607	282	2065
Mar.	141	444	272	132	195	616	263	2126
Abr.	149	424	265	137	197	711	260	2245
May.	141	403	266	133	194	665	248	2241
Jun.	144	410	286	132	196	710	252	2435
Jul.	142	436	272	131	200	687	248	2616
Ago.	155	428	265	124	201	641	244	3022
Set.	144	388	251	127	189	628	241	3110
Oct.	140	362	235	122	185	571	243	3162
Nov.	139	370	242	125	186	541	245	4279
Dic.	136	356	232	118	174	470	242	4749

Tabla 24 Cuadro para el cálculo del riesgo país

Fuente: BCRP.gob.pe

Finalmente podemos obtener que el costo del capital un $K_e = 19.25\%$, siendo la tasa mensual igual a **1.6%**.

Finalmente realizando el cálculo del VAN podemos obtener lo siguiente:

VAN = 124,487, nos muestra que la inversión inicial es rentable

Sin embargo, los factores para su cálculo están sujetos a mucha variabilidad, sobre todo los ahorros proyectados, debido a esto se realiza un análisis de confiabilidad para determinar el grado de probabilidad de obtener un resultado favorable, Para lograrlo se hará uso del programa @Risk donde definimos las variables como:

El costo de Inversión: S/. 20,500 – Tiene poca variabilidad considerando realizar una probable inversión mayor hasta de un máximo del 120%, y una probable inversión menor de hasta un mínimo de un 95% del costo de inversión estimada.

Los costos mensuales por capacitaciones y talleres se estiman en S/. 16,500 – se considera una moderada probabilidad de incrementar este monto por lo que se estima realizar un costo máximo de hasta un 150%, mientras que una baja probabilidad de que esta inversión sea menor, por lo que se estima un costo mínimo de hasta 95% de los costos totales mensuales por capacitación y talleres.

Los ahorros estimados suman S/. 196,524 – sin embargo, hay una baja probabilidad que se pueda ahorrar un mayor monto por lo que se estima un máximo ahorro de hasta un 102%, mientras que hay una alta probabilidad que no se tenga ningún tipo de ahorro adicional por lo que se podría estimar el ahorro mínimo de 0% del monto total estimado, para este caso se ajustaría mejor realizar un análisis de distribución normal donde el monto más probable sería la media, es decir S/. 98,262

De esta manera podemos obtener el siguiente cuadro resumen donde se muestran los parámetros de las distribuciones para el análisis del @risk, **Tabla 25**:

Parámetros de las distribuciones					
Entradas inciertas	Monto S/.	Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
Costo de la inversión	S/ 20,500.00	Triangular	S/ 19,475.00	S/ 20,500.00	S/ 24,600.00
Ahorros estimados	S/ 196,524.00	normal	S/ -	S/ 98,262.00	S/ 200,454.48
Costos Mensuales Fijos	S/ 16,500.00	Triangular	S/ 15,675.00	S/ 16,500.00	S/ 24,750.00

Tabla 25 Parámetros de las distribuciones

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior los parámetros para evaluar el costo de inversión está dada siguiendo parámetros de distribución triangular, siendo los límites S/19,475.00 como valor mínimo que representa un 95% del estimado pudiendo obtener algún ahorro al momento de realizar los trabajos de implementación, S/ 20,500.00 como valor más probable que es el valor calculado y S/ 24,600.00 como valor máximo en caso se llegue a incurrir en mayores gastos, de esta manera se puede obtener el siguiente gráfico de distribución triangular de la inversión inicial, **Gráfico 5**:

Gráfico 5 Parámetro de distribución triangular de la inversión estimada

Fuente: Elaboración propia

Otro de los factores a evaluar son los ahorros estimados, que para este análisis se consideró como parámetro la distribución normal, cuyo rango de variación tiene como valor máximo S/.196,524.00 que viene a ser el monto total de los ahorros estimados, mientras como valor mínimo es de S/ 0, en el caso probable de que no se llegue a obtener ningún tipo de ahorro pese a la inversión y a la implementación de las herramientas propuestas, en ese sentido obtenemos los parámetros de distribución de los ahorros estimados, **Gráfico 6:**

Gráfico 6 Parámetro de distribución normal de los ahorros estimados

Fuente: Elaboración propia

y por último se evalúa los costos de las capacitaciones y talleres las mismas que siguen una distribución triangular, siendo el valor más probable de S/16,500 que viene a ser el monto calculado para las capacitaciones y talleres a realizar, teniendo los límites de variación S/15,675 como valor mínimo que representa el 95% del valor calculado, considerando en este caso un posible ahorro en los costos y S/24,750 como valor máximo de variación que representa un 150% del monto calculado, considerando la necesidad de realizar alguna capacitación o taller adicional, de esta manera se puede obtener el siguiente gráfico de distribución triangular para los costos de Capacitación y talleres, **Gráfico 7**:

Gráfico 7 Parámetro de distribución triangular para los costos de capacitación

Fuente: Elaboración propia

Finalmente de acuerdo a la distribución de la diferencia de costos mostrado en la **Tabla 20** y realizando la variación de las entradas como son: la inversión inicial, los costos por capacitación y los ahorros previstos, de acuerdo a los parámetros de distribución que se mencionaron anteriormente, para poder determinar cuál es la variación del VAN bajo todas las posibles variaciones de las entradas y de esta manera obtener el grado de probabilidad de obtener un resultado favorable realizando este análisis con el programa @RISK, cuyo resultado de estas iteraciones se muestra en el **Gráfico 8**:

Gráfico 8 Resultado del análisis con @risk

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior podemos indicar lo siguiente:

- Hay un 89.6% de probabilidad de que el VAN analizado sea mayor a 0, es decir que es más probable que la inversión sea rentable siempre en cuando se logre obtener ahorros.
- De los datos estadísticos la media del VAN= 41,811, la cual es el resultado con mayor probabilidad, siendo este positivo nos indica que la inversión es rentable, indica también que se estima un ahorro más probable de S/. 94,351.17

También se podría evaluar el efecto de la variación de las entradas para el cálculo del VAN a partir del valor medio, de acuerdo al **Gráfico 9**:

Gráfico 9 Variación del VAN en función a las entradas

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el **Gráfico 9**, el VAN prácticamente depende de los ahorros pudiendo tener un VAN negativo = -16,411, en caso no se tenga ningún tipo de ahorro, mientras que se obtendría un VAN = 99,791, en caso se cumpliera con los ahorros estimados.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La planificación Pull nos permite cumplir con el plazo de obra a través de las reuniones colaborativas, ya que todos los involucrados aportan su experiencia y conocimiento para sincerar los plazos de cada actividad generando un mayor compromiso para su cumplimiento.
- Las reuniones colaborativas antes del inicio de obra, asesorías y capacitaciones durante la ejecución de la obra permite alinear a los integrantes del equipo de trabajo con la filosofía Lean Construction con la finalidad de obtener resultados favorables para el proyecto.
- Las principales herramientas a utilizar como propuesta de mejora para un proyecto multifamiliar de densidad media son el Pull Planning, Last Planner System, VSM, A3, Carta Balance, Gemba Walk y Lean Coffee.
- Con la implementación de las herramientas basadas en la filosofía Lean Construction se puede lograr ahorros en el proceso de construcción, en el caso de análisis se logró un 6.55% muy cercano a la meta inicialmente propuesta.
- La inversión en la implementación de las herramientas basadas en la filosofía Lean Construction como mayor permanencia del personal estratégico para la planificación Pull, capacitaciones y talleres especializados al equipo de trabajo tiene una rentabilidad positiva con una probabilidad mayor al 80% de acuerdo al análisis realizado con el @risk.

6.2 Recomendaciones

- Es importante realizar las capacitaciones al personal de obra durante la primera etapa de ejecución (estructura y Arquitectura) con la finalidad de que el equipo de obra esté mejor preparado para ejecutar los trabajos en la etapa de acabados y equipamiento dado a su alta variabilidad y complejidad en su ejecución.
- Antes de iniciar el proyecto es importante considerar reuniones colaborativas y visitas al terreno para realizar una adecuada planificación. En el caso analizado fue de 15 días para la planificación y elaboración de la estrategia de ataque para no tener contratiempos y se pueda asegurar el cumplimiento de los plazos.

- Es importante analizar el alcance y las dificultades para la ejecución de la obra, y de esta manera programar las reuniones colaborativas, definir el equipo de trabajo y cuantificar el tiempo necesario para una adecuada planificación.
- La utilización de herramientas Lean Construction deben ser aplicada por todo el personal relacionado a obra, ya que las herramientas propuestas involucran el compromiso de todos para que se logren los resultados.
- Es importante tener una previa coordinación desde el inicio de la obra entre el área de ventas, proyectos y construcción, para ello es importante también la participación de la gerencia general y el gerente superintendente con la finalidad de elaborar una planificación maestra.
- Luego de realizar una adecuada implementación de las herramientas Lean Construction, se recomienda dar como siguiente paso la implementación de la tecnología BIM así como el uso de los contratos colaborativos IPD, el cual puede representar la continuación de nuestra investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA (APA)

Bajjou, M. S. mohamedsaad. Chafi, A. & En-nadi, A. (2017). A Comparative Study between Lean Construction and the Traditional Production System. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 118–132. Recuperado de: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118>

Rojas López, M. D., Henao Grajales, M., & Valencia Corrales, M. E. (2017). Lean construction - LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellin*, 16(30), 115–128. Recuperado de: <https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a6>

J. Womack, D. Jones, D. Roos (1991) *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*, 1st Harper Perennial Ed., New York

R. Fayek Aziz y S. Mohamed Hafez. (2013) «Applying lean thinking in construction and performance improvement,» *Alexandria Engineering Journal* , vol. 52, pp. 679-695.

Lean Construction Institute (2004) *What Is Lean Construction?* Recuperado de: <http://www.leanuk.leanconstruction.org/whatis.htm>.

Serpell B., Verbal R. (1990). Análisis de operaciones mediante Cartas de Balance. *Revista Ingeniería de Construcción*, N°9, Julio-Diciembre 1990. Chile

Rother, M., Shook, J. (1999). *Learning to see: Value Stream Mapping to create value and eliminate muda. Un manual de trabajo y herramienta lean*. Brookline, Massachusetts, USA: The Lean Enterprise Institute, Junio 1999.

Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Dissertation for the degree of doctor of technology to be presented with due permission for public examination and debate in Luna Auditorium in Spektri Duo at

Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.

Ballard, G. (1997). The Last Planner, the missing link to production control. Proceedings 5th IGLC Conference. Gold Coast.

Ballard, G. (1994) "The Last Planner". Ponencia presentada en Conferencia de Primavera del Norte de California Instituto de la Construcción. Monterrey.

Ballard, G. (2000). Lean Project Delivery System. LCI White Paper-8. Lean Construction Institute, Setiembre 2000.

Serpell, A.F & Alarcón, L.F. (2007). Planificación y control de proyectos. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile

Benson J. (2009). What is Lean Coffee?. Recuperado de: <http://agilecoffee.com/leancoffee>

Bremer M. (2016) How to Do a Gemba Walk. Recuperado de: <https://www.leanconstruction.org/learning/gemba/>

Calampa, S. (2014) Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

ANEXOS

Anexo 2: Calendario de labores de un ingeniero de campo en una semana típica

	INGENIEROS DE CAMPO					CLAVE	FECHA	
	SEMANA TÍPICA - SUPERVISIÓN EN CAMPO							
		Semana						
Hora Inicio	Hora Fin	L	M	M	J	V	S	
7:30 a. m.	8:00 a. m.							
8:00 a. m.	8:30 a. m.	Supervisión en el Cumplimiento Herramientas de Programación	Supervisión en el Cumplimiento Herramientas de Programación	Supervisión en el Cumplimiento Herramientas de Programación	Supervisión en el Cumplimiento Herramientas de Programación	Supervisión en el Cumplimiento Herramientas de Programación	Acompañamiento Semanal PAC	
8:30 a. m.	9:00 a. m.						Análisis de restricciones	
9:00 a. m.	9:30 a. m.							
9:30 a. m.	10:00 a. m.							
10:00 a. m.	10:30 a. m.							
10:30 a. m.	11:00 a. m.	Análisis Tren de Actividades	Análisis Tren de Actividades	Análisis Tren de Actividades	Análisis Tren de Actividades	Análisis Tren de Actividades		
11:00 a. m.	11:30 a. m.							
11:30 a. m.	12:00 p. m.							
12:00 p. m.	1:00 p. m.							
1:00 p. m.	1:30 p. m.	Supervisión / Look Ahead Diario RP's	Supervisión / Look Ahead Diario RP's	Supervisión / Look Ahead Diario RP's	Supervisión / Look Ahead Diario RP's	Acompañamiento Semanal PAC / Reporte semanal		
1:30 p. m.	2:00 p. m.							
2:00 p. m.	2:30 p. m.							
2:30 p. m.	3:00 p. m.							
3:00 p. m.	3:30 p. m.							
3:30 p. m.	4:00 p. m.	Análisis de Cuadrillas / GEMBA WALK	Análisis de Cuadrillas / VSM	Análisis de Cuadrillas / GEMBA WALK	Análisis de Cuadrillas / VSM	Análisis de Cuadrillas / GEMBA WALK		
4:00 p. m.	4:30 p. m.							
4:30 p. m.	5:00 p. m.							
5:00 p. m.	5:30 p. m.							
5:30 p. m.	6:00 p. m.							
6:00 p. m.	6:30 p. m.		Lean Coffe			Lean Coffe		
6:30 p. m.	7:00 p. m.							

Anexo 3: Matriz de responsabilidades del staff de obra

MATRIZ DE ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES										
R (RESPONSABLE) = Es el Responsable del Entregable		I (INFORMADO) = Es informado del resultado del entregable								
F (FIRMA) = El entregable requiere su firma		V (VALIDA) = Valida el control de calidad del entregable								
P (PARTICIPA) = Participa en la construcción/elaboración del entregable		A (AUTORIZA) = Autoriza la entrega del entregable								
EDT	SUPERINTENDENTE DE OBRA Superintendente de Obra Proyecto	Ing. Residente	Ing. Campo	Arquitecta de Obra	Ing. Asist Oficina Técnica	Ing. Asistente Campo	Administración	Prevencionista de Riesgo	Maestro de Obra	Almacenero
GESTION										
CONTROL DEL PLAZO, MARGEN/COSTOS.	I	R-P	P		P					
CONTROL DE PRODUCCION.	I	P-F-V	R-P			P				
CONTROL DE CALIDAD	I	P-F-V	P-F-V	P		R-P				
CONTROL DE SEGURIDAD	I	P-F-V						R-P		
MANEJO CONTRACTUAL	F-I-A	R-P								
RELACIÓN CON LOS VECINOS	I-V	R-P	R-P			R-P	R-P	R-P	R-P	
EVALUACIÓN DEL PERSONAL DE OBRA		R-P	P			P		P	P	
CREAR Y MEJORAR LOS PROCESOS DE OBRA.	I	R-P	P-F-V	P	P	P	P	P	P	
NEGOCIACIÓN DE SUBCONTRATOS Y EQUIPOS	I	P-F-V		P	R-P		P			
RESOLVER CONFLICTOS DURANTE CONSTRUCCIÓN	I	R-P	P		P	P		P	P	
BITACORA DE OBRA (CUADERNO DE OBRA)	I	R-P	P-V	P-V						
ELABORACION Y CONTROL DE PRESUPUESTOS		R-P	P		R-P					
ELABORACIÓN DE VALORIZACIONES		F-V	R-P	P	R-P	P				
COMPATIBILIZACIÓN DE PLANOS	I-V	R-P	R-P	R-P		P			P	
PREPARAR ESPECIFICACIONES PARA COMPRAS TÉCNICAS (COMPRA)	A	F-V	R-P	R-P	R-P	P	P	P	P	
REPORTE SEMANAL Y MENSUAL A OFICINA PRINCIPAL	I	R-P	R-P	P	P	P	P	P		P
CONSTRUCCION (PRODUCCION, ALCANCE Y COSTOS)										
PLANIFICACION MAESTRA (POR HITOS)	I	R-P	P	P						
SEGUIMIENTO Y/O CAMBIO DE LA PLANIFICACION MAESTRA.	I	R-P								
PLAN GENERAL DE OBRA	I	R-P	P-F-V	P	P	P		P	P	
LOOKAHEAD PLANNING	I	F-P-A	R-P	P		P			P	
ANALISIS DE RESTRICCIONES	I	F-P-A	R-P	P		P			P	
PROGRAMACION SEMANAL	I	F-P-A	R-P	P		P			P	
PROGRAMACION DIARIA	I	F-P-A	R-P	P		P			P	
INDICADORES (PPC Y CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO)	I	F-P-A	R-P			P			P	
ROL DE ACCIONES CORRECTIVAS	I	F-P-A	R-P			P			P	
TAREOS DIARIOS FORMATO EXCEL		F-P-A	R-P		R-P	P			P	
TAREOS DIARIOS FORMATO S10		F-P-A			R-P	P	R-P			
SEGUIMIENTO ORDENES DE COMPRA		F-A		P	R-P		R-P			
CONTROL DE EQUIPOS (MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REPARACIÓN-LISTA DE EQUIPOS CON FECHAS DE MANTENIMIENTO)		F-A			P		R-P		P	R-P
REALIZACIÓN DE PLANOS AS BUILT		F-P-V-A	R-P	R-P	R-P	P			P	
METRADOS DE AVANCE GENERAL DE OBRA		F-A	R-P	R-P	P	P				
METRADOS PARA VALORIZACIONES, ADICIONALES, ETC		F-A	R-P	P	R-P	P				
SEGUIMIENTO COMPRAS DE OBRA		F-A	R-P	R-P	R-P	P				P
COMPRAS MENORES (CAJA CHICA)		F-A	R-P	P	R-P	P	R-P	P	P	P
DAR EL SOPORTE TÉCNICO Y OPERATIVO AL PERSONAL DE OBRA.		P	R-P	P	P	P		P	R-P	
ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD VIA S10		F-P-V-A			R-P		P			P
CURVAS DE PRODUCTIVIDAD		F-P-V-A	R-P		P				P	
ANALISIS DE PROCESOS (TRABAJO REHECHOS)		F-P-V-A	R-P			P				
ANALISIS DE PROCESOS (CARTAS DE BALANCE)		F-P-V-A	R-P			R-P				
ANALISIS DE REPORTES DE CONTROL DE RENDIMIENTOS (IP)	I	F-V	R-P			P				
CALIDAD										
EFECTUAR AUDITORIAS PERIÓDICAS DE CALIDAD DE OBRA.	F	P	F-P-V	P	P	R-P			P	
ELABORAR PROTOCOLOS DE CALIDAD EN CAMPO		F-P-V	F-P-V	P		R-P				
EIECTUAR PROTOCOLOS DE CALIDAD EN CAMPO		F-P-V	F-P-V	P		R-P				
RECOPILA LOS DOCUMENTOS DEL DOSSIER DE CALIDAD		F-P-V	F-P-V	R-P		R-P				
LABORATORIO / PRUEBAS	I	I	F-P-V			R-P				

MATRIZ DE ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES

R (RESPONSABLE) = Es el Responsable del Entregable		I (INFORMADO) = Es informado del resultado del entregable								
F (FIRMA) = El entregable requiere su firma		V (VALIDA) = Valida el control de calidad del entregable								
P (PARTICIPA) = Participa en la construcción/elaboración del entregable		A (AUTORIZA) = Autoriza la entrega del entregable								
EDT	SUPERINTENDENTE DE OBRA Superintendente de Obra Proyecto	Ing. Residente	Ing. Campo	Arquitecta de Obra	Ing. Asist Oficina Técnica	Ing. Asistente Campo	Administración	Prevencionista de Riesgo	Maestro de Obra	Almacenero
RECURSOS HUMANOS										
EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO (PRODUCCIÓN).		I-V	R-P			R-P			P	
EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO (SEGURIDAD).		I-V						R-P	P	
EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO (CALIDAD).		I-V	P			P			P	
REGlamento DE SANCIONES E INCENTIVOS AL PERSONAL DE OBRA (tardanzas o faltas injustificadas SEGURIDAD, CALIDAD, ORDEN Y LIMPIEZA)		R-P	P		P	P	R-P	R-P	P	P
SEGURIDAD Y CONTROL AMBIENTAL										
CAPACITAR AL PERSONAL DE OBRA EN IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS (Conocimiento y concientización)		V - I	P			P		R-P	P	
ADECUAR A LA OBRA ESPECÍFICA LAS NORMAS , ESTÁNDARES Y POLÍTICAS DE : SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		V - I	P		P	P		R-P		
EFFECTUAR AUDITORIAS PERIÓDICAS DE SEGURIDAD DE OBRA.	R	R-P						R-P		
LABORAR MATRIZ DE PREVENCIÓN DE RIESGOS (SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE) partidas específicas		F-V						R-P		
ALMACEN										
PROVEER A LOS TRABAJADORES DE LAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS NECESARIOS			P		P	P	R	P	P	R-P
CONTROLAR LA UBICACIÓN DENTRO DE LA OBRA DE LAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.			P		P	P	R			R-P
SUPERVISAR EL CORRECTO USO DE LAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE LA OBRA		I	P			P	R		P	R-P
VERIFICAR EL BUEN ESTADO Y CALIDAD DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES QUE LLEGAN A LA OBRA		I	P			P	R	P	P	R-P
RECIBIR Y ENTREGAR LOS MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE LA OBRA		I	P		P	P	P	P	P	R-P
CONTROLAR EL STOCK DE LA OBRA		I			P		R			R-P
SACAR PROBETAS		I							R-P	P
CURADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		I							R-P	P
INVENTARIO DE LA OBRA		I	P		P	P	R			R-P
SUPERVISIÓN DEL INVENTARIO DE LA OBRA							R-P			R-P
CONTROL DE PRESTAMOS DE HERRAMIENTAS Y/O EQUIPOS DE SEGURIDAD EN CAMPO							R		P	R-P
EGRESOS DE LOS MATERIALES EN EL \$10		I-V	P		P		R-P			R-P
ADMINISTRACIÓN										
RESPONSABLE DEL CUMPLIMIENTO DE LAS POLÍTICAS DE LA OBRA		R-P	P		P	P	R-P	P	P	P
PROCESO ADMINISTRATIVO DE COMPRAS (DESDE O/C HASTA EL PAGO)		R-P			P		R-P			P
PROCESO ADMINISTRATIVO DE PAGOS (DESDE O/C HASTA EL PAGO)		R-P			P		R-P			
CONTROL DE PAGOS		R-F			P		R-P			
ADMINISTRACIÓN DE ACTIVOS DE LA OBRA		R-P					P			P
RESPONSABLE DEL ARCHIVO DE LA OBRA		F					R-P			P
PLANILLA		F			P		R-P			
TRIBUTOS		R					P			P
EMISIÓN DE CHEQUES	F-R-I	R-P			P		P			
CONTROL DE MOVIMIENTO DE ALMACENES		I					R			R-P
CUMPLIMIENTO REQUISITOS DEL MINISTERIO DE TRABAJO		I			P		R-P	R-P		
CONTRATACIÓN DE SEGUROS	I-F	R					R-P	R-P		
FACTURAS DE PROVEEDORES Y SUBCONTRATISTAS										
FACTURAS PRIORIDADES DE PAGO										
LISTA DE PRIORIDADES DE PAGO										

Anexo 4: Informe de Retrabajos

OBRA:	PROYECTO PRECURSORES SURCO	HOJA
CONCEPTO:	AVANCE DE OBRA	No 1
FECHA:	Dic-18	DE 2

Puertas sin acabado debido a incumplimiento por parte del subcontratista		

OBRA:	PROYECTO PRECURSORES SURCO	HOJA
CONCEPTO:	AVANCE DE OBRA	No 1
FECHA:	Dic-18	DE 2

Cajoneo en rectificación de pisos		

OBRA:	PROYECTO PRECURSORES SURCO	HOJA
CONCEPTO:	AVANCE DE OBRA	No 1
FECHA:	Dic-18	DE 2

Cambios en el diseño por solicitud del cliente: Modificación de puntos eléctricos		

<div>OBRA : CONC</div> <div>PROYECTO PRECURSORES SURCO AVANCE DE OBRA</div> <div>No 2 DE 2</div>	<div>OBRA : CONC</div> <div>PROYECTO PRECURSORES SURCO AVANCE DE OBRA</div> <div>No 2 DE 2</div>	<div>OBRA : CONC</div> <div>PROYECTO PRECURSORES SURCO AVANCE DE OBRA</div> <div>No 2 DE 2</div>
<div> </div> <div>Retrajos en pintura a causa de la</div>	<div> </div> <div>Cambios en el diseño por solicitud del cliente: proyección de espacio para</div>	<div> </div> <div>Cambios en acabados por solicitud del cliente: cambio de tonalidad de</div>