



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Incertidumbre y aplicación de la metodología BIM-LPS en el flujo de trabajo,
durante la ejecución del proyecto C.C. Plaza Surco bajo la modalidad *Fast-track*

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Quiñonez Pezo, Carlos Augusto (0000-0003-2888-3127)

ASESOR

Farje Mallqui Julio Enrique (0000-0003-3998-8696)

Lima, 21 de octubre de 2020

RESUMEN

Un *flujo de trabajo* confiable se logra mediante un buen planeamiento según la metodología del *Last Planner*. Sin embargo, en proyectos donde se usa el método de *Fast-track*, la aplicación del *Last Planner* (LPS) es mucho más complicada. Se sabe que el método de *Fast-track* origina muchos problemas al momento de construir, puesto a que el diseño aún no se encuentra definido en su totalidad.

Un flujo de trabajo que se interrumpe, normalmente conlleva a grandes pérdidas en la productividad. Si bien el LPS es una herramienta que ayuda en asegurar un “flujo continuo de trabajo” debido a los planes detallados que se realizan, en la medida en que se acerca a la fecha de ejecución, el método de *Fast-track* limita sus ventajas, aumentando exponencialmente a la vez, la variabilidad en el proyecto.

Es por esta razón, que es muy importante usar las herramientas BIM con el propósito de dar soporte visual y evaluar de mejor manera la confiabilidad de los planes que se hacen en el *Look Ahead* y en el plan semanal. Los softwares del BIM permiten gestionar la información, los espacios de trabajo, e identificar lo antes posible las restricciones de diseño.

Con lo dicho anteriormente, es necesario usar y proponer la integración del BIM y el *Last Planner* con la finalidad de reducir la variabilidad y que se pueda generar hacer las programaciones con mayor confiabilidad, en proyectos que se ejecuten bajo la modalidad *Fast-track*..

Esta investigación va a abarcar en primer lugar, la investigación de tres proyectos de edificaciones correspondiente a centros comerciales donde se haya utilizado el *Last Planner System*, con el propósito de encontrar las deficiencias tanto en el proceso constructivo, como en el uso del Last Planner. Se toma en cuenta las notas de mejora y las acciones preventivas en su aplicación en esos proyectos. De esta forma, basándose en la recopilación de toda esa información, se plantea una mejora en el sistema del *Last Planner* mediante la elaboración de una guía que muestre los pasos para realizar la integración de la tecnología BIM con las herramientas del *Last Planner*. Y por último, se aplica a un centro comercial, con la finalidad de cuantificar su impacto en la disminución de la variabilidad y generar un flujo de trabajo continuo durante la etapa de ejecución de la fase de estructuras.

Palabras clave: BIM; SUP (Sistema del último planificador); Fast-track (camino acelerado); Incertidumbre; Variabilidad; Flujo de trabajo; Productividad.

ABSTRACT

A reliable workflow is achieved through good planning according to the Last Planner methodology. However, in projects where the Fast-track method is used, the application of the Last Planner (LPS) is much more complicated. The Fast-track method is known to cause many problems at the time of construction, since the design is not yet fully defined.

An interrupted workflow usually leads to huge losses in productivity. Although the LPS is a tool that helps to ensure a “continuous workflow” due to the detailed plans that are made, as the execution date approaches, the Fast-track method limits its advantages, increasing exponentially at the same time, the variability in the project.

For this reason, it is very important to use BIM tools in order to provide visual support and better evaluate the reliability of the plans made in the Look Ahead and in the weekly plan. BIM software allows you to manage information, workspaces, and identify design restrictions as soon as possible.

With the aforementioned, it is necessary to use and propose the integration of BIM and the Last Planner in order to reduce variability and that it can be generated to do the programming with greater reliability, in projects that are executed under the Fast-track mode.

This investigation will cover, in the first place, the investigation of three building projects corresponding to shopping centers where the Last Planner System has been used, in order to find deficiencies both in the construction process and in the use of the Last Planner. Notes for improvement and preventive actions are taken into account in their application in these projects. In this way, based on the compilation of all this information, an improvement in the Last Planner system is proposed by preparing a guide that shows the steps to integrate BIM technology with the Last Planner tools. And finally, it is applied to a shopping center, in order to quantify its impact on reducing variability and generating a continuous work flow during the execution stage of the structures phase.

Keywords: BIM (Building Information Modeling); LPS (Last Planner System); Fast-track; Uncertainty; Variability; Workflow; Productivity.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 JUSTIFICACIÓN	6
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	9
1.4 OBJETIVO GENERAL	9
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.2 MARCO METODOLÓGICO	10
1.2.1 Población y muestra	10
1.2.2 Procedimiento metodológico / método de investigación.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE).....	11
2.1.1 Antecedentes de la productividad en la construcción en el Perú.....	11
2.1.2 Antecedentes del <i>Last Planner</i> en el mundo	11
2.1.3 Antecedentes del <i>Last Planner</i> en el Perú	11
2.1.4 Antecedentes del BIM en el Mundo	13
2.2 BASES TEÓRICAS	14
2.2.1 Incertidumbre versus Variabilidad	14
2.2.2 La naturaleza de la industria de la construcción.....	15
2.2.3 Gestión tradicional de proyectos de construcción	20
2.2.4 Origen de la filosofía <i>Lean</i>	20
2.2.5 <i>Lean Construction</i> (Construcción sin pérdidas)	24
2.2.6 Teorías de producción	24
2.2.7 Teoría de Sistema de Producción Eficiente.....	29
2.2.8 Flujos en la construcción	32

2.2.9	BIM (<i>Building Information Models</i>)	35
2.2.10	Sistemas de Entrega de Proyectos (<i>Project Delivery Systems</i>)	37
2.2.11	Modalidades de entrega de proyectos.....	38
CAPÍTULO III. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE CENTROS COMERCIALES		
.....		43
3.1	PRESENTACIÓN DE PROYECTOS	43
3.1.1	Proyecto 1: “Mall Centro Comercial Sur” (Culminado: 2014-2016).....	43
3.1.2	Proyecto 2: “Centro Comercial Plaza Surco” (Etapa I y Etapa II – En Ejecución).....	68
3.1.3	Proyecto 3: Centro Comercial Mega Plaza Villa el Salvador II: (2016 - En ejecución.....	83
3.2	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LOS 3 PROYECTOS.....	94
3.2.1	Proyecto 1: “Centro Comercial Sur”	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2	Proyecto 2: “Centro Comercial Plaza Surco” ..	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3	Proyecto 3: “Centro Comercial Mega Plaza Villa el Salvador II”	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV. GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO BIM - LAST PLANNER.....		95
4.1	IDENTIFICACIÓN DE LIMITANTES EN EL USO DEL <i>LAST PLANNER</i> EN BASE AL ANÁLISIS DE LOS 3 PROYECTOS DE CENTROS COMERCIALES.....	98
4.2	¿POR QUÉ FUSIONAR LOS CONCEPTOS DEL <i>LAST PLANNER</i> Y EL BIM?	103
4.3	GUÍA PARA IMPLEMENTAR LA INTEGRACIÓN BIM – LAST PLANNER.....	106
4.3.1	Realizar el Modelo 3D en el programa de Revit	107
4.3.2	Detectar interferencias por especialidad.....	108
4.3.3	Detectar interferencias entre diferentes especialidades	108
4.3.4	Sectorización	108
4.3.5	Tren de Actividades.....	108
4.3.6	Hacer el <i>Look Ahead</i> y los planes semanales en 4D.....	109
4.3.7	Indicadores a medir	109
4.3.8	Metodología de Retroalimentación	109
4.4	PROPUESTA DE DESARROLLO DE REUNIONES SEMANALES	109
4.5	FORMATOS DE TRABAJO: FORMATOS DE AVANCE	110

4.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES A MEDIR EN EL PROYECTO	111
CAPÍTULO V. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DEL BIM Y EL <i>LAST PLANNER SYSTEM</i> EN UN CENTRO COMERCIAL	
5.1 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.....	112
5.1.1 Descripción del método de trabajo que se utiliza en la empresa constructora.....	112
5.1.2 Análisis del proyecto	113
5.2 IMPLEMENTACIÓN DEL BIM Y <i>LAST PLANNER</i> (DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN).....	116
5.2.1 Realizar el Modelo 3D en el programa de Revit	116
5.2.2 Realizar el Modelo 3D en el programa de Rñ{ñ{ñ{llk	116
CONCLUSIONES.....	125
RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS	128
BIBLIOGRAFÍA	133
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	138
LISTA DE DEFINICIONES	139
ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad de centros comerciales que actualmente operan en Perú (2017)	8
Tabla 2 Comparativa entre el sistema TPS de Japón y el sistema de producción en masa de EEUU realizado por Womack, Jones y Ross (1991).....	21
Tabla 3 Teoría TFV de la producción	26
Tabla 4 Diferentes tipos de actividades, con ejemplos.....	28
Tabla 5 Distribución Arquitectónica del Centro Comercial Sur	45
Tabla 6 Hitos contractuales del proyecto	49
Tabla 7 Hitos de entrega de planos de diseño	50
Tabla 8 Hitos de entrega con ampliación de plazo.....	54
Tabla 9 Distribución del presupuesto por especialidad.....	51
Tabla 10 Matriz de RFIs cuantificados hasta la semana 60	57
Tabla 11 Matriz de RFIs en función a las distintas especialidades cuantificados hasta la semana 60	57
Tabla 12 Cuantificación de las órdenes de cambio realizadas en todo el proyecto.....	59
Tabla 13 Cuantificación de adicionales debido a las órdenes de cambio; Error! Marcador no definido.	
Tabla 14 Cuantificación de las órdenes de cambio por cada especialidad.....	59
Tabla 15 Distribución Arquitectónica correspondiente a la Etapa II del proyecto	70
Tabla 16 Distribución Arquitectónica de la Etapa III del proyecto.....	70
Tabla 17 Hitos contractuales de todo el proyecto.....	74
Tabla 18 Hitos contractuales del proyecto	84
Tabla 19 Distribución del presupuesto por especialidad.....	85
Tabla 20. Curva S global (Programado vs Ejecutado).	87
Tabla 21 Actividades críticas detectadas por los encuestados; Error! Marcador no definido.	
Tabla 22 Actividades críticas detectadas por los encuestados	81
Tabla 23 Actividades críticas detectadas por los encuestados	93
Tabla 24 Identificación de oportunidades de mejora utilizando la metodología BIM-Last Planner.....	99
Tabla 25 Matriz de variables a medir en el proyecto	111
Tabla 26 Matriz de Interferencias entre especialidades.....	118
Tabla 27 Tren de actividades del Frente 1.....	120

Tabla 28 Tren de actividades del Frente 2.....	121
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación del porcentaje correspondiente a los tipos de trabajo en la construcción en Sudamérica.	12
Figura 2. Evolución de la tecnología BIM.	13
Figura 3. Ejemplo de variabilidad.	15
Figura 4. Evolución del nivel de productividad anualmente (valor agregado por hora trabajada) entre diferentes industrias de EEUU entre 1947 al 2010.....	16
Figura 5. Comparación de los enfoques de diferentes filosofías de producción.	23
Figura 6. Identificación de las actividades que no agregan valor.....	27
Figura 7. Pérdidas por Flujo vs Pérdidas por Proceso.....	29
Figura 8. Orden de importancia para tener un sistema de producción eficiente.	30
Figura 9. Flujos Continuos.	31
Figura 10. Flujos Eficientes.....	31
Figura 11. Procesos Eficientes.....	31
Figura 12. Los 7 flujos (<i>inputs</i>) que hacen que una actividad se ejecute.	34
Figura 13. Beneficios del <i>Lean Construction</i> en los trabajadores (cuadrillas) y la empresa. Adaptado de Mossman, 2009	35
Figura 14. Uso del BIM durante el ciclo de vida de un proyecto.....	36
Figura 15. Método tradicional vs <i>Design-Build</i> con <i>Fast-track</i>	40
Figura 16. Proyecto culminado del Centro Comercial Mall del Sur.	43
Figura 17. Ubicación del proyecto del Mall del Sur.....	44
Figura 18. Frentes de trabajo del Proyecto Mall del Sur (4 frentes de trabajo).....	47
Figura 19. Avances del Mall del Sur (Frente 3 y 4).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Avances del Mall del Sur (Frente 3 y 4).	52
Figura 21. Organigrama del proyecto.....	48
Figura 22. Curva S Global (contractual y con ampliación de Plazo).	53
Figura 23. Curva S de Estructuras y de Arquitectura (en función a la nueva ampliación de plazo).	54
Figura 24. Evolución del PPC semanal (corte hasta la semana 25).	61

Figura 25. Análisis de causas de incumplimiento (corte hasta semana 25).	61
Figura 26. Evolución del PPC semanal (corte hasta la semana 55).	62
Figura 27. Evaluación de las causas de incumplimiento (corte hasta semana 55).	63
Figura 28. Cuantificación de RFIs entre las diferentes especialidades.	58
Figura 29. Evolución de RFIs de la especialidad Estructuras hasta la semana 60.	58
Figura 30. Gráfica de las órdenes de cambio por especialidad hasta la semana 60.	60
Figura 31. Imagen referencial del proyecto.	68
Figura 32. Ubicación del proyecto.	68
Figura 33. Layout del proyecto.	69
Figura 34. Ejecución de la Etapa I del proyecto (Muros Pantalla).	71
Figura 35. Frentes de trabajo (2 frentes de trabajo).	72
Figura 36. Estructura organizacional del proyecto.	73
Figura 37. Curva S Global (Contractual en azul vs Real en rojo).	76
Figura 38. Evolución del PPC para los 2 Frentes de Trabajo (8 semanas).	77
Figura 39. Análisis de incumplimiento del Frente 1 (4 semanas).	78
Figura 40. Análisis de incumplimiento del Frente 2 (4 semanas).	78
Figura 41. Evolución del PPC (implementación de 8 semanas).	88
Figura 42. Evaluación del PPC vs Horas Hombre.	89
Figura 43. Análisis de las causas de incumplimiento (en las 8 semanas).	90
Figura 44. Ejecución del Centro Comercial “Mega Plaza Villa el Salvador II”.	86
Figura 45. Encuesta a miembros del staff acerca del conocimiento de conceptos.	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 46. Encuesta a miembros del staff acerca de las principales restricciones identificadas en obra.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 47. Distribución de Torres Grúas.	67
Figura 48. Encuesta a miembros del staff acerca del conocimiento de conceptos.	79
Figura 49. Encuesta a miembros del staff acerca de las principales restricciones identificadas en obra.	81
Figura 50. Encuesta a miembros del staff acerca del conocimiento de conceptos.	91
Figura 51. Encuesta a miembros del staff acerca de las principales restricciones identificadas en obra.	93
Figura 52. Modelamiento 3D de la Etapa II del proyecto en Revit.	117
Figura 53. Detección de Interferencias entre Estructura y HVAC en Navisworks.	118

Figura 54. Detección de Interferencias entre Estructura y HVAC en Navisworks.	119
Figura 55. Sectorización realizada en Revit (Vista en Planta).	119
<i>Figura 56.</i> Sectorización realizada en Revit (Vista en 3D).....	120
Figura 57. Secuencia constructiva en Navisworks(Excavación).....	121
Figura 58. Secuencia constructiva en Navisworks(Cimentación).	122
Figura 59. Secuencia constructiva en Navisworks(Cimentación y la especialidad de HVAC).	122

INTRODUCCIÓN

El estudio de la productividad empezó desde hace más de 100 años enfocándose principalmente en la mejora del desempeño en las industrias manufactureras. El primer precursor de esos estudios fue Frederick Wislow Taylor (1856-1915). A partir de ese momento, se empezó a estudiar nuevas herramientas que facilitarían la eficiencia de procesos para lograr la mejora de la productividad (Ghio, 2001). De este modo, se empezó a usar diferentes enfoques, como lo fue el modelo de transformación de procesos, el modelo de flujo de procesos y el modelo de generación de valor en la industria de manufactura.

Sin embargo, el uso del *Lean Production (Lean Manufacturing)* fue el que logró mejorar de forma notable la productividad en diferentes industrias. Y, debido a sus buenos resultados, se empezó a aplicar todos esos conocimientos en la industria de la construcción denominándose como *Lean Construction* a partir de 1992.

Es necesario aclarar, que para implementar el *Lean Construction* no hay un orden o un conjunto de reglas definidas, ya que es un concepto que sigue en continua evolución. Por tanto, su aplicación depende de las necesidades y objetivos, de cada organización y de cada proyecto (Pons, 2014).

La filosofía del *Lean Construction* consiste en identificar y reducir las pérdidas (mediante la mejora de flujos y procesos) con la finalidad de generar el máximo valor para el cliente final. No obstante, a diferencia de la industria manufacturera, la industria de la construcción presenta el inconveniente de tener un mayor grado de variabilidad e incertidumbre. Debido a ello, es que se profundizó en el estudio de herramientas que facilitarían el control y mejoramiento de proyectos de construcción. De este modo, se crearon nuevas herramientas, siendo uno de los más importantes el *Last Planner System (LPS)* dentro de la industria de la construcción.

Teniendo como un buen precedente el uso del *Last Planner System* en diversas empresas alrededor del mundo, la incursión de esta metodología en el mercado peruano se ha venido implementando de manera gradual. Primero, se comenzó a implementar en el Perú a partir de la década del 2000, pero, debido a que no tuvo un gran apogeo, solo pocas empresas (principalmente grandes o extranjeras), como por ejemplo el grupo Graña y Montero,

Odebretch y Cosapi lograron implementar el LPS a nivel organizacional¹. A causa de la falta de difusión de las prácticas *Lean*, se funda en 2011 el *capítulo peruano* de *Lean Construction Institute* (LCI Perú)² con seis empresas peruanas³, conjuntamente con la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con la finalidad de que se empiece a compartir conocimientos y se difunda la aplicación *Lean* en el Perú. Posteriormente, se realiza por primera vez en el Perú, el IGLC⁴ en el 2011, con el propósito de que ponentes (Ballard, Howell, etc.) con conocimientos avanzados en el *Lean Construction*, aclaren los fundamentos teóricos del *Lean Construction* y compartan sus experiencias (Ruiz, 2017).

De esta manera, recién a partir del 2011, el uso del *Lean Construction* comienza a entrar con mayor fuerza en el mercado peruano, donde las empresas de tamaño intermedio empiezan a incursionar en el uso de las herramientas que ofrece el *Lean Construction*, como el LPS. Con el propósito de seguir impulsando el uso de *Lean* y que los profesionales de la construcción utilicen estas prácticas dentro de sus empresas, es que a partir del 2012, se comienzan a realizar congresos nacionales de *Lean Construction* en Perú (Guzmán, 2016).

El uso de las prácticas *Lean* como el *Last Planner System* aún sigue en proceso de difusión, y para muchos investigadores esto sigue siendo insuficiente en nuestro país, ya que muchas empresas implementan el LPS de forma inadecuada porque no toman en cuenta la teoría de la filosofía *Lean* en lo referente a liderazgo (Izquierdo, 2017) y al trabajo colaborativo, etc. (Soto, 2017). Adicionalmente, se tiene el problema de que algunas empresas solo logran implementar algunos componentes del sistema *Last Planner*, y al no estar el sistema completo, junto con la filosofía que lo sustenta (*Lean Construction*), no se obtienen los resultados que se podrían conseguir si estuviera totalmente implementado (Porwal, 2010). Por otra parte, sigue habiendo una gran cantidad de proyectos que poseen problemas de productividad, problemas en el cumplimiento de cronogramas y en el mal manejo de recursos debido a que se continúa usando el enfoque tradicional basado en el modelo de transformación.

¹ Nivel organizacional: Se refiere a implementar, para que las prácticas (de *Lean Construction* como el uso del LPS) formen parte de la cultura de trabajo, de la organización.

² LCI Perú: organización peruana que cuenta con el aval y respaldo del LCI (EEUU). (Orihuela, 2011: 3)

³ 6 empresas peruanas: Graña y Montero, Coinsa, Copracsa, Edifica, Marca y Motiva. (Orihuela, 2011: 3)

⁴ IGLC: Organismo que propone congresos a nivel internacional para difundir la filosofía de *Lean Construction* en diferentes países, anualmente. (www.iglc.net)

Sin embargo, lo dicho anteriormente no son los únicos inconvenientes, sino que actualmente se tiene que lidiar cada vez más con un mercado competitivo (tanto en el Perú como a nivel mundial) donde los clientes (propietarios) quieren que los proyectos se entreguen en un menor tiempo. Por ese motivo, muchos propietarios optan por hacer contratos bajo la modalidad de *Fast-track* (Gurtel & Palumbo, 2015). Además, los mayores retos en la construcción están presentes en proyectos de gran complejidad.

De esta forma, para que las empresas constructoras generen una buena imagen en el mercado, se necesita satisfacer las exigencias de los clientes. Para ello, se requiere el uso de nuevas estrategias para incrementar la productividad en los proyectos de construcción y enfrentar los problemas que se puedan presentar en proyectos de mayor complejidad.

Por lo expuesto, la presente tesis, no solamente se enfoca en analizar las barreras en el uso del del *Last Planner System*, sino que se propone integrarlo con la tecnología BIM, con la finalidad de obtener mejores resultados y superar las barreras que se tienen tanto en el uso del BIM, en el uso del LPS y que se tiene en proyectos complejos (como lo son los centros comerciales) que se ejecutan bajo la modalidad *Fast-track*

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, el *Fast-track*, ha sido implementado a nivel mundial en diferentes industrias. La razón de ello, es porque el mundo cada vez más ha demandado que los proyectos se entreguen con mucha más rapidez, con tal de acortar los plazos de entrega (Alhomadi, Dehghan, & Ruwanpura, 2011).

En cuanto a lo que se refiere a la aplicabilidad del *Fast-track* dentro de la industria de la construcción, se puede afirmar que es una modalidad que se tiende a utilizar frecuentemente en la etapa de postcrisis de un país. Un ejemplo de este fenómeno se pudo ver en la recesión ocurrida en EEUU en 2008, donde muchos propietarios dejaron en espera la ejecución de importantes proyectos, y que luego de superar la crisis (a partir del año 2010), los inversionistas demandaron que sus proyectos (ya sean nuevos o paralizados) fuesen culminados en un periodo corto de tiempo mediante el uso del *Fast-track*, con tal de ponerse al día y recuperar el tiempo perdido. Como es sabido, a los inversionistas lo que más les importa es obtener el retorno de su inversión, y para lograr ello, necesitan que sus establecimientos comiencen a operar lo más temprano posible para obtener los ingresos y ponerse por delante de la competencia (Gurtel & Palumbo, 2015).

Al igual como sucedió en la crisis de EE.UU., es probable que en el Perú ocurra el mismo patrón de conducta. A finales del 2016, el Perú se encontraba como uno de los pocos países latinoamericanos cuyo crecimiento económico había superado el promedio de la región (sobre todo se había logrado superar las expectativas de los analistas consultados por Reuters). Para el año 2017 (con la llegada del nuevo gobierno de Pedro Pablo Kuczynski), se pronosticaba que habría un mayor dinamismo del sector comercio debido a la recuperación de la inversión privada, y a la confianza del consumidor peruano por las expectativas de empleo, lo cual generaría un aumento del consumo interno. Sin embargo, esas expectativas se desvanecieron cuando la época de crisis empezó a golpear a nuestro país a partir del 2017 con el fenómeno del niño, y se extendió hasta el día de hoy, debido a los problemas de corrupción de Lava Jato, a los conflictos internos entre el congreso con el ejecutivo, y a los escándalos generados por el club de la construcción. Esto ha impactado fuertemente en la población y generó mucha desconfianza en los inversionistas. De este modo, se redujo el consumo interno por parte de la población, mientras que los inversionistas han paralizado muchas inversiones por el panorama vivido en nuestro país. Recién a partir

de mediados del 2018 (se empezó a recuperar la economía), algunas empresas están dando los primeros pasos con tal de reiniciar las inversiones en el país, y por tal motivo, se espera que muchos proyectos sean ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* debido a la presión de muchos inversionistas. De esta forma, se tiene las expectativas de que exista mayor promoción de la inversión en los siguientes años, sobre todo en el sector *Retail*.

La razón por la que tiene una alta demanda el uso del *Fast-track* en proyectos de centros comerciales, es porque los propietarios quieren acortar los plazos de entrega, o porque aún no tienen una idea definida de cómo quieren que sus proyectos sean culminados, o porque quieren tener la opción de modificar las áreas de los establecimientos antes de culminar el proyecto (esto porque algunas veces, sucede que los clientes quieren modificar la distribución de espacios con tal de animarse a comprar o alquilar ciertos establecimientos). Otras veces, es porque los proyectos se inician con demoras por permisos municipales.

Sin embargo, el problema de usar el *Fast-track* en este tipo de proyectos, es que incrementa exponencialmente la incertidumbre y variabilidad durante la fase de ejecución a lo largo de la etapa de estructuras, en la ciudad de Lima.

La causa de que se amplifique la incertidumbre y la variabilidad, es porque los centros comerciales por su naturaleza, son proyectos complejos y por el hecho de usar la modalidad de *Fast-track*. Adicionalmente, el no contar con un sistema adecuado de planificación y control (referencia a las barreras en el uso del LPS) hace que sea difícil lidiar con este problema presentado.

Las consecuencias de tener una alta incertidumbre y variabilidad en este tipo de proyectos, es que no se logran hacer planes confiables (al tener un sistema deficiente de planificación y control), lo cual hace que los flujos de trabajo se interrumpan constantemente y que al final se genere una deficiente productividad durante la etapa de ejecución en las diferentes áreas de trabajo del proyecto. Esto trae como consecuencias sobrecostos, incumplimiento de los plazos establecidos, problemas de calidad e incremento de trabajos rehechos. De este modo, el uso de *Fast-track* en proyectos complejos trae muchos desafíos, y para el equipo de proyecto, es como caminar con los ojos vendados en una ruta lleno de obstáculos.

Por lo tanto, en esta tesis, se propone disminuir la incertidumbre y la variabilidad mediante el uso integrado y sinérgico de la metodología BIM-LPS, con la finalidad de generar planes

confiables y tener un flujo de trabajo continuo en un proyecto de un centro comercial ejecutado bajo la modalidad de *Fast-track*, y con ello, cuantificar los beneficios.

1.2 Justificación

La novedad de esta investigación, es que tiene la finalidad de identificar las falencias presentes en este tipo de proyectos complejos. Adicionalmente, se va a hacer uso de la metodología BIM para cuantificar las ventajas en cuanto a la reducción de la incertidumbre, y mostrar los procesos claves para ejecutar el control y la programación continua del proyecto.

La relevancia de esta investigación se basa en cuatro principales aspectos. En primer lugar, el uso del *Fast-track* tiene mucha demanda en el mundo, porque actualmente el mercado se ha vuelto mucho más competitivo y se exige cada vez más que los proyectos de construcción se entreguen lo más rápido posible, para satisfacer la exigencia de muchos clientes (las empresas deben proteger sus utilidades pero a la vez generar confianza en los clientes).

En segundo lugar, es necesario aclarar que se tiene previsto que el sector *Retail* del Perú, continúe creciendo cada vez más, porque este sector aún sigue siendo bajo en comparación con otros países de la región, según lo que indica José Cabanillas, presidente del Gremio de *Retail* y Distribución de la Cámara de Comercio de Lima (CCL). Además, según el gremio empresarial, se informó que entre el periodo 2016 - 2018 ingresarían al país 16 nuevos centros comerciales (CC), cuya inversión para la construcción de estos nuevos CC ascendería a 697 millones de dólares, y se esperaba que el Perú tenga un total de 103 malls activos en todo el país (Asociación de Centros Comerciales y de Entretenimiento del Perú [ACCEP], 2017). Sin embargo, debido a la crisis generada, muchas inversiones se estancaron y otras quedaron pendientes para ejecutar (esto incluyendo los proyectos de centros comerciales). Por este motivo, es que algunos inversionistas a partir del 2018, recién empezaron a ejecutar muchos proyectos que estuvieron en espera pese a la situación actual del país. Ahora, la meta de muchos inversionistas es acelerar la entrega de muchos proyectos, con la finalidad de obtener un retorno rápido de inversión.

En tercer lugar, es importante saber gestionar la incertidumbre y variabilidad en proyectos de construcción. Esto debido a que, a diferencia de la industria manufacturera, la industria de la construcción presenta mayor grado de variabilidad e incertidumbre. A pesar de que el uso del sistema del último planificador (herramienta *Lean* que facilita el planeamiento,

control y seguimientos de proyectos), permita reducir la incertidumbre y variabilidad en proyectos convencionales bajo la modalidad tradicional (Diseño-Licitación-Construcción), no es lo suficientemente efectivo para hacer frente a proyectos complejos realizados por *Fast-track* debido a ciertas limitantes (barreras) que se toman en cuenta en esta tesis. Esto, sumado a que en el Perú, su uso aún no esté adecuadamente difundido, hace que muchos trabajadores e ingenieros no lo tomen como una herramienta de alta importancia y lo utilicen de forma inadecuada, como un formato de protocolo a llenar sin tomar mucho en consideración lo importante que son las promesas de cada área de trabajo y de hacer planes realistas.

En cuarto lugar, el *Fast-track* es una modalidad que no solamente se utiliza para centros comerciales, sino para diferentes tipos de proyectos (como hospitales, oficinas, etc.). Por lo que esta investigación, también puede ser de utilidad para estos proyectos en el futuro.

El valor teórico de esta investigación, se centra en cuantificar las ventajas del uso de procesos BIM en este tipo de proyectos.

El beneficio principal de esta tesis, es que se identifique qué procesos BIM son relevantes para disminuir la incertidumbre en un proyecto y su impacto en cada área del proyecto.

Los beneficiarios serán los profesionales pertenecientes al área de productividad y a las áreas de soporte. Es decir, el equipo de proyecto.

El valor metodológico es mostrar nuevos procesos basados en la metodología BIM para el planeamiento y control de avance de obra. Un ejemplo, de ello, es formular el proceso para automatizar los *metrados* y facilitar el control de obra, ya que los proyectos ejecutados bajo la modalidad *Fast-track*, tienden a ser cambiantes, y por lo tanto, se requiere usar procesos que actualicen rápidamente la situación de un proyecto.

Tabla 1

Cantidad de centros comerciales que actualmente operan en Perú (2017)

	OPERADORES	MARCAS	Inicio de operaciones	Cantidad de Centros Comerciales		TOTAL
				En Lima	En Regiones	
	Administradora Jockey Plaza Shopping Center (GE: "Altas Cumbres" - CHILE)	Jockey Plaza Shopping Center.	1997	1	-	1
	Cencosud Shopping Center (GE: "Cencosud" - CHILE)	Plaza Lima Sur, Arequipa Center y Balta Shopping.	2005	2	1	3
	Centenario <i>Retail</i> SAC (GE: "Centenario")	Minka, Plaza del Sol y Plaza de la Luna.	1999	1	4	5
	Corporación E. Wong SAC (PERÚ) Inmuebles Panamericana S.A. (GE: Alianza entre el Grupo "Parque Arauco" y el Grupo "Negocios e inmuebles S.A." del Grupo Wiese)	Plaza Norte y Mall del Sur MegaPlaza y MegaPlaza Express.	2009 2002	2 4	- 7	2 11
	Inversiones Castelar (GE: "Ibárcena" - PERÚ)	Boulevard de Asia	1998	1	-	1
ACCEP ⁵	Mall Aventura S.A. Mall Plaza (GE: "Aventura Plaza S.A." perteneciente a Falabella y Ripley)	Mall Aventura Mall Plaza	2007 2016	1 1	1 2	2 3
	Open Plaza (GE: "Falabella Perú" - CHILE)	Open Plaza	2004	4	7	11
	Parque Arauco (GE: "Parque Arauco" - CHILE)	Larcomar, Parque Lambramani, El Quinde, InOutlet y Viamix.	2010	6	3	9
	Plaza San Miguel (GE: "Pontificia Universidad Católica del Perú")	Plaza San Miguel	1976	1	-	1
	Real Plaza (GE: "Intercorp"- PERÚ)	Real Plaza	2005	8	12	20
	Urbanova (GE: "Breca")	La Rambla (Malls) – Paso (Strip Malls) y Molina Plaza	2007	7	-	7
	Viva GYM (GE: "Graña y Montero"- PERÚ)	Agustino Plaza	2011	1	-	1
				40	37	77
OTROS	Penta Realty Group		2006*	2	1	3
	Centro Comercial Caminos del Inca		1980*	1	-	1
	El Polo		1996*	1	-	1
	InRetail Perú Corp			1	2	3
				5	3	8
				45	40	85

Nota. GE = Grupo Empresarial.

⁵ ACCEP: Para el año 2017, se tiene que 14 son los operadores de Centros comerciales que pertenecen a la Asociación de Centros Comerciales y de Entretenimiento del Perú (ACCEP)

1.3 Formulación de hipótesis

El uso integrado y sinérgico de la metodología BIM-LPS (Last Planner System) permitiría generar grandes ahorros de dinero mediante la disminución de la incertidumbre y variabilidad (dentro del flujo de trabajo/valor), en el proyecto C.C. Plaza Surco ejecutado bajo la modalidad *Fast-track* durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras.

1.4 Objetivo General

Determinar el impacto en el costo, que se lograría al disminuir la incertidumbre y variabilidad (dentro del flujo de trabajo/valor) mediante el uso sinérgico e integrado de las metodologías BIM-LPS, aplicado al proyecto C.C Plaza Surco ejecutado bajo la modalidad *Fast-track* (durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras).

1.5 Objetivos específicos

OE. 1. Identificar los factores principales que producen el aumento de la incertidumbre y variabilidad en proyectos de centros comerciales ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras.

OE. 2. Identificar las barreras que se presentan al usar la metodología del Last Planner System (sistema del último planificador) que impiden reducir la incertidumbre y variabilidad en este tipo de proyectos (centros comerciales ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras).

OE. 3. Identificar las barreras que se presentan al usar la metodología BIM que impiden reducir la incertidumbre y variabilidad en este tipo de proyectos (centros comerciales ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras).

OE. 4. Elaborar una guía que permita visualizar qué procesos pertenecientes a la metodología BIM y a la metodología del Last Planner System pueden ser útiles para superar esas dificultades (barreras) y deficiencias encontradas, con tal de lograr disminuir la incertidumbre y variabilidad en este tipo de proyectos (centros comerciales ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras).

OE. 5. Cuantificar las ventajas económicas al disminuir la incertidumbre y variabilidad, mediante la aplicación integrada y sinérgica de la metodología BIM - Last Planner System en el proyecto C.C Plaza Surco ejecutado bajo la modalidad *Fast-track* durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras.

1.2 Marco metodológico

1.2.1 Población y muestra

- Población: centros comerciales ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* en la ciudad de Lima (donde se esté utilizando la metodología del LPS).
- Muestra: *tres centros comerciales* ejecutados bajo la modalidad *Fast-track* de la ciudad de Lima (donde se esté utilizando la metodología del LPS).

1.2.2 Procedimiento metodológico / método de investigación

Identificar las deficiencias que incrementan la incertidumbre y variabilidad, al ejecutar proyectos de centros comerciales bajo la modalidad *Fast-track*.

- Realizar las encuestas al equipo de proyecto.
- Obtener la información de cada proyecto con respecto a su productividad y a la incertidumbre en cada área de trabajo.
- Sacar conclusiones en base a las falencias encontradas en este tipo de proyectos

Identificar qué procedimientos ejecutados bajo la metodología BIM, pueden ser útiles para superar esas falencias encontradas.

- Hacer un cuadro comparativo, de las falencias encontradas, e identificar los procesos necesarios correspondientes a la metodología BIM, que sirvan como posibles soluciones para reducir la incertidumbre y variabilidad en proyectos ejecutados bajo la modalidad de *Fast-track*.
- Elaborar una metodología en base al uso del BIM que muestre los procesos necesarios para reducir la incertidumbre en proyectos ejecutados bajo la modalidad de *Fast-track*.

Identificar los Beneficios del uso del BIM al aplicar al proyecto C.C. Plaza Surco con tal de disminuir la incertidumbre.

- Obtener la información del proyecto en cuanto a las áreas de soporte y de productividad.

- Aplicar el uso del BIM en el proyecto CC. Plaza Surco
- Cuantificar las ventajas en cuanto al uso de esta metodología integrada.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes (estado del arte)

2.1.1 Antecedentes de la productividad en la construcción en el Perú

En el Perú, el primer estudio formal de los niveles de productividad en obras se llevó a cabo en los años de 1999, la cual fue dirigida por el Dr. Virgilio Ghio (Ghio, 2001). La muestra analizada fue de 50 obras en la ciudad de Lima, pertenecientes a empresas constructoras formales empeñadas mayormente en el área de las edificaciones. Los resultados fueron muy preocupantes, sobre todo porque se basó en proyectos de construcción formal, es decir, en aquellos proyectos que deberían de representar los mejores resultados en productividad a nivel de nuestro país. Los Trabajos productivos (TP) salieron muy por debajo de los estándares internacionales teniendo un promedio de 28 % y donde el mayor TP registrado de una obra de Lima fue de 37 %, resultando muy por debajo del TP promedio de Chile que era de 47 %.

2.1.2 Antecedentes del *Last Planner* en el mundo

Después de que Ballard propusiera el *Last Planner System* en la conferencia del IGLC en 1992, este nuevo sistema se empezó a implementarse de alguna manera en proyectos pilotos de EEUU. Sin embargo, a raíz de la publicación de *Shielding Production* de Ballard y Howell en 1998, se genera una amplia difusión alrededor del mundo a comienzos de los años 2000 (Porwal, 2010).

De esta forma, el sistema *Last Planner* se fue implementando sistemáticamente en un número considerable de proyectos y empresas en diferentes países, sobre todo en EE.UU., Reino Unido, Dinamarca, Finlandia, Indonesia, Australia, Venezuela, Brasil, Chile, Ecuador y Perú (Ballard & Howell, 2003). Los resultados fueron muy beneficiosos en los aspectos de costo, productividad, tiempo, colaboración y seguridad. Sin embargo, a pesar de los beneficios, su implementación no fue sencilla (Koskenvesa and Koskela, 2012).

2.1.3 Antecedentes del *Last Planner* en el Perú

Uno de los casos más remarcables sucedió en la empresa GYM donde el uso de herramientas *Lean* como el *Last Planner System* (LPS) pudo incrementar la productividad y reducir las

pérdidas, generando buenos resultados en el año 2002, con un 90 % de incremento de ganancias en las operaciones en contrataciones directas (Ballard & Howell, 2003).

Sin embargo, el uso del LPS en el Perú ha seguido siendo débil a comparación de otros países Latinoamericanos, como se puede visualizar en la Figura 1. Desde la primera incursión del LPS en el Perú (año 2000), hasta el año 2005 cuando se realizó la investigación hecha por Morales y Galeas, se obtuvo un TP promedio de 30 % en base a la medición de 26 obras formales de viviendas en Lima Metropolitana (Morales y Galeas, 2006). De esta forma, haciendo una comparación entre el trabajo realizado por Ghio (año 2000), la productividad en Lima Metropolitana aumentó solo en promedio 2 % en 5 años.⁶ La razón principal de ello, se debe a que en esas obras (2005), los encargados de la planificación eran únicamente los residentes (40 % de los casos) y que los maestros de obra (50 %) se encargaban de distribuir los recursos de mano de obra, según su propia experiencia. Además, en la mayoría de obras (75 %), se transmitía la información de planificación de forma verbal sin ningún uso de documentos escritos (Morales y Galeas, 2006). De esta forma, estas cifras indican que las obras, continuaban usando una gestión tradicional de producción (y por lo tanto, no utilizaban prácticas *Lean* como el LPS).

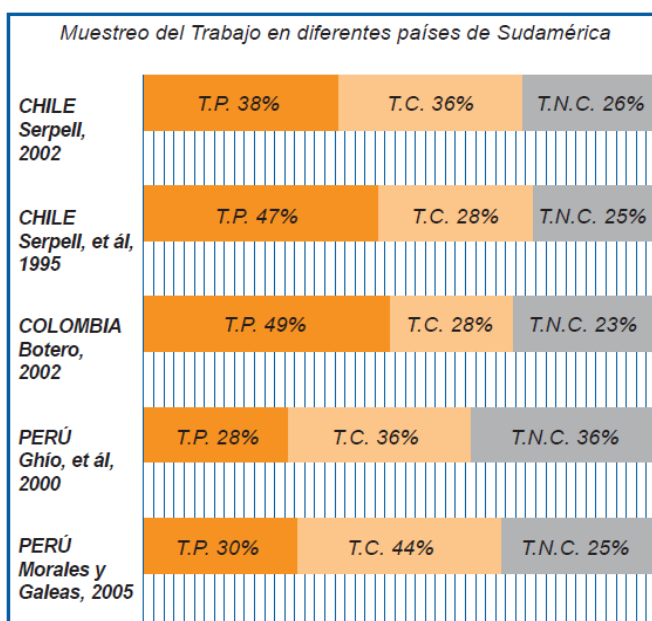


Figura 1. Comparación del porcentaje correspondiente a los tipos de trabajo en la construcción en Sudamérica.

⁶ Además, se encontró que cerca de la mitad de las obras, no utilizaban alternativas de industrialización (prefabricación; y mecanización: uso limitado de maquinaria) que ofrecía el mercado. Y que el 35 % de obras, usaba el winche como medio de transporte de materiales y un 30 %, utilizaba el transporte manual (Morales y Galeas, 2006: 77)

Tomado de Orihuela, 2011

2.1.4 Antecedentes del BIM en el Mundo

Debido a las ineficiencias que han existido en la industria AEC (*Architecture, Engineering and Construction Industry*), e inspirado en otras industrias que lograron duplicar su nivel de productividad en los últimos 50 años mediante el uso de softwares (que facilitaban el control de la información y la elaboración de procesos iterativos de diseño), se creó por primera vez, el BIM como concepto en la década de 1970 (*Building Description Systems*⁷). La primera implementación de este concepto se hizo mediante el uso de modelos virtuales en ArchiCAD (primer programa CAD capaz de crear tanto dibujos en 2D como en 3D) realizado por la empresa de Graphisoft, el cual debutó en 1987. A partir de entonces, muchas compañías de software como Autodesk o Bentley, desarrollaron alternativas de software BIM con la finalidad de también usarlo con fines de diseño (Panaitescu, 2014).

Sin embargo, el concepto moderno como actualmente se conoce al BIM, se definió en 1992 en un artículo realizado por Van Nederveen y Tolman. Desde ese entonces, es que la industria de la construcción acabó por adoptar ese término de manera generalizada. Aproximadamente, a partir del 2003, es que la industria de la construcción prácticamente empezó a implementar BIM en sus proyectos (Panaitescu, 2014).

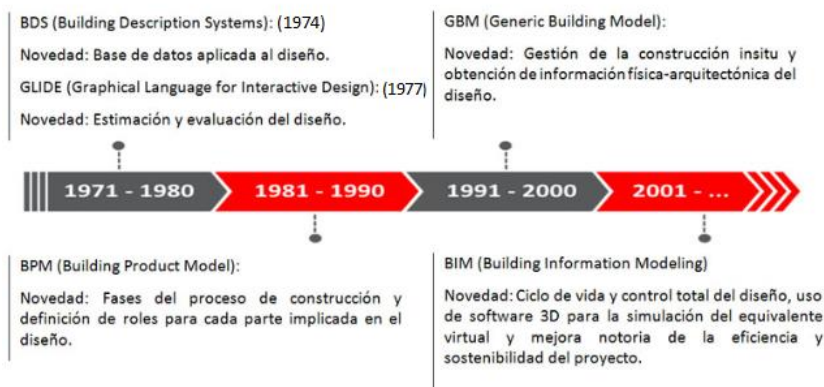


Figura 2. Evolución de la tecnología BIM.

Tomado de Moreno y Sánchez, 2016

⁷ Primer software que permitía describir elementos, con la finalidad de agregar o quitar elementos de un modelo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Incertidumbre versus Variabilidad

Estos conceptos tienen relación entre sí, pero poseen significados diferentes. Es importante diferenciarlos, ya que muchos profesionales de diferentes industrias cometen el error de usar estos conceptos como si fueran sinónimos.

2.2.1.1 Incertidumbre (*uncertainty*):

Es cuando no se está totalmente seguro si una afirmación (evento) es verdadero o falso (Begg, Bratvold, & Welsh, 2014). Al saber que una afirmación es verdadero o falsa, entonces se está 100 % seguros de ello (*certain*). Si no se sabe la respuesta, entonces significa que se está inseguro (“incierto”). Algunos ejemplos se muestran a continuación:

- El superintendente no está seguro de los trabajos que se realizarán en la siguiente semana.
- No saber cuántos m³ de concreto se va a vaciar el día de mañana debido, a que se va a ausentar 1 trabajador.

En la vida real, se puede tener la respuesta a algunas afirmaciones (dependiendo del contexto y de la persona adecuada). Sin embargo, cuando se trata de datos empíricos, se tiene siempre incertidumbre porque esa es su naturaleza, inclusive si el grado de incertidumbre es muy pequeño o irrelevante (Begg, Bratvold, & Welsh, 2014). En ese caso, se establecen valores que pueden considerarse “aceptables” (márgenes). De esta forma, el nivel de incertidumbre se cuantifica usando probabilidades, los cuales son obtenidos mediante la recolección de información y evidencia.

2.2.1.2 Variabilidad

Es cuando se tienen diferentes resultados de una cuantificación (Begg, Bratvold, & Welsh, 2014), es decir, variación del mismo tipo de dato, debido a factores de ubicación, de tiempo, de instancias. La variabilidad es algo característico del mundo real: heterogeneidad inherente que hace que un conjunto de valores varíe dentro de un rango (United States Environmental Protection Agency, s.f.). Algunos ejemplos se muestran a continuación:

- Aumentó la productividad de la Mano de obra en un día, debido a la motivación que se le dio a los trabajadores.
- Diariamente varía el vaciado de concreto en obra, entre 4 m³ y 5 m³.

La variación se cuantifica usando estadísticas, las cuales son obtenidas por medio de mediciones u observaciones (datos).

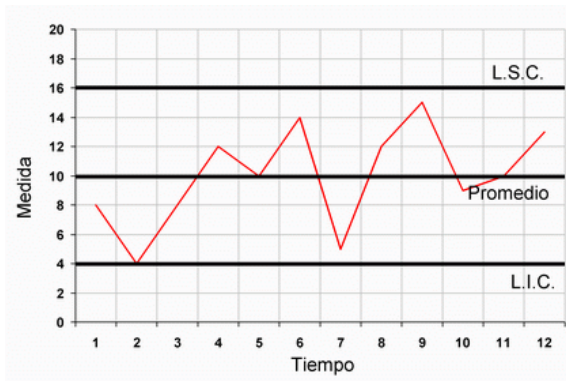


Figura 3. Ejemplo de variabilidad.
Tomado de Caballero, 2010

En muchos casos, el impacto de la incertidumbre puede ser mayor al impacto de la variabilidad. Por ejemplo, “no saber cuándo se ejecutará el trabajo” (incertidumbre) > “realizar el trabajo con un retraso o adelanto de 1 día (variación ± 1 día) debido a que ya se contrató a un subcontratista”.

2.2.2 La naturaleza de la industria de la construcción

A lo largo de muchas décadas atrás, la productividad de otras industrias se ha podido desarrollar y crecer ampliamente. Sin embargo, la industria de la construcción (AEC) se quedó atrás.

Tal como muestra la Figura 4, la industria AEC tiene una de los más bajos índices de productividad en el mercado en EEUU. La razón principal de ello, se debe a las peculiaridades de su naturaleza, la cual la hace diferente a otras industrias (los factores como las interrupciones inesperadas, el clima, la congestión, la falta de disponibilidad de mano de obra, el cumplimiento de regulaciones, etc., generan grandes pérdidas de productividad), ha impedido que la industria AEC se pueda consolidarse (The Economist, 2017).

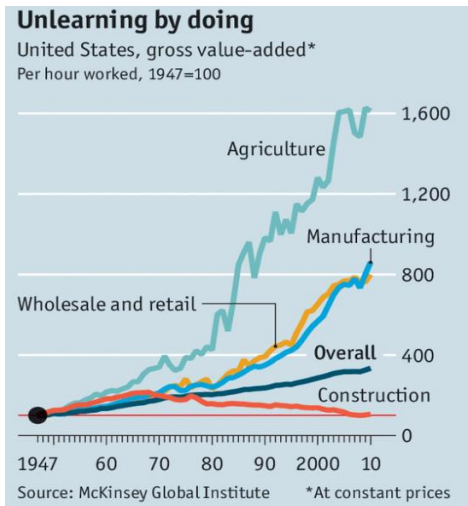


Figura 4. Evolución del nivel de productividad anualmente (valor agregado por hora trabajada) entre diferentes industrias de EEUU entre 1947 al 2010.

Tomado de The Economist, 2017

Y lo peor es que la Figura 4 muestra que la productividad de la industria AEC ha estado disminuyendo progresivamente en las recientes décadas, debido a que principalmente muchos procesos tradicionales permanecen sin cambios y ya no son compatibles a los tiempos modernos (Zhang, 2012). Otras causas indirectas de ello, se deben a una menor demanda de inversionistas en la construcción, sobre todo en las temporadas de recesión y debido a que esta industria tiene los márgenes de ganancia más delgados que cualquier otra industria: esto causa a que cada *stakeholder* tienda en maximizar sus propias ganancias y no colaborar con el proyecto (The Economist, 2017).

La naturaleza de la industria de la construcción

Tal como se acaba de mencionar, uno de los principales problemas por la que la industria AEC se quedó estancada es debido a su naturaleza. A diferencia de la industria de manufactura, donde la producción es más predecible y controlable, la industria de la construcción presenta estas tres peculiaridades (Koskela, 2000):

1. *One-of-a-kind production* (OKP). También llamado como customización en masa. Es un enfoque de producción que se usa también dentro de la industria de manufactura, pero que se caracteriza por producir productos customizados basados en los requerimientos individuales de cada cliente, y a la vez, manteniendo la calidad y eficiencia de una producción en masa. Es decir, las empresas deben tener la habilidad de reconfigurarse y adaptar su sistema rápidamente al cambio. Este tipo

de empresas trabajan en mercados de productos personalizados que demandan una continua interacción con el cliente. Para su implementación, se requiere principalmente, el uso de tecnologías y recursos. Y para desarrollar este tipo de producción, se puede tomar en cuenta lo siguiente (Xue, s.f.):

- Se debe desarrollar métodos para identificar los requisitos del cliente y convertirlos en especificaciones de ingeniería.
- Implementar un sistema para el modelado de diseño (configuraciones de diseño y parámetros de diseño) y realizar la evaluación de diseño (costo, rendimiento) con la finalidad de obtener un diseño óptimo. Para ello, se puede hacer uso de programas ICT para programar los parámetros identificando aquellas familias genéricas y aquellas otras que van a ser customizadas.
- Implementar métodos de calidad.
- Implementar métodos de planificación, programación y control para este tipo de producción. Para ello, se puede hacer un cronograma de producción adaptativo. Y para el control se puede usar los status de operación (no listo, listo, en proceso y completado)
- Desarrollar métodos de predicción de requisitos del mercado (futuros clientes), para la fabricación de productos customizados (en base a las ventas hechas).

Ahora, hablando dentro de la industria de la construcción, se sabe que no hay una única configuración para realizar las edificaciones. Cada construcción es diferente (cada proyecto tiene una customización única) debido a diferentes necesidades y prioridades de cada cliente, a los requerimientos del lugar o de los alrededores, y debido a los diferentes puntos de vista de los diseñadores para encontrar la mejor solución. Además, la diferencia que se tiene es que en la industria manufacturera, los productos son desarrollados rápidamente por lo que el cliente siempre debe estar seguro de lo que desea pedir. En cambio, en la industria de la construcción, muchas veces el cliente cambia de opinión durante la ejecución del proyecto, haciendo que los pedidos del cliente contengan cierto grado de incertidumbre (Koskela, 2000).

Sin embargo, hay que tener en claro que la customización afecta solo en ciertos aspectos a los proyectos de construcción: los materiales, la mano de obra, los componentes en muchas ocasiones son las mismas o similares. Desde el punto de vista de los contratistas y diseñadores, hay siempre procesos que son repetitivos y continuos. A diferencia de otras

industrias, como la industria de programación de softwares, la industria de construcción no presenta un alto grado de customización (Koskela, 2000).

2. *Site production*. En la industria de la construcción, el proceso de producción normalmente se lleva a cabo justamente en el sitio final donde se va a ubicar el producto. Esta peculiaridad también es compartida con otras industrias como la minería y la agricultura. A continuación, se presentan las características de la “producción in situ”, las cuales son las que agregan incertidumbre y complejidad en la industria de la construcción, a diferencia del tipo de producción estacionaria usada en la industria manufacturera (Koskela, 2000):
 - Se utiliza el sitio como un recurso de entrada (input) para la producción.
 - Hay poca protección en el sistema de producción, ya que son proclives a las interrupciones.
 - Los recursos de mano de obra y los materiales locales, muchas veces deben usarse. Además, las condiciones locales como la geología del sitio y otros factores ambientales agregan incertidumbre.
 - La infraestructura de producción (maquinas, mano de obra, etc.) debe crearse en el sitio mediante la planificación, adquisición y la colocación.
 - Las estaciones de trabajo se deben movilizar alrededor del producto. Para ello, es necesario coordinar los espacios de trabajo para que las estaciones de trabajo puedan producir.
3. *Temporary organization*. A esta peculiaridad también se le conoce como el causante de la fragmentación de la industria de la construcción (Lindblad, 2013). Para realizar un proyecto de construcción, normalmente se crea una organización temporal. Esta organización es compuesta por diferentes empresas y profesionales, con los cuales no necesariamente se hayan trabajado antes, y que se vinculan al proyecto por medio de acuerdos contractuales. La razón de trabajar temporalmente con diversos actores, se debe mucho a las diferentes especialidades que requiere el proyecto, y también muchas veces se requiere la mano de obra local o subcontratistas que estén cerca del proyecto (Koskela, 2000). La desventaja de esto es que se generan muchos problemas de coordinación.

De esta forma, estas tres peculiaridades conducen a la complejidad, variabilidad y falta de transparencia en los proyectos de construcción. Las cuales si no son

mitigados, causan desperdicios afectando el flujo de producción. Si bien los desperdicios causados por deficiencias en las prácticas gerenciales pueden ser la primera causa de desperdicios en proyectos, estas *peculiaridades* de la industria, adicionan desperdicios como segunda causal (Koskela, 2000). Y con ello, se incrementa el riesgo de no alcanzar los objetivos del proyecto.

1.2.3 Soluciones

Algunas de las soluciones que se le puede dar a la industria de la construcción, son las siguientes:

- Eliminar o reducir estas 3 peculiaridades: Esto con la finalidad de reducir las pérdidas (de “segundo orden”). Se puede reducir el problema de *one-of-kindness* mediante la identificación de piezas standard (piezas de uso común o genérico) para tener soluciones de diseño predeterminados. El problema del *site work* se puede reducir teniendo un control efectivo, usando la prefabricación, y la mejora continua. El problema de *temporary organization* se puede disipar manteniendo una red estable con proveedores y usando incentivos (Koskela, 2000).
- Adoptar las buenas prácticas de las otras industrias (como la manufactura). A pesar de que la industria de la construcción y de la manufactura, tengan sus diferencias, también comparten algunas similitudes. Es por ello, que durante la historia, se intentó usar muchas estrategias que se aplicaban dentro en la industria manufacturera, para aplicarlos en la industria de la construcción. Sin embargo, muchas de estas estrategias han fracasado debido a que no se tomó en consideración esas tres peculiaridades de la naturaleza de la industria de la construcción (Porwal, 2010).

Por esta razón, es que según Ballard y Howell en 1998, la estrategia para mejorar la industria de la construcción se debe basar en dos objetivos (Porwal, 2010):

- Tomar las buenas prácticas de la industria de la manufactura.
- Identificar y entender las características que difieren entre ambas industrias. Se sabe que la mayor diferencia entre ambas industrias está principalmente en el proceso de línea de producción (fase de ejecución). Normalmente, no se tiene

tantas diferencias en los procesos de diseño. De este modo, considerando estas diferencias, adaptarlos a la industria de la construcción.

- Generar métodos eficientes y el uso de tecnología. Para mejorar el actual escenario en la industria de la construcción, se necesitan desarrollar más métodos eficientes para la entrega de proyectos (como el uso de prefabricados y la automatización), y hacer esfuerzos para implementar tecnología avanzada (como las grúas a control remoto, las excavadoras autopropulsadas, impresión 3D, etc.) (Zhang, 2012). El uso de ICT (como el BIM) y metodologías de trabajo pueden ayudar a superar la barrera de *one-type production*.

2.2.3 Gestión tradicional de proyectos de construcción

La gestión tradicional de proyectos de construcción usa la teoría de transformaciones. Debido a ello, es que este tipo de gestión se centra en el método del camino crítico y se focaliza únicamente en las actividades de transformación. Además, utiliza un enfoque jerárquico de mando y control para la planificación de proyectos. De esta forma, en la fase de ejecución, es que se ordena a que las *unidades de producción* (cuadrillas) trabajen de forma flexible (Tommelein, Ballard, Howell, & Hamzeh, 2007), es decir, que trabajen de forma desordenada según la situación de cada día, con tal de tener a las cuadrillas siempre ocupadas en estar haciendo cualquier tipo de trabajo en obra. La flexibilidad inyecta incertidumbre en el flujo de trabajo, porque afecta tanto a la estación de trabajo que lo utiliza, como a las siguientes estaciones.

En la gestión tradicional, se piensa que todo el proyecto (sistema) se optimiza si se minimiza el tiempo y el coste necesario de cada tarea de forma aislada (cada transformación). Este tipo de gestión, no se preocupa en tener un flujo de trabajo continuo o predecible, por lo que trae como consecuencia, problemas en el proyecto: incremento de costos, la extensión de la duración del proyecto, la disminución de la seguridad y la calidad, y el aumento de riesgo.

2.2.4 Origen de la filosofía *Lean*

Después de la Segunda Guerra mundial, Japón tuvo que hacerle frente a la crisis por escasez de recursos. Esto causó una gran necesidad por crear una nueva filosofía de producción. De esta forma, en los años de 1950, el ingeniero Taiichi Ohno desarrolla el Sistema de Producción Toyota (TPS), la cual se basaba en las mejores prácticas extraídas de los sistemas americanos y sistemas japoneses de ese entonces, dando como resultado un gran impacto positivo en el sistema de producción de la compañía Toyota.

La idea básica del sistema TPS consistía en la absoluta eliminación de pérdidas (incluyendo la eliminación de inventarios) mediante la producción de lotes pequeños para proporcionar mejor calidad, a un menor costo y con plazos de entrega más cortos. Los dos pilares del TPS son el *Just in time* (JIT) y el Jidoka (automatización con toque humano o semiautomatización de la maquinaria). Además, esto se sustenta y perfecciona a través de interacciones de trabajo estandarizado y la mejora continua (Kaizen), seguida de un plan de acción a través de un Plan-Do-Check-Act - PDCA (Pons, 2014).

Sin embargo, el sistema TPS recién comienza a conocerse a nivel mundial, a raíz de la crisis del petróleo de la década de 1970. Debido a ello, varios empresarios estadounidenses comienzan a financiar estudios en el Programa Internacional de Vehículos a Motor (PIVM), ubicada en el Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT), con el fin de averiguar cómo los japoneses lograban producir autos más baratos. El equipo del PIVM fue dirigido por el investigador Jim Womack durante los años de 1975 a 1991, y se enfocó en realizar una serie de estudios comparativos sobre las prácticas de producción. Al final, Womack logró demostrar que la productividad en algunas fábricas japonesas eran un 50 % superior al de las fábricas norteamericanas y que la cantidad de defectos por unidad eran ampliamente menores que las norteamericanas (Alarcón y Pellicer, 2009).

Por otra parte, el término *Lean* o *Lean Production* se trata de una versión occidentalizada para describir los métodos de manufactura usados en el Sistema Toyota de Producción (Zhou & Zhao, 2010). Este término fue creado por el mismo equipo de investigación del PIVM (y publicado por primera vez, en un artículo hecho por Krafcik y Womack en 1988). Posteriormente, el término *Lean* se estandariza a nivel mundial en la publicación del libro *Lean Thinking*, perteneciente a los autores Womack y Jones. Este libro se basó en la recopilación de todas las investigaciones que hicieron en Japón en la década de los 80, acerca de los conceptos y teorías tanto de gestión como de producción empresarial, y abarca las definiciones y características de una organización *Lean* y de la cadena de suministros (Pérez, 2011).

Tabla 2

Comparativa entre el sistema TPS de Japón y el sistema de producción en masa de EEUU realizado por Womack, Jones y Ross (1991)

Métricas	Japón (<i>Lean</i>)	EEUU (Sistema de Producción en Masa)
Outputs		
Productividad (horas/vehículo)	16.8	25.1
Calidad (defectos/100 vehículos)	60.0	82.3
Fuerza de Trabajo		
% de trabajos en equipo	69.3	17.3
Número de clases de trabajo	11.9	67.1
Sugerencias por empleado	61.6	0.4
Layout (Diseño)		
Espacio	5.7	7.8
Área de reparación (% Espacio de montaje)	4.1	12.9
Inventarios (días)	0.2	2.9

Adaptada de Brioso, 2016

Posteriormente, en 1992 el profesor Koskela del Centro de Investigación Técnica de Finlandia, por primera vez propone a nivel académico la aplicación de la filosofía *Lean* al sector de la construcción (*Lean Construction*), donde enfatiza que la importancia del flujo durante el proceso de producción, así como los aspectos relacionados con la conversión de *inputs* en productos acabados como un elemento importante para la creación de valor durante la vida del proyecto (Porwal, 2010).

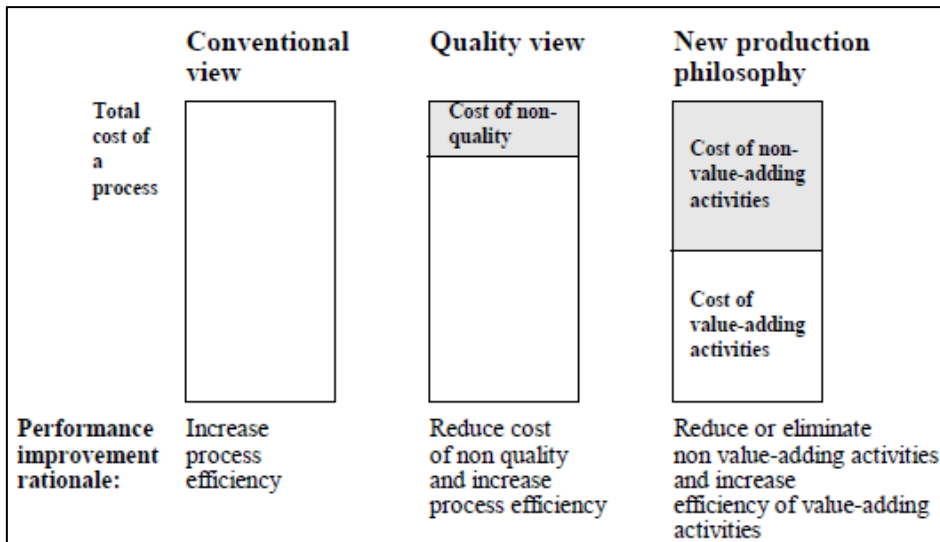


Figura 5. Comparación de los enfoques de diferentes filosofías de producción.
Tomado de Koskela, 1992

A partir de ese año, se forman muchos grupos de investigación como el International Group of *Lean Construction* (IGLC), *Lean Construction Institute* (LCI), y otras organizaciones locales de otros países, los cuales adaptan los principios *Lean Production* a la construcción con el fin de cubrir los más diversos aspectos del ciclo de vida de los proyectos de construcción.

Como resumen, se puede afirmar que el *Lean Production* o *Lean Manufacturing* (o TPS en Japón), surge primero en la industria automotriz, y posteriormente, sus principios y herramientas se fueron adaptándose a diferentes industrias y servicios (incluyendo en el sector salud y en los gobiernos), dando como resultado que muchas industrias en estos últimos 50 años tengan un incremento dramático en la productividad (como lo es la industria aeroespacial). Sin embargo, la implementación del *Lean Production* en la industria AEC, no ha sido efectiva debido a que según lo dicho anteriormente, es una industria “artesanal”⁸ con diferentes peculiaridades (lo que genera incertidumbre y variabilidad). Es por ese motivo que el *Lean Production Thinking* no puede ser directamente aplicado en la industria de la construcción.

⁸ Producción artesanal: La industria de manufactura ha pasado por varios tipos de producción como lo fue la producción artesanal (craft production), luego por la producción en masa (mass production) y por último, el *Lean Production*. Sin embargo, la industria AEC nunca ha podido ser una producción en masa y por ello, es que se le considera como una forma de “producción artesanal” (porque produce edificaciones con customizaciones únicas) (Tommelein et al., 2007: 3)

2.2.5 *Lean Construction* (Construcción sin pérdidas)

Es una nueva filosofía⁹ (o teoría) que se creó inspirada en la teoría del *Lean Production* con la finalidad de aplicarlo a la gestión de la producción, de la industria de la construcción.

Lean Construction usa el modelo TFV (modelo que integra los conceptos de *transformación, flujo y generación de valor*). Este modelo fue creado por Koskela y presentado en su tesis de doctorado en el año 2000 (Koskela, 2000). En su investigación, afirma que se debe usar de forma simultánea estas teorías dentro del *Lean Construction*, porque estas tres teorías se complementan; cada uno tiene sus métodos, herramientas y plantillas (Technical University of Denmark, 2015), y porque fueron popularmente usadas en el siglo 20 dentro de la industria de manufactura.

2.2.6 Teorías de producción

La teoría de transformación, es la más antigua (su origen se remonta a 1985, propuesto por Michael Porter, para aplicarlo a la economía. En ese entonces, se le llamó como teoría de “cadena de valor” (Koskela, Howell, Ballard, & Tommelein, 2002). Esta teoría fue la que más se usó de forma predominante durante el siglo XX en la industria de manufactura (actualmente a esta teoría se le conoce también como “producción tradicional”). Esta teoría ve a la producción, como una línea de transformaciones (conjunto de transformaciones que tienen *inputs*¹⁰ y *outputs*) donde cada transformación añade valor al producto (Bertelsen, 2002). La gestión usando esta teoría, se hace descomponiendo de forma jerárquica la transformación total en pequeñas transformaciones llamadas tareas, y con ello, poder minimizar el costo de cada tarea de forma independiente a las otras (Koskela, 2000). Sin embargo, el uso de esta teoría es muy idealizada para aplicarlo en la realidad, porque tiene dos principales deficiencias: (a) falla en reconocer que además de las transformaciones existen otros fenómenos (como las actividades que no agregan valor y que generan desperdicios), y ((b) falla en reconocer que los procesos de transformación no siempre generan valor (*output valuable*), ya que solo se puede tener valor si el output es conforme a los requerimientos del cliente. De esta forma, se tiene un sistema ineficiente e inefectivo (Koskela et al., 2002).

⁹ Filosofía = una nueva forma de pensar (una nueva mentalidad).

¹⁰ Los *inputs* pueden ser materiales, mano de obra o capital, mientras que los *outputs* representan el producto ejecutado parcialmente o producto final. (Watson, 2014: 10)

La teoría de flujo, es un concepto que fue cambiando con el paso de los años. Esta teoría se considera que fue definida por primera vez por Gilbreth y Gilbreth en 1922 mediante el uso del diagrama de proceso/*process charting* (Hamzeh, 2009), se enfocaron en hacer los procesos más eficientes¹¹ mediante la reducción de movimientos innecesarios. Esto fue la base de lo que hoy se conoce como JIT y *Lean Production*). Su primera aplicación fue hecha por Henry Ford, pero su implementación fracasó porque no fue entendida de forma apropiada, de modo que su uso se dejó de lado. Henry Ford por su parte, entendía que el flujo se lograba mediante el uso de una línea de ensamblaje (*assembly line production*), logrando gestionar a las personas, maquinarias, herramientas y productos dentro de un sistema continuo de fabricación (Hamzeh, 2009). Sin embargo, no fue hasta la década de los años de 1940, donde se desarrolló la teoría de flujo de forma más avanzada en Japón con la finalidad de aplicarlo a temas bélicos, y posteriormente en la industria automovilística de Toyota. El sistema Toyota provee un nuevo punto de vista de lo que es el flujo de producción, mediante el uso de JIT (crea un sistema *Pull* que reacciona en base a la demanda actual). En los años 80, el término de *Lean Production* se crea para describir el método de trabajo de Toyota (Koskela et al., 2002). La teoría de flujo afirma que además de las transformaciones, existen actividades de espera, de inspección y de movimientos. La gestión usando esta teoría, se hace minimizando la proporción de *actividades que no agregan valor* (eliminar desperdicios de las actividades de flujo) durante todo el flujo especialmente mediante la reducción de la variabilidad (Koskela, 2000).

La *teoría de generación de valor*, fue creada en 1931 por Shewhart con la finalidad de aplicarlo principalmente en el área de calidad (usando métodos como el análisis riguroso de requisitos, identificación sistematizada de requisitos aguas abajo, etc.), pero su uso se pudo expandir a otras áreas de aplicación (Koskela et al., 2002). La teoría de *generación de valor* consiste en llegar a cumplir todas las necesidades del cliente. La gestión de esta teoría se hace traduciendo estas necesidades de forma precisa dentro del diseño final, y luego produciendo productos que sean conforme a lo diseñado (Koskela, 2000).

A continuación se muestran las tres teorías de producción usadas en la industria de manufactura: Transformación, Flujo y Valor.

¹¹ Gilbreth y Gilbreth, se enfocaron en tener trabajadores satisfechos y hacer *procesos eficientes* (las condiciones y el ambiente de trabajo permiten reducir movimientos) para mejorar la producción. A diferencia de Frederick Taylor, quién únicamente se enfocaba en reducir el *tiempo de cada proceso*.

Tabla 3

Teoría TFV de la producción

	Transformation view	Flow view	Value generation view
Conceptualization of production	As a transformation of inputs into outputs	As a flow of material, composed of transformation, inspection, moving and waiting	As a process where value for the customer is created through fulfilment of his/her requirements
Main principle	Getting production realized efficiently	Elimination of waste (non-value-adding activities)	Elimination of value loss (achieved value in relation to best possible value)
Methods and practices	Work breakdown structure, MRP, organizational responsibility chart	Continuous flow, pull production control, continuous improvement	Methods for requirement capture, quality function deployment
Practical contribution	Taking care of what has to be done	Making sure that unnecessary things are done as little as possible	Taking care that customer requirements are met in the best possible manner
Suggested name of practical application of the view	Task management	Flow management	Value management

Tomado de Koskela, 2000

De esta forma, Koskela afirma que la producción según la teoría TFV, se conforma de dos tipos de actividades: (a) actividades de conversión (el material es transformado), y (b) actividades de flujo (el material está en espera, en movimiento o en inspección). De esta manera, las actividades de conversión solo se pueden unir entre sí, mediante las actividades de flujo (Watson, 2014).

Como sabemos, las actividades de conversión (transformación) son las únicas que pueden crear valor al producto final. Mientras que las actividades de flujo no agregan valor, y por lo tanto generan desperdicios (Watson, 2014).

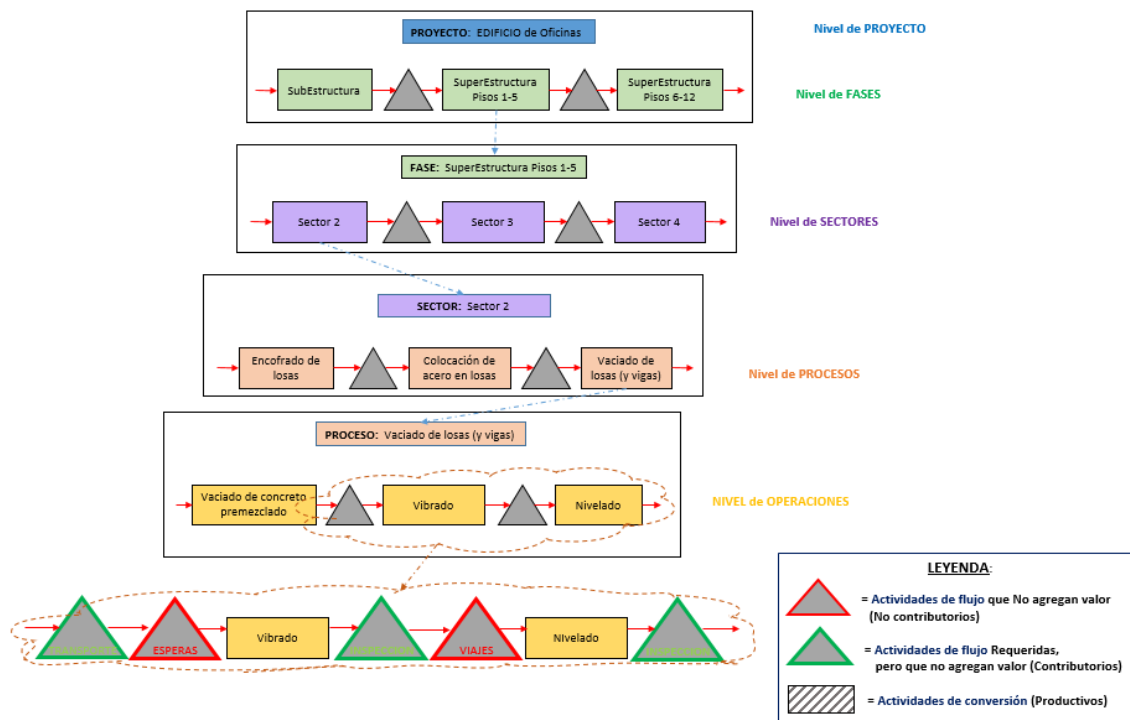


Figura 6. Identificación de las actividades que no agregan valor. Adaptado de Ballard 2014 , Koskela 2000, Masoud, Clarke-Sather, & Mcconnell, 2017)

Sin embargo, como se observa en la Tabla 4, no todas las actividades de transformación, generan valor (por ejemplo, los trabajos rehechos). Por otra parte, los ejemplos puestos en esta tabla se hicieron desde el punto de vista de una empresa constructora. Por lo tanto, para poder identificar otros ejemplos y saber si una actividad agrega valor o no valor al cliente final, se debe evaluar dos criterios (Jose, 2015): primero, si el cliente final está dispuesto a pagar por esa actividad, y segundo, si esa actividad está cambiando las características del producto, de forma que incremente el valor del producto a los ojos del cliente final.

Con todo lo dicho anteriormente, es que Koskela (Porwal, 2010) afirma que el modelo TFFV se centra primordialmente en el *flujo*, con la finalidad de reducir las pérdidas (meta interna del constructor) y en *maximizar el valor del cliente* (hacer actividades que agreguen valor al producto final definido por el cliente). Sin embargo, no hay que olvidar que el modelo TFFV también se encarga de ver las actividades de transformación. Con esta idea, el *Lean Construction* logra combinar las buenas prácticas del enfoque tradicional (Project Management) y la aplicación de los principios del *Lean Production* dentro de la industria de la construcción.

Tabla 4

Diferentes tipos de actividades, con ejemplos

TIPOS DE ACTIVIDADES	EFEECTO	SOLUCIÓN
Actividades de transformación	Que se realizan según las necesidades del cliente = Actividades que agregan valor = " <u>Trabajo</u> " (Ej: Vaciar el concreto de una columna, según las especificaciones de diseño, etc.)	Generan valor 1. Maximizar el valor al cliente (Externo). 2. Optimizar transformaciones (ahorrar recursos de forma Interna).
Actividades de transformación	Que NO se realizan según las necesidades del cliente = Actividades que no agregan valor = " <u>Trabajo No Contributorio</u> " (Ej: Trabajos rehechos, trabajos con calidad deficiente que rechaza el cliente, vaciar el concreto de una columna en un lugar equivocado, etc.)	Generan desperdicios Eliminar estas actividades
Actividades de flujo	Actividades que no agregan valor, pero que SON REQUERIDAS = " <u>Trabajo Contributorio</u> " (Ej: transporte de material, inspección ¹² , etc.)	Generan desperdicios Reducir estas actividades
Actividades de flujo	Actividades que no agregan valor = " <u>Trabajo No Contributorio</u> " (Ej: Esperas, tiempos ocios, etc.)	Generan desperdicios Eliminar estas actividades

Nota. información adaptada en base a la teoría *Lean Production* y a la teoría TFV.

En resumen, al uso simultáneo de esas tres teorías, se le llama modelo TFV (Transformación-Flujo-Valor). El modelo TFV es una nueva teoría de producción propuesta por Koskela. De esta forma, es que *Lean Construction* ve a la construcción (flujo de trabajo/flujo de valor) como un conjunto de actividades de transformación, actividades de flujos de recursos (materiales, etc.), y actividades que generan valor (Watson, 2014).

¹² OJO: Los ejemplos puestos en este cuadro se hizo, desde el punto de vista de una empresa constructora. Es importante notar que la actividad de "inspección" pueden agregar valor o no agregar valor (al cliente final) según el tipo de empresa o a la finalidad que se le dé a esta actividad. En el caso de que sea una empresa dedicada a inspeccionar obras, y el cliente esté dispuesto a pagar a esa empresa por ese servicio, pues la actividad de inspección en ese caso *agrega valor* al cliente (y el cliente al final recibe como producto, un reporte de inspección). Para entender mejor, ver: Masoud et al. (2017) y Jose (2015).

2.2.7 Teoría de Sistema de Producción Eficiente

Todas las actividades (actividades de transformación, actividades de flujo y actividades que generan valor) tienen un costo y consumen tiempo. Es por ello, que se debe conseguir un Sistema de Producción Eficiente. Para ello se debe seguir los siguientes pasos:

1. A nivel externo. En base a la teoría de *Lean Production*, lo primero que se debe hacer para eliminar desperdicios en el sistema es identificar el valor. El cliente final siempre define el valor dentro de un proyecto. Por lo tanto, se debe identificar aquellas *actividades que generan valor* (actividades de transformación). En base a ello, maximizar la entrega de valor al cliente enfocándose en aquellos requisitos importantes (críticos), en orden de priorización que se pide.
2. A nivel interno. Luego, a nivel interno (meta interna de la organización), el enfoque de la filosofía *Lean* afirma que para lograr la eficiencia en todo el sistema de producción, es necesario priorizar las “pérdidas por flujos”, antes que las “pérdidas por procesos (transformaciones)”.

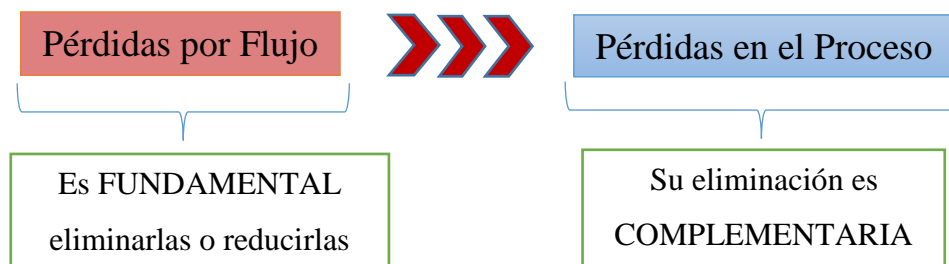


Figura 7. Pérdidas por Flujo vs Pérdidas por Proceso.
Tomado de Meléndez, 2016

Como se puede ver en la imagen, las pérdidas por flujo son abismalmente mayores a las pérdidas por procesos. Las “pérdidas por flujo”, se refieren cuando los procesos se detienen por falta de información, recursos, directivas, actividades previas no ejecutadas. Mientras que las “pérdidas en los procesos”, se refiere al uso excesivo de la cantidad de recursos (Mano de obra, equipos, materiales, etc.) dentro de un proceso para la cantidad de trabajo que se produce.

Por lo tanto, al margen de generar procesos eficientes (cuadrillas eficientes), es necesario que primordialmente, exista un flujo y eliminar las pérdidas que existen en éste.

Por lo tanto, se debe *crear flujos* (flujos continuos, para eliminar posibles desperdicios como esperas, etc.) y *optimizar flujos*.

- Identificar y reducir aquellas “*actividades que no agregan valor pero que son requeridas*” (actividades de flujo).
- Identificar y eliminar aquellas “*actividades que no agregan valor*” (actividades de transformación que no agregan valor y/o actividades de flujo).

Por último, se debe *optimizar procesos* (reducir las pérdidas que se producen en las transformaciones), siempre en cuando no se afecte la entrega de valor al cliente.

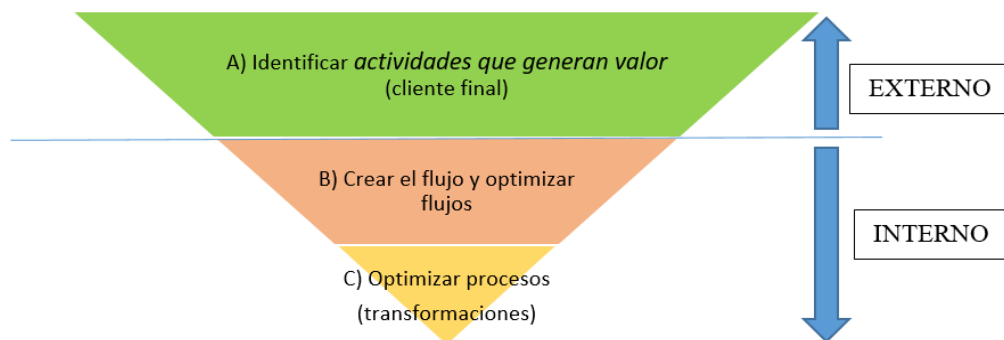


Figura 8. Orden de importancia para tener un sistema de producción eficiente. Elaboración propia

Metodología Propuesta de la filosofía *Lean* (a Nivel Interno):

1er paso: Asegurar que los flujos no paren

Para empezar, un sistema de producción debe tener un flujo ininterrumpido para ser un sistema eficiente. Es por ello, que se utiliza la herramienta del *Last Planner* o los buffers, para lograr reducir la variabilidad y lograr flujos continuos.

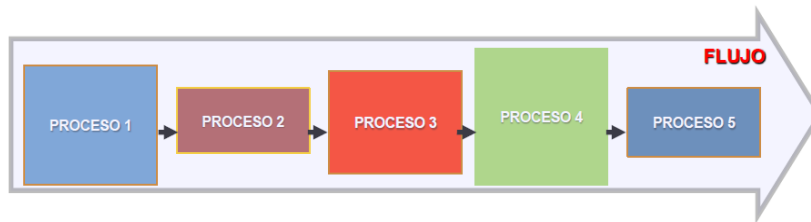


Figura 9. Flujos Continuos.
Adaptado de Meléndez, 2016

2do paso: Hacer los flujos eficientes

Se refiere a que los flujos deben ser optimizados. Es decir, que se debe balancear (equilibrar) los procesos. Para este caso, se utilizan los trenes de actividades para balancear¹³ y tener avances constantes y predecibles durante la ejecución de un proyecto.

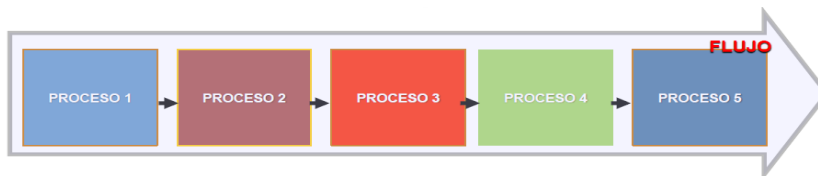


Figura 10. Flujos Eficientes.
Tomado de Meléndez, 2016

3er paso: Hacer los procesos eficientes

Por último, se debe optimizar los procesos de modo que se incremente la productividad por cada proceso. Es decir, se debe optimizar recursos¹⁴ para reducir los desperdicios producidos en las transformaciones. Para este caso, se utilizan las Cartas Balance.

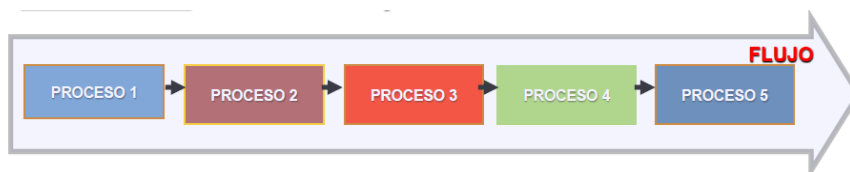


Figura 11. Procesos Eficientes.
Tomado de Meléndez, 2016

¹³ Balancear todo el sistema, al nivel del proceso más pequeño (cuello de botella). O aumentar la capacidad del proceso más pequeño.

¹⁴ Ejemplo: ahorrar tiempo, aumentando la mano de obra. Ahorrar dinero, reduciendo la mano de obra o los equipos.

En Resumen, para tener un Sistema de Producción Eficiente (Interno), es primordial primero tratar que los flujos no paren. Segundo, se debe tratar de que los flujos sean eficientes, y por último, hacer eficientes los procesos. Como mejora continua, se debe hacer una continua reducción o eliminación de las pérdidas en el sistema, siempre en cuando no se logre afectar negativamente en las *actividades que generan valor* al cliente (por ejemplo, solo se debe optimizar recursos, hasta el punto de no afectar negativamente la calidad final del producto).

2.2.8 Flujos en la construcción

Para ejecutar un trabajo, se requiere la disponibilidad de uno o más de siete precondiciones (*inputs*) importantes: trabajo previo, información, material, equipos, mano de obra (trabajadores/cuadrillas), espacio, y condiciones externas. Cada una de estas precondiciones, tienen un cierto grado de fluidez (diferentes patrones de movimiento), ya sea dentro de una actividad, o al moverse entre actividades. Estos flujos se pueden categorizar en: (a) producto, (b) recursos, (c) información (directivas e instrucciones), (d) aditivos, y (e) condiciones externas (Hamzeh, 2009).

1. Flujo de producto (“flujo de trabajo/flujo de valor”). Representa la acumulación de valor en un proyecto de construcción. Es decir, el producto fluye a través del flujo de valor - *value stream* (Hamzeh, 2009). El producto se mueve a través de una red de actividades, desde un trabajo previo, a un siguiente trabajo, con el objetivo que el producto gane valor, antes de convertirse en un producto terminado. Debido a que la industria de la construcción es diferente de la manufactura, entonces, el producto puede estar en tres estados: en proceso (*worked on*), en espera (WIP) o bajo inspección. La variabilidad en el flujo de un producto retrasa la ejecución de actividades sucesoras (debido a que se contagia la variabilidad aguas abajo).
2. Flujo de recursos. Los recursos se refieren a esos elementos que soportan cargas (de trabajo) y tienen una capacidad limitada. El flujo de recurso se refiere al flujo, espacial y temporal, de la M.O, equipos (incluyendo herramientas e instrumentos de trabajo) y de los espacios. Estos tres componentes (mano de obra, equipo y espacio) pueden ser usados y liberados desde una actividad a otra. Por lo tanto, el flujo de estos recursos en obra, se refiere a las transferencias (*handoffs*) entre

actividades. La variabilidad, en la disponibilidad de estos recursos, tienen un impacto en las actividades (debido a la posible escasez de recursos).

3. Flujo de aditivos. Incluye material (materia prima) y ensamblajes (por ejemplo, concreto prefabricado). Estos son consumidos dentro de un producto (por ejemplo, se obtiene una losa de concreto como un producto, ya que al final va a formar parte del edificio). El flujo sucede entre aquellas fuentes que son proveedoras y del sitio de construcción. Su flujo depende del diseño y del desempeño de la cadena de suministros (*supply chain*), y por lo tanto, depende de la variabilidad de la cadena de suministros.
4. Flujo de información. Se refiere a la variedad de prerrequisitos como datos de diseño, especificaciones, directivas (como ordenes de cambio, avisos para proceder con el trabajo, etc.), instrucciones (de fabricación, ensamblaje, testeado, etc.), decisiones y estándares de desempeño. De esta manera, el flujo de información puede poseer diferentes patrones de flujo. El flujo de información se refiere a la puntual llegada de información, decisiones, directivas e instrucciones que son necesarias para que una actividad pueda ser ejecutada. Un ejemplo, de esto es medir la variabilidad con la que se realizan los planos de una obra.
5. Flujo de condiciones externas: Las condiciones externas proveen el ambiente para realizar una actividad y no necesariamente tienen que fluir. Su flujo es caracterizado por su mera existencia (por ejemplo, un buen clima) para facilitar la ejecución de una tarea. La ausencia de estas condiciones implica ejecutar un trabajo, bajo condiciones no óptimas, lo cual puede generar reducción de la productividad.

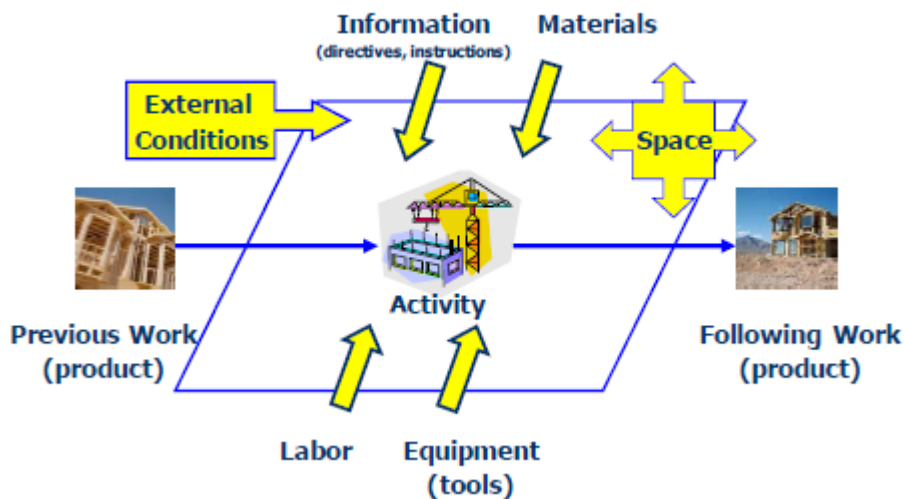


Figura 12. Los 7 flujos (*inputs*) que hacen que una actividad se ejecute. Tomado de Hamzeh, 2009

De esta manera, uno o más flujos se intersecan dentro de una actividad, debido a que todos estos sirven como *inputs*, para recién poder ejecutar un trabajo (actividad). Por lo tanto, cada trabajo sucesor (actividad) depende de la variabilidad del flujo de estos siete *inputs*¹⁵ (ya que pueden causar retrasos en la ejecución). Para evitar ello, se debe lograr la sincronización de los flujos para reducir la variabilidad, y eso se logra mediante la liberación a tiempo/disponibilidad de los *inputs*). Es importante tomar en consideración, que la construcción involucra muchas operaciones de ensamblaje en obra o fuera de obra; y que estas operaciones se vuelven complicadas de gestionar cuando se tiene que pedir productos y ensamblajes de diferentes partes de la cadena de suministros.

Por otra lado, debido a que la filosofía *Lean Construction* busca la excelencia de la empresa, sus principios y herramientas pueden ser aplicados a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto de construcción: diseño, ingeniería, precomercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro. Además, se requiere la intervención de todos

¹⁵ Estos 7 flujos proveen (“support”) a cada actividad sucesora.

los involucrados necesarios en cada fase con el fin de integrar a todos a una sola meta (Pons, 2014).

Beneficios

Los beneficios al implementar *Lean Construction* pueden variar según los interesados en el proyecto. Los operarios y capataces comerciales pueden ganar dinero de forma más rápida. Mientras que la alta gerencia, puede ganar dinero debido a la mayor productividad, a los plazos más cortos y a haber menos interrupciones por accidentes u otros motivos (Mossman, 2009).

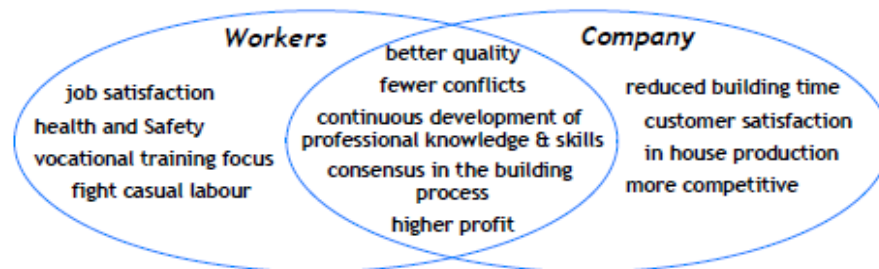


Figura 13. Beneficios del *Lean Construction* en los trabajadores (cuadrillas) y la empresa. Tomado de Mossman, 2009

2.2.9 BIM (*Building Information Models*)

Actualmente, no hay un concepto definido del BIM. Muchas organizaciones alrededor del mundo han intentado definirlo, pero todavía no hay un consenso. Esto es debido a que la tecnología BIM no solo se identifica como un simple modelo virtual, sino que se puede usarse con diferentes finalidades y en diferentes etapas del proyecto, según los requerimientos de trabajo de un proyecto o los requerimientos de una organización (Lindblad, 2013).

Una definición comúnmente aceptada es la descrita por el NBIMS (*National Building Information Modelling Standard*), la cual dice lo siguiente: El BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una edificación. Además de ello, el BIM es un recurso compartido de conocimiento de la información acerca de una edificación, la cual sirve como una base confiable para las decisiones que se tomarían durante el ciclo de vida del proyecto - desde su concepción inicial hasta su demolición (Panaitescu, 2014).

En otras palabras, BIM se refiere a una nueva metodología de trabajo que se basa en el uso de uno o varias herramientas (softwares dinámicos), que permiten crear un modelo virtual paramétrico con características espaciales, físicas, cuantitativas y cualitativas, y con ello generar y gestionar datos de una edificación o una infraestructura de forma coordinada y

colaborativa entre distintos agentes (arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, agentes inmobiliarios, encargados de control y mantenimiento, etc.), con la finalidad de disminuir las pérdidas de tiempo y recursos durante todo el ciclo de vida del proyecto (planeamiento, diseño, construcción, mantenimiento e incluso demolición). El uso del BIM no debe verse como una meta por sí misma para la industria, sino como una herramienta para permitir una alta productividad.

En el mercado hay multitud de herramientas/software para implementar BIM en las organizaciones. Algunas de las empresas que desarrollan estos softwares son Autodesk, Graphisoft (ArchiCAD), Nemetschek (Allplan, Open BIM), Sigma Design, Bentley Systems (Infraestructura), etc. (Carbo, 2014).

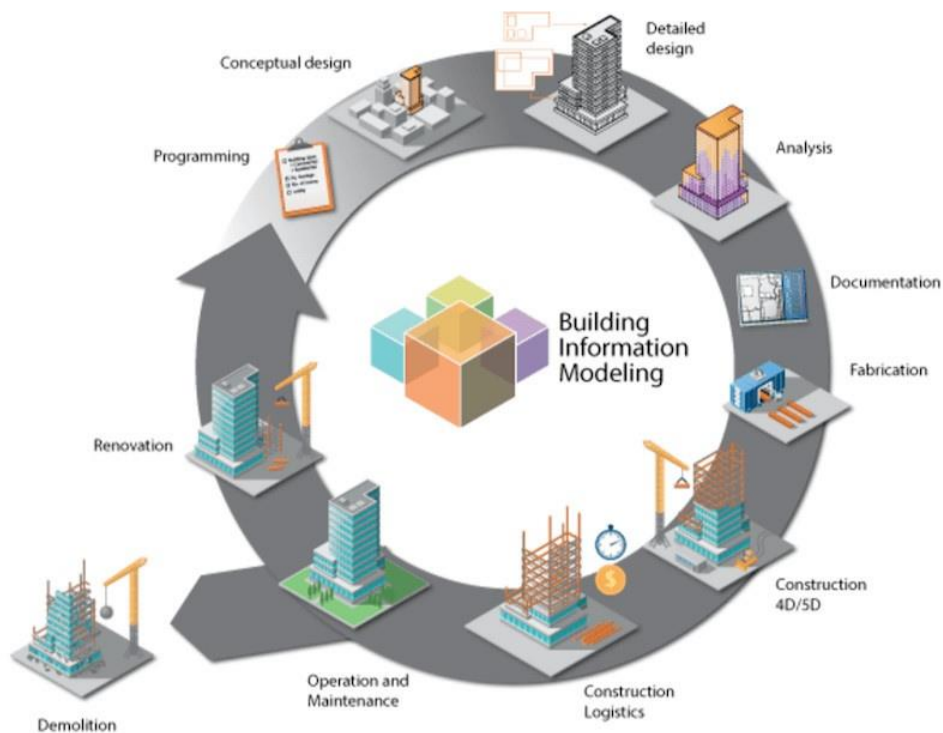


Figura 14. Uso del BIM durante el ciclo de vida de un proyecto.
Tomado de Gajera, 2018

Por último, hay que entender lo que no es BIM. En primer lugar, un modelo que contenga datos 3D y que no contenga comportamiento paramétrico¹⁶ o no permitan definir los atributos de objetos, no es BIM (Panaitescu, 2014). Por ejemplo, en Autocad, se puede también modelar dibujos en 3D, sin embargo, sus elementos son simples dibujos de líneas que no tienen atributos como materiales, peso, costo, etc. Por otra parte, sus elementos no tienen comportamiento paramétrico. En segundo lugar, utilizar una herramienta informática de modelado paramétrico (como Revit) en el proyecto de por sí, no indica que se esté haciendo uso de BIM. Una implementación BIM se basa en tener procesos de trabajo definidos en la organización o en el proyecto (Carbo, 2014).

2.2.10 Sistemas de Entrega de Proyectos (*Project Delivery Systems*)

También llamado como métodos o modalidades de entrega de proyectos. Es la relación contractual que se crea entre el propietario, arquitecto/ingeniero y el contratista, con la finalidad de acordar los servicios de gestión que tendrán que hacer durante las fases de diseño y construcción de un proyecto. Con ello, se asigna las responsabilidades y los riesgos que tendrá que asumir todo el equipo involucrado en el proyecto.

Es decir, que es un procedimiento en la cual se elige una estrategia contractual con la finalidad de ejecutar y completar todo los procesos que integran un proyecto, incluyendo el planeamiento, diseño y construcción. En todo sistema de entrega, hay siempre un mínimo de tres partes involucradas: el propietario, el diseñador y el contratista (*Design-Build Institute of America*, 2015). De este modo, se permite definir la forma en que los diferentes actores van a interactuar durante cada etapa del proyecto (Almonacid, Navarro y Rodas, 2015).

La elección del método de entrega es una de las decisiones más importantes que hace el cliente en un proyecto de construcción. Y esta se debe adecuar según los objetivos del proyecto, ya que cada proyecto es único y presenta requerimientos propios. En algunas ocasiones, el propietario requiere del servicio de profesionales de consultorías para elegir el mejor método.

¹⁶ El término “paramétrico” se refiere a las relaciones que se generan entre todos los elementos del modelo, lo que permite la coordinación y la gestión de cambios. Por ejemplo, en Revit, las ventanas se modelan fijándolos a los muros, por lo que si se cambia la ubicación o se cambia el tamaño de la ventana, automáticamente el muro va a cambiar de forma, adaptándose a las características de la ventana. En Revit, se utilizan diversos tipos de parámetros. (www.autodesk.com)

Los factores que influyen en la elección del método o modalidad de entrega de proyectos son los siguientes:

- La experiencia y la aptitud del propietario/inversionista.
- Los riesgos que las partes interesadas están dispuestos a asumir.
- La cultura de trabajo de los interesados.
- El tipo, la envergadura, la función y complejidad del proyecto.
- El tiempo total para desarrollar y ejecutar el proyecto.
- ¿Cuán realistas son los costos del proyecto? El presupuesto total y otras barreras financieras de los interesados.

En Perú, los principales métodos de entrega más utilizados para proyectos públicos y privados son dos: Diseño/Licitación/Construcción y Diseño-Construcción (Almonacid, Navarro, & Rodas, 2015). Otros métodos conocidos son: *Fast-track*, Llave en mano (EPC), Concesiones y Entrega integrada del proyecto (IPD).

En algunas ocasiones, la elección del método de entrega puede ser combinado o un híbrido de múltiples métodos de entrega (Design-Build Institute of America, 2015).

2.2.11 Modalidades de entrega de proyectos

1. Diseño-Licitación-Construcción (*Design-Bid-Build*). Conocido también como modelo tradicional de entrega de proyectos. En la actualidad, es el modelo que más se ha adoptado en el Perú sobre todo para ejecutar proyectos dirigidos a instituciones del Estado: gobiernos regionales, municipalidades, empresas estatales. La razón de ello, es debido a que la ley de contrataciones y adquisiciones del Estado junto con su reglamento, limita a que los proyectos sean principalmente ejecutados bajo esta modalidad en instituciones del Estado (Terry, 2009). Este tipo de gestión implica una secuencia lineal de tres etapas. Es decir, que el propietario primero debe contratar por separado a un proyectista para culminar la etapa de diseño. Luego de culminar la etapa de diseño, recién se puede comenzar la etapa de licitación (la licitación muchas veces se determina hacia el postor que ofrece un menor costo). Después de culminar la etapa de licitación, se puede empezar la etapa de construcción. De este modo, cada etapa involucra actores

diferentes donde cada interesado desarrolla su trabajo de manera independiente en base al trabajo realizado en la etapa anterior.

En este esquema, el propietario asume todos los riesgos relacionados a que los documentos de diseño deban estar completos para la etapa de construcción. Y otro inconveniente, es que se produce interrupciones y lentitud en el ciclo del proyecto sobre todo durante la etapa de licitación.

Es por ello, que a nivel internacional, su uso ha disminuido debido a que actualmente, los clientes son más exigentes y quieren que la entrega de proyectos sea en un menor plazo. Además, se exige que todos los involucrados participen desde la etapa de diseño de proyecto según la filosofía que promueve el *Lean Construction*.

2. Diseño-Construcción (*Design-Build*). En esta modalidad, el cliente contrata a una sola entidad (empresa) que se encarga del diseño y de la construcción del proyecto. De esta forma, el cliente delega la totalidad de la responsabilidad a la empresa.

Además de minimizar los riesgos para el cliente, a diferencia del método tradicional, esta modalidad logra eliminar el tiempo que se pierde para realizar la etapa de licitación.

En Perú, este modelo contractual se emplea por lo general en proyectos privados de gran o mediana envergadura. A su vez, la empresa puede optar por desarrollarlo mediante EPC y *Fast-track* (Almonacid, Navarro, & Rodas, 2015).

- Llave en Mano (Turkey) (EPC - Engineering, Procurement and Construction)¹⁷. Utilizado tanto en proyectos públicos como privados. Es aquel método en la cual, el contratista asume la responsabilidad frente al cliente para diseñar, construir y poner en funcionamiento una instalación, a cambio de un precio generalmente fijo.
- *Fast-track* (camino acelerado). Como se sabe, el acuerdo contractual del *Design-Build* entre el cliente y la empresa, hace que la empresa tenga toda la responsabilidad para desarrollar el diseño y la construcción. Pero después de ello, la empresa tiene la posibilidad de tomar la decisión propia (sin

¹⁷ La modalidad de “Llave en mano” también es llamado como “EPC”

intervención del cliente) de optar por desarrollar el proyecto mediante *Fast-track* para agilizar el tiempo de ejecución.

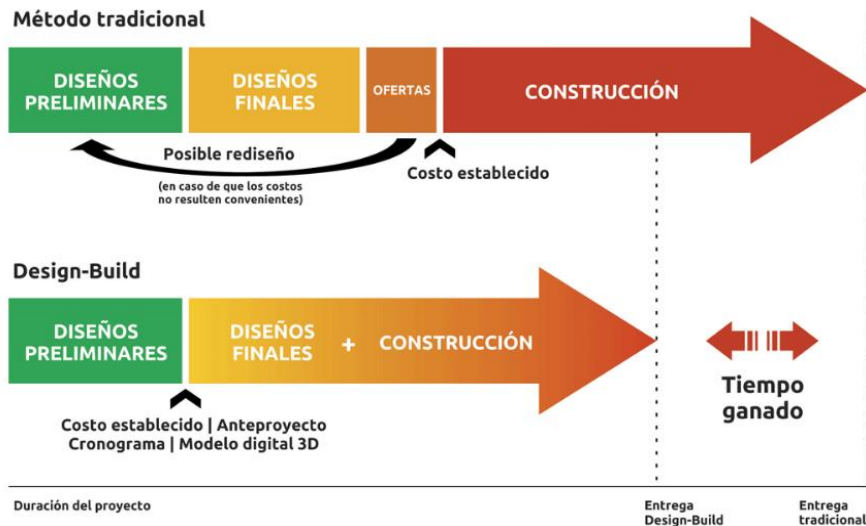


Figura 15. Método tradicional vs *Design-Build* con *Fast-track*. Tomado de CCI proyecta y construye S.A. (s. f.)

En proyectos de gran complejidad, es recomendable no usar el *Fast-track* debido a que muchas veces sucede que los planos que aún no se han terminado de diseñar de los pisos superiores, presenten problemas de diseño, y muchas veces resulta en las modificaciones de las rutas de instalaciones o reubicaciones de elementos estructurales o arquitectónicos de los planos inferiores que ya se han construido. Por lo tanto, a veces es recomendable terminar la etapa de diseño, para recién comenzar la etapa de construcción.

3. *Fast-track* (camino acelerado)

El *Fast-track* es una modalidad contractual que consiste en traslapar la etapa de diseño y ejecución de la obra con la finalidad de completar el proyecto en el menor tiempo posible. Es decir, que se da inicio a las labores de construcción cuando se tiene parcialmente culminado el diseño definitivo del proyecto. Este método es muy utilizado para construcciones del sector privado.

Sin embargo, a diferencia del *Fast-track* que se usa dentro de la modalidad de *Design-Build*; en este caso, el cliente debe contratar por separado al proyectista y

al contratista. Además, el cliente tiene el poder de intervenir y modificar el diseño del proyecto mientras se está construyendo el proyecto. Y con ello, el riesgo se reparte entre el proyectista, el propietario y para la empresa constructora.

Pese a lograr tiempos cortos de ejecución del proyecto, esta estrategia tiene impactos negativos, ya que incrementa el riesgo, la incertidumbre y los costos. Además, en este tipo de modalidad, los proyectos tienen mayor probabilidad de sufrir con mayor frecuencia retrabajos, ordenes de cambio y modificaciones.

En el Perú, este método se utiliza principalmente para la ejecución de centros comerciales. Esto se debe, ya que normalmente, el propietario al inicio del proyecto, aun no tiene definido los usuarios a las que va a vender las instalaciones, y por lo tanto, muchas veces sucede que el propietario debe realizar cambios en el diseño del proyecto, para adecuarse a los requerimientos que piden los usuarios que desean comprar las tiendas del centro comercial. De este modo, el propietario debe evaluar si le conviene hacer los cambios o esperar a otro posible comprador (Terry, 2009).

Otra razón del uso del *Fast-track*, es por las necesidades exigentes del mercado y de los clientes. Y en ocasiones, es necesario que los proyectos tengan un corto periodo de ejecución debido a los factores ambientales como el clima o a las condiciones de terreno, las cuales no se pueden controlar.

4. *Construction Management (CM)*. Este método es similar al método tradicional, con la diferencia que el propietario contrata a una entidad (empresa) como director de proyecto (Project Manager) para que coordine los trabajos relacionados con el diseño y ejecución.
 - *Construction Management at Risk*. El Project Manager colabora durante la fase de diseño y se convierte en contratista general durante la fase de construcción.
 - *Construction Management as owner Agent*. El Project Manager actúa como el agente del propietario para ayudarlo en todos los aspectos que requiere en las etapas del proyecto. Por otra parte, el propietario tiene que contratar por separado a un contratista.

5. Entrega de Proyecto Integrado (*Integrated Project Delivery* / IPD)

Se puede considerar como la evolución del método *Design-Build* o del *Construction Management at Risk*. Su uso se ha difundido en el continente Europeo desde hace una década.

Es un contrato que se realiza como mínimo entre el promotor, proyectista y constructor. El riesgo y control es compartido debido a la participación desde las etapas iniciales del proyecto. Esto genera que se tenga una mentalidad colaborativa donde todos ganan.

En la actualidad, las demandas del mercado son cada vez exigentes donde se requiere que los tiempos de entrega de los proyectos sean cada vez más cortos. Debido a la competencia y a las tendencias en el mercado globalizado, las empresas deben estar dispuestas a implementar nuevas técnicas y modalidades de construcción para adaptarse a los requerimientos del cliente.

Es por ello, que las modalidades de *Design-Build*, *Fast-track* y el IPD (*Integrated Project Delivery*) están ganando terreno porque permiten reducir los costos, plazos e inclusive puede llegar a incrementar la calidad respectivamente.

Por su parte, el *Fast-track* ha reemplazado a la forma tradicional de ejecutar proyectos y está siendo utilizada desde hace ya varias décadas en muchos países. Además, ha tenido buena aceptación en el mercado de América del Sur sobre todo en proyectos de mediana envergadura pertenecientes al sector privado.

CAPÍTULO III. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE CENTROS COMERCIALES

3.1 Presentación de proyectos

En este apartado, se describe la información recopilada de tres proyectos de centros comerciales ejecutados bajo la modalidad de Fast-track en la ciudad de Lima. Esta información está principalmente enfocada hacia la gestión de incertidumbre y variabilidad aplicada al flujo de trabajo/valor durante la etapa de ejecución para la fase de estructuras. Se incluye gráficos, tablas y las encuestas hechas a los miembros del staff de estos tres proyectos de centros comerciales.

3.1.1 Proyecto 1: “Mall Centro Comercial Sur” (Culminado: 2014-2016)



Figura 16. Proyecto culminado del Centro Comercial Mall del Sur.
Fuente: Empresa Consultora Antonio Blanco Blasco Ingenieros EIRL

a. Información general del proyecto

1. Descripción. Esta obra se ejecutó entre el cruce de la Carretera Panamericana Sur y la Av. Pedro Miotta en el distrito de San Juan de Miraflores de la provincia de Lima. El acceso principal al proyecto era por la Av. Pedro Miotta N° 1010 donde se ubicaba una rampa de acceso vehicular.

Como se puede visualizar en la siguiente figura, el campamento referente a las oficinas y al almacén (en color rojo y azul) fue ubicado fuera de la obra, justamente al frente del proyecto de construcción (color verde).

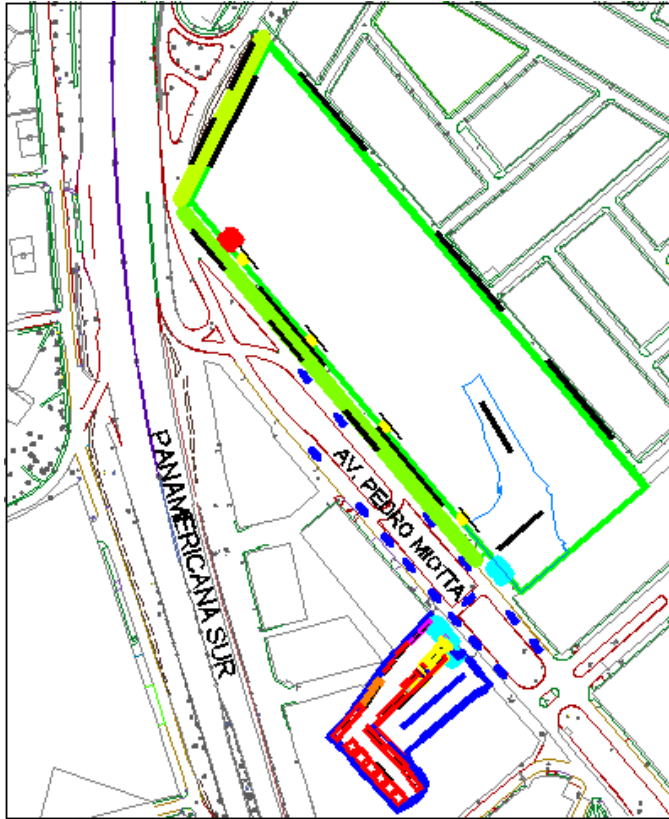


Figura 17. Ubicación del proyecto del Mall del Sur.
Fuente: J. E. Contratistas

2. Características del proyecto.

- Cliente: Trastiendas Integradas S.A.C (Propiedad de la Corporación E. Wong S.A.C)
- Supervisión (Gerencia del proyecto): GTA Ingeniería y Construcciones SAC
- Empresa constructora: J.E. Construcciones Generales S.A.
- Proyectistas:
 - o Estructuras: Antonio Blanco Blasco Ingenieros E.I.R.L.
 - o Arquitectura: Helbert Miguel / Doris Yauri / Sofia Ledesma.
 - o IISS: Ing. Oscar Flores Chávez.
- El área de terreno donde se construyó fue de 34,208.54 m².
- El área total construida fue de 224 337.00 m².
- La ejecución del proyecto se hizo en una sola etapa.

- El monto original contractual fue de 214.5 millones de soles más IGV.
- La modalidad del contrato fue a suma alzada.
- El modelo de gestión que se utilizó fue *Fast-track*.

3. Distribución Arquitectónica

La entrega final del proyecto comprende la construcción de 3 sótanos, 3 sótanos adicionales (entrepisos), 1 semisótano y la construcción de los niveles superiores constituidos de 5 pisos + azotea, incluyendo 4 entrepisos en todo el nivel superior. El área total construida es de 224 337.00 m².

Los sótanos se destinaron a ser usados principalmente como estacionamientos y depósitos con excepción del sótano 1 (Planta baja) que está destinado para la operación de hipermercados Tottus, para zona de exposiciones temporales y como área de locales bancarios.

En el Piso N°1 (+ 1.00 m), se ubican las tiendas por departamentos, la galería central, patios de carga y descarga, y las zonas de andenes.

En el Piso N°2 (+ 6.50 m) se encuentran las tiendas por departamento y galería central de administración del centro comercial.

En el Piso N° 3 (+12.00 m) se encuentra las tiendas por departamento, galería central y área inmobiliaria.

En el Piso N° 4 (+17.50 m) se ubica el patio de comidas, patio de bares, restaurantes, oficinas financieras y cines.

En el Piso N° 5 (+ 23.00 m azotea), se encuentra el área de eventos que está sin techar, el patio de bares y restaurantes, y el gimnasio.

En el Piso N° 6 (+24.90 m entrepiso de azotea), se ubica en algunas zonas el centro médico, el grupo electrógeno del centro comercial, las cuales van a estar techadas.

Para una posterior ampliación que no corresponde a este proyecto, los niveles de entrepisos en los sótanos se dejan para que en alguna oportunidad el propietario pueda añadir 3 sótanos adicionales en caso lo requiera (en los niveles -14.00, -8.00 y -2.00).

Tabla 5

Distribución arquitectónica y áreas techadas del Centro Comercial Sur

NIVELES	ÁREA (m²)
Sótano 6 (- 20.00 m) Cuarto de máquinas	1030.00
Sótano 5 (- 17.00 m) 2° Sótano	33 190.14
Sótano 4 (- 14.00 m) 2° Sótano Entrepiso	977.26
Sótano 3 (- 11.00 m) 1° Sótano	33 175.41
Sótano 2 (- 8.00 m) 1° Sótano Entrepiso	1291.77
Sótano 1 (- 5.00 m) Planta Baja	33 269.44
Sótano 0 (- 2.00 m) Planta Baja Entrepiso	1862.72
Piso N°1 (+ 1.00 m) 1er Nivel	28 019.08
Entrepiso (+ 3.75 m) 1er Entrepiso	1870.16
Piso N°2 (+ 6.50 m) 2do Nivel	26 905.08
Entrepiso (+ 9.25 m) 2do Entrepiso	2802.17
Piso N°3 (+12.00 m) 3er Nivel	26 687.46
Entrepiso (+ 14.75 m) 3er Entrepiso	1776.73
Piso N°4 (+17.50 m) 4to Nivel	23 768.74
Entrepiso (+ 20.25 m) 4to Entrepiso	2070.94
Piso N°5 (+ 23.00 m) Nivel Azotea	4067.17
Piso N°6 (+24.90 m) Entrepiso Azotea – Terraza - Nivel Techos	1572.75
TOTAL	224 337.01

Fuente: J. E. Contratistas

4. Alcance del proyecto. El alcance del proyecto se constituye de realizar lo siguiente:

- Obras preliminares y provisionales.
- Obras civiles y estructuras.
- Arquitectura
- Instalaciones Sanitarias (IISS).

Para este proyecto, se utilizó una platea de cimentación debido a que el suelo tenía 2.3 a 2.5 kg/cm². Las placas se usaron en el contorno mientras que las columnas y vigas se usaron en el interior.

5. Frentes de trabajo y sectores. Para la ejecución, el proyecto se dividió en cuatro “grandes zonas” (es decir, en cuatro frentes de trabajo), donde cada zona poseía un residente designado con el propósito de que la construcción se pudiera realizar en simultáneo.

El tamaño de cada uno de estos 4 frentes de trabajo se mantuvo similar en cada uno de los pisos superiores y sótanos. De esta forma, para realizar el análisis estructural se simuló el proyecto como si fueran 4 edificios, las cuales se dividieron mediante juntas de dilatación sísmicas.

Por otro lado, los ejes que dividían los planos en planta de todo el proyecto fueron los siguientes:

- De A – N (Vertical) (Ejes separados entre 5 a 8 metros)
- De 1 – 44 (Horizontales) (Ejes separados aproximadamente entre 6 a 12 metros)

El Sector 1 se encontraba entre los ejes 1'- 12 (95.30 m). El sector 2 entre los ejes 12 – 22 (82.50 m). El sector 3 entre los ejes 22-32 (82.50 m) y el Sector 4 entre los ejes 32-44 (96.47 m).

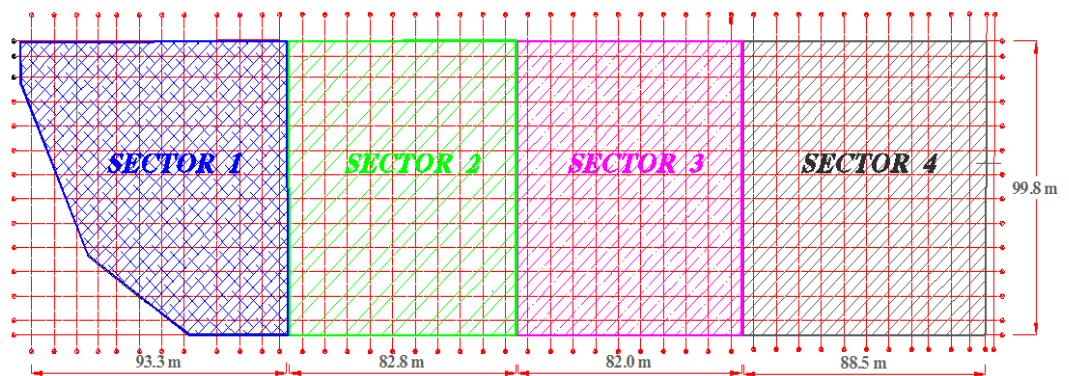


Figura 18. Frentes de trabajo del Proyecto Mall del Sur (4 frentes de trabajo).
Fuente: J. E. Contratistas

Cada uno de estos “sectores” (frentes de trabajo), se subdividieron a su vez en los siguientes sub-sectores:

- Sector 1 (frente de trabajo 1): En 12 subsectores.
- Sector 2 (frente de trabajo 2): En 16 subsectores.
- Sector 3 (frente de trabajo 3): En 16 subsectores.

- Sector 4 (frente de trabajo 4): Contemplaba 3 subsectores que se dividían a su vez en 8, 12 y 4 respectivamente. Está dividido así porque parte del frente de trabajo 4, estaba invadido por una rampa de tierra por el cual circulaban las maquinarias, la cual conducía hacia la salida de la calle.

6. Estructura organizacional del Proyecto. Dado que el proyecto se dividió en 4 “grandes zonas” (es decir en 4 frentes de trabajo), se optó por asignar un residente de obra por cada frente de trabajo, de tal modo que en total había 4 residentes de obra.

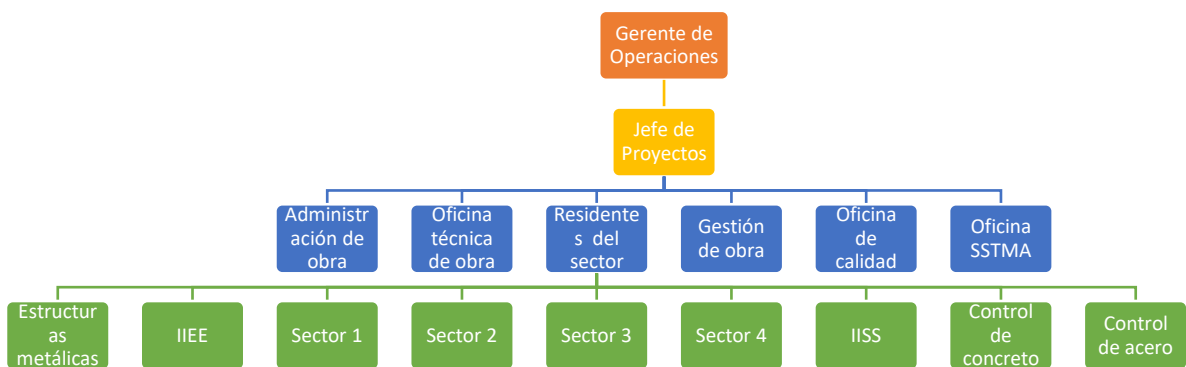


Figura 19. Organigrama del proyecto.
Fuente: J. E. Contratistas

La división de las demás áreas fueron las siguientes:

- La oficina técnica se subdividía en:
 - o Oficina técnica de estructuras.
 - o Oficina técnica de arquitectura.
 - o Administrador de contrato.
 - o Administrador de contrato.
 - o Oficina técnica.
- El área de gestión de obra se subdividía en:
 - o Costos.
 - o Programadores.
- El área de calidad se dividía en cinco:
 - o 4 estaban encargados de obras civiles de los 4 frentes de trabajo respectivamente.
 - o 1 era encargada de arquitectura.
- Por último, se tenía un administrador designado por cada frente de trabajo.

7. Cronograma contractual. Con una duración de 395 días calendarios (340 días hábiles), se tenía previsto:

- Inicio: 04 de septiembre del 2014.
- Culminación: 03 de octubre del 2015.

8. Hitos contractuales durante la ejecución del proyecto. Estos hitos programados fueron acordados al inicio del proyecto y muestran prácticamente las fechas para entregar los productos finales de cada zona del proyecto, es decir las tiendas terminadas a los clientes.

Tabla 6

Hitos contractuales durante la ejecución del proyecto

HITO	DESCRIPCION	FECHAS	Días anteriores a la Apertura
Hito 0	Inicio de obra	04/09/2014	-
Hito 1	Supermercado y Expomotor	26/05/2015	130
Hito 2	1er nivel Anclas	05/06/2015	120
Hito 3	2do nivel Anclas	20/06/2015	105
Hito 4	3er nivel Anclas	05/07/2015	90
Hito 5	1er Nivel Locales Menores	23/07/2015	72
Hito 6	2do Nivel Locales Menores	31/07/2015	64
Hito 7	3er Nivel Locales Menores	04/08/2015	60
Hito 8	4to Nivel Restaurantes y Patio comidas	05/07/2015	90
Hito 9	4to Nivel Cines	04/08/2015	60
Hito 10	5to Nivel Gimnasio y Centro Médico	01/08/2015	63
Hito 11	6to Nivel Gimnasio y Centro Médico	13/08/2015	51
Hito 12	Fin de obra	03/10/2015	-

Fuente: J. E. Contratistas

9. Cronograma de definición del proyecto. Dado que un proyecto *Fast-track* consiste en traslapar la etapa de diseño con la etapa de construcción, es importante gestionar la etapa de diseño y contar con un cronograma de entrega de planos de diseño.

Tabla 7

Hitos de entrega de planos de diseño

HITOS de DISEÑO	DESCRIPCION	FECHAS
Hito D-1	Diseño de Platea de cimentación y elementos verticales en Sectores 1 y 2	15/09/2014
Hito D-2	Diseño de Platea de cimentación y elementos verticales en Sectores 3 y 4	20/09/2014
Hito D-3	Diseño de Losas y Vigas en Sótanos en Sectores 1 y 2	20/10/2014
Hito D-4	Diseño de Losas y Vigas en Sótanos en Sectores 3 y 4	20/10/2014
Hito D-5	Diseño de Losas y Vigas en Superestructura	20/11/2014
Hito D-6	Diseño de la estructura Metálica para soporte de fachada	15/12/2014
Hito D-7	Definición y detalles de falso cielorraso	15/12/2014
Hito D-8	Definición del Porcelanato	15/12/2014
Hito D-9	Definición del mármol travertino	15/12/2014
Hito D-10	Definición del granito	15/12/2014
Hito D-11	Definición del cerramiento de fachada	02/03/2015
Hito D-12	Diseño de estructura Metálica para ascensores	02/03/2015
Hito D-13	Diseño de estructura metálica para cines	02/03/2015
Hito D-14	Definición de cobertura para cines	02/03/2015

Hito D-15	Diseño de la estructura metálica para techo del patio de comidas y teatina	02/03/2015
Hito D-16	Definición de cobertura para patio de comidas y teatina	02/03/2015

Fuente: J. E. Contratistas

10. Presupuesto del costo directo. El siguiente cuadro muestra que la construcción destinada a la especialidad de estructuras corresponde a un 67 % del presupuesto total. En cuanto a la especialidad de arquitectura, corresponde a un 25% del presupuesto total.

Tabla 8

Distribución del presupuesto por especialidad

Presupuesto por especialidad			
Cód.	Descripción	Monto parcial	
		S/	Porcentaje
1	Obras provisionales y preliminares	10 390 755.44	5.51%
2	Obras civiles	126 904 130.81	67.32%
3	Arquitectura	46 409 046.25	24.62%
4	Instalaciones sanitarias	4 153 720.01	2.20%
5	Mallas a tierra	641 841.01	0.34%
	Costo Directo	188 499 493.52	

Fuente: J. E. Contratistas

b. Información respecto a la ejecución del proyecto:

Para identificar los factores que aumentan la incertidumbre y variabilidad en este tipo de proyectos, es fundamental sacar información correspondiente a la ejecución del proyecto.

- 1. Secuencia de ejecución del proyecto.** La secuencia de ejecución de estas zonas se desarrolló comenzando por el frente 1, frente 2, frente 3 y posteriormente el frente 4. Durante la ejecución del proyecto, se pudo observar que la ejecución de los frentes 1, 2 y 3 diferían mucho de la ejecución del frente 4 porque la rampa de ingreso se ubicaba en este último frente de trabajo (por tal motivo, el frente 4 avanzaba de forma lenta y de forma incompleta).



Figura 20. Avances del Mall del Sur (Frente 3 y 4).
Fuente: J. E. Contratistas

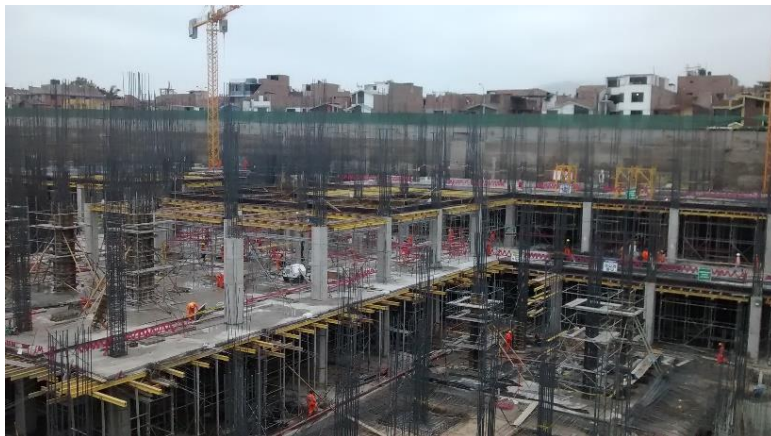


Figura 21. Avances del Mall del Sur (Frente 3 y 4).
Fuente: J. E. Contratistas

- 2. Curva S (semana 42).** Al sacar una muestra representativa de la situación del proyecto hacia la semana 42, la curva S muestra que a partir del mes de marzo, el avance real del proyecto comenzó a desviarse del avance programado. Al

hacer la comparativa (mediante una línea horizontal en la curva S), el desvío se ve que ha generado en promedio un retraso de 1 mes.

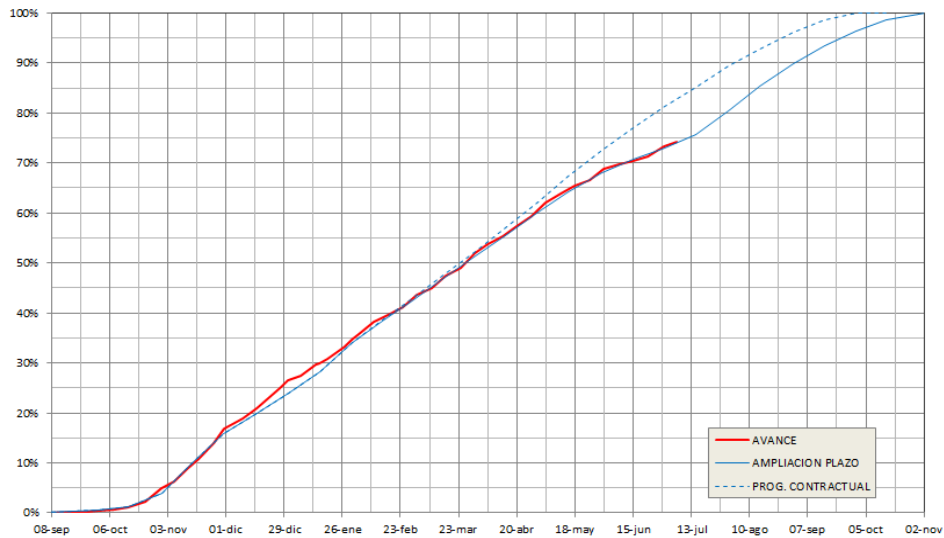


Figura 22. Curva S Global (contractual y con ampliación de Plazo).
Fuente: J.E. Contratistas

3. Primera ampliación de plazo (ampliación en 1 mes)

La construcción del mall se tenía previsto empezar en agosto del año 2014 y entregar en octubre del año 2015. Sin embargo, debido a reprogramaciones se tuvo que aplazar la entrega para el mes de noviembre, 2015.

En función a la nueva ampliación aprobada, se empezó a realizar un seguimiento diferente para la parte de estructuras y para la parte de arquitectura.

Según los miembros del staff del contratista general, una de las causales por la que se produjo las ampliaciones se dio debido a algunos cambios en el alcance del proyecto y modificaciones a última hora del diseño por parte del propietario.

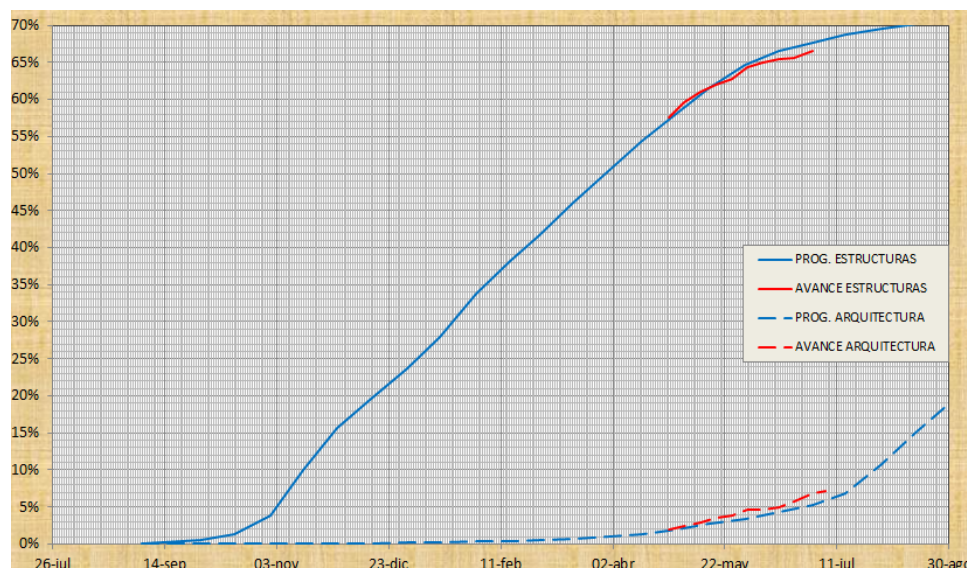


Figura 23. Curva S de Estructuras y de Arquitectura (en función a la nueva ampliación de plazo).
Fuente: J. E. Contratistas

4. Nuevos hitos programados correspondientes a la primera ampliación de plazo del proyecto (ampliación en 1 mes).

En el siguiente recuadro se puede visualizar los hitos modificados, para una ampliación de plazo de 1 mes, hasta el mes de noviembre del 2015.

Tabla 9

Hitos de entrega con ampliación de plazo (1 mes)

Hito	Descripción	Programación Contractual	Progr. Ampliación de Plazo	Prog. Ampliación con condiciones de entrega
Hito 1	Entrega Supermercado para implementación	06/05/201 5	06/07/201 5	16/06/201 5
Hito 2	Entrega 1er nivel Tiendas Anclas para implementación	16/05/201 5	09/07/201 5	19/06/201 5
Hito 3	Entrega 2do Nivel Tiendas Anclas para implementación	31/05/201 5	25/07/201 5	06/07/201 5
Hito 4	Entrega 3er Nivel Tiendas Anclas para implementación	15/06/201 5	14/08/201 5	24/07/201 5

Hito 5	Entrega Locales Patio de Comidas p/ implementación	15/06/201 5	15/08/201 5	25/07/201 5
Hito 6	Entrega 1er Nivel Locales Menores para implementación	03/07/201 5	26/08/201 5	06/08/201 5
Hito 7	Entrega 2do Nivel Locales Menores para implementación	11/07/201 5	02/09/201 5	13/08/201 5

Tabla 8

Hitos de entrega con ampliación de plazo (continuación)

Hito	Descripción	Programación Contractual	Progr. Ampliación de Plazo	Prog. Ampliación con condiciones de entrega
Hito 8	Entrega 3er Nivel Locales Menores para implementación	15/07/201 5	12/09/201 5	24/08/201 5
Hito 9	Entrega 5to Nivel Locales Menores para implementación	03/10/201 5	03/10/201 5	03/10/201 5
Hito 10	Entrega 6to Nivel Locales Menores para implementación	03/10/201 5	03/10/201 5	03/10/201 5
Hito 11	Nivel Cines	03/10/201 5	23/11/201 5	23/11/201 5
Hito 12	Apertura del Centro Comercial	13/09/201 5	16/11/201 5	24/10/201 5

Fin de obra	Fin de obra	03/10/2015	23/11/2015	23/11/2015
		5	5	5

Fuente: J. E. Contratistas

- 5. Segunda Ampliación.** El fin del proyecto se tuvo que aplazar hasta el mes de mayo del 2016, debido a que la obra tuvo una paralización de dos meses a partir del mes de octubre del 2015. Por tal motivo, lo que se programó desde el mes de octubre a noviembre, se tuvo que mover a partir de enero del 2016. La razón del aplazamiento fue que el propietario no presentó a tiempo los papeles requeridos por la municipalidad. Sin embargo, contractualmente a partir del mes de enero, el contratista tenía un plazo máximo de 1 mes y medio para terminar el proyecto, pero debido a muchos problemas en la ejecución de obra, recién se pudo percibir la acumulación de trabajo pendiente de realizar, al final del proyecto. Por tales motivos, el contratista general junto con la supervisión, tuvieron que acordar ciertas penalizaciones, para que se pueda terminar el proyecto hasta el mes de mayo del 2016 (prácticamente 3 meses más de retraso). A partir del mes de mayo, recién se despidió a la mayor cantidad del personal, pero se continuó trabajando en algunos acabados finales que quedaban pendientes de terminar.
- 6. Informe de RFIs hasta la semana 60.** Ya que esta investigación consiste en evaluar las causales de las interrupciones en el flujo de trabajo basados en la incertidumbre y variabilidad, se optó también por evaluar los RFIs uno por uno de la base de datos entregados por el contratista general, con tal de discernir cuales correspondían a cada especialidad y posteriormente hacer un análisis más exacto. Dado que la información brindada por el contratista general no estaba organizada en gráficas, se optó manualmente por organizar los datos, y clasificar cada RFI para esta tesis. Al elaborar las siguientes gráficas y cuadros, recién se pudo saber el comportamiento de los RFIs durante la ejecución del proyecto, y ver los problemas relacionados a estos.

- **Matriz de consultas (RFIs) hasta la semana 60:** En total, se produjeron 346 RFIs correspondientes a todo el diseño del proyecto. Además, se puede notar que casi al final del proyecto, se acumularon 100 RFIs que quedaban pendientes de respuesta.

En cuanto al cuadro de especialidades, se ve que la mayor cantidad de RFIs lo causa la especialidad de estructuras con 135 RFIs (mayormente causado por falta de detalles, incompatibilidades, errores en el diseño), y en segundo lugar está la especialidad de Arquitectura con 92 RFIs, (correspondientes a errores en el diseño, falta de detalles e incompatibilidades). Por otro lado, las interferencias entre especialidad de Estructuras y Arquitectura hicieron que los RFIs aumenten en otros 92.

Tabla 10

Matriz de RFIs cuantificados hasta la semana 60

Descripción	Cantidad	Porcentaje
Resueltos	246	70.8%
Sin respuesta (Pendientes de respuesta)	100	29.2 %
Con respuesta parcial	0	0%
Consultas a la fecha	346	100%

Fuente: J. E. Contratistas

Tabla 11

Matriz de RFIs en función a las distintas especialidades cuantificados hasta la semana 60

Descripción	EST		ARQ		EST/AR Q		Otros	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Resueltos	97	72%	69	75%	60	65%	20	74%
Sin respuesta (Pendientes de respuesta)	38	28%	23	25%	32	35%	7	26%

Fuente: Elaboración propia

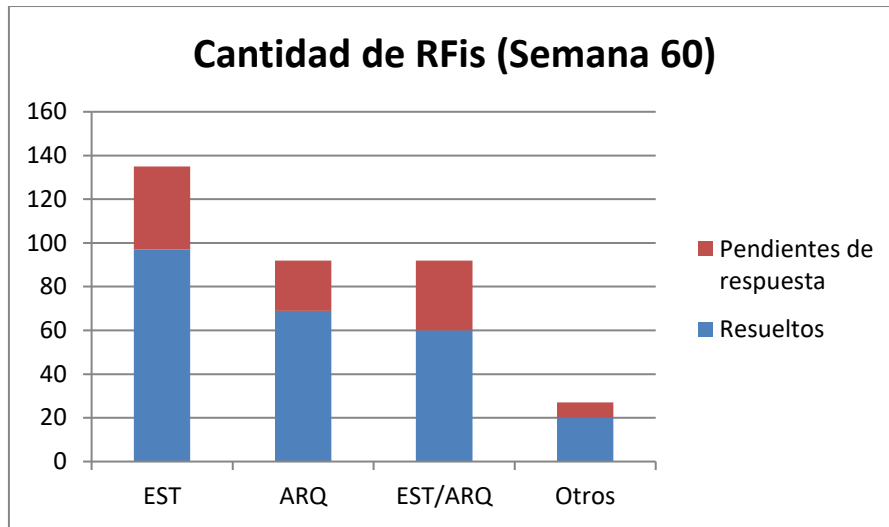


Figura 24. Cuantificación de RFIs entre las diferentes especialidades.
Fuente: Elaboración propia

- Evolución de RFIs con respecto a la especialidad de Estructuras (hasta la semana 60).** En el siguiente gráfico se puede notar el comportamiento de cómo los RFIs pendientes de resolver (en color naranja), se acumulan a partir de la mitad de la etapa de la ejecución del proyecto. Tienen un orden ascendente a partir de la semana 33. Otro punto a tomar en cuenta es que al inicio del proyecto, también hubo un incremento brusco de los RFIs pendientes de resolver (en color naranja), y eso se debe principalmente a la fase de cimentaciones.

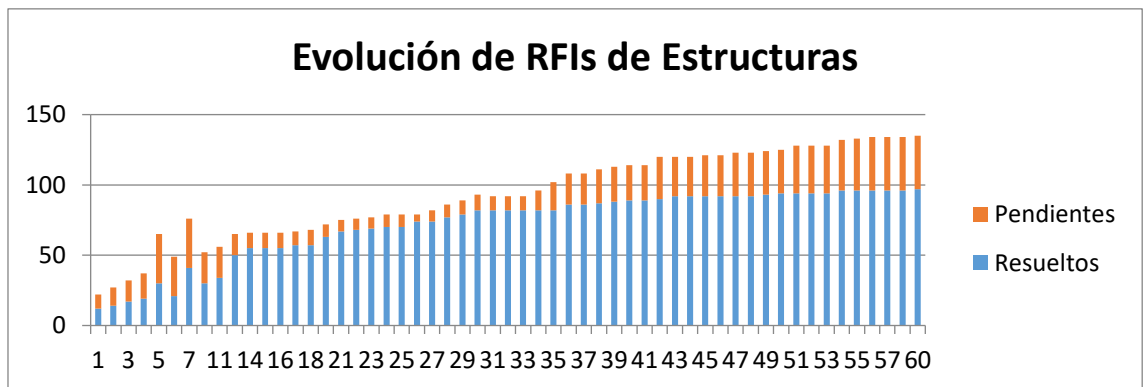


Figura 25. Evolución de RFIs de la especialidad Estructuras hasta la semana 60.

Fuente: Elaboración propia

7. Informe de órdenes de cambio hasta la semana 60. Es importante evaluar las órdenes de cambio, ya que estos generan efectos negativos tanto activos y pasivos en el flujo de trabajo. Cuanto más tardío se hace una orden de cambio, el efecto negativo es cada vez mayor.

- **Resumen de Matriz de Ordenes de Cambio.** Para la semana 60, se obtuvo que se acumularon 174 ordenes de cambio aprobados (que generaron demasiados adicionales en el proyecto). Mientras que 69 no fueron aprobadas. Y solo el 2% fueron ordenes de cambio de deductivos.

Tabla 12

Cuantificación de las órdenes de cambio realizadas en todo el proyecto

Descripción	Cantidad	%
Ordenes vigentes	174	70
Ordenes Anuladas	69	28
Ordenes Deductivos	6	2
TOTAL	249	100

Fuente: J. E. Contratistas

- **Ordenes de cambio separados por Especialidad:** Las órdenes de cambio se dan en su mayoría en la especialidad de Arquitectura (la mayoría de estas se refieren a modificaciones en cuánto a la distribución de espacios que el cliente modificó a última hora). Esto causó que estas modificaciones produzcan también modificaciones con respecto a las especialidades de Estructuras, e Instalaciones.

Tabla 13

Cuantificación de las órdenes de cambio por cada especialidad

Descripción	Cantidad	%
ARQ	132	53
EST	74	30

IISS	23	9
IIEE	1	0
ARQ/EST	0	0
ARQ/IISS	3	1
ARQ/IIEE	0	0
EST/IISS	4	2
EST/IIEE	0	0
IISS/IIEE	1	0
Otros	11	4
TOTAL	249	100

Fuente: Elaboración propia

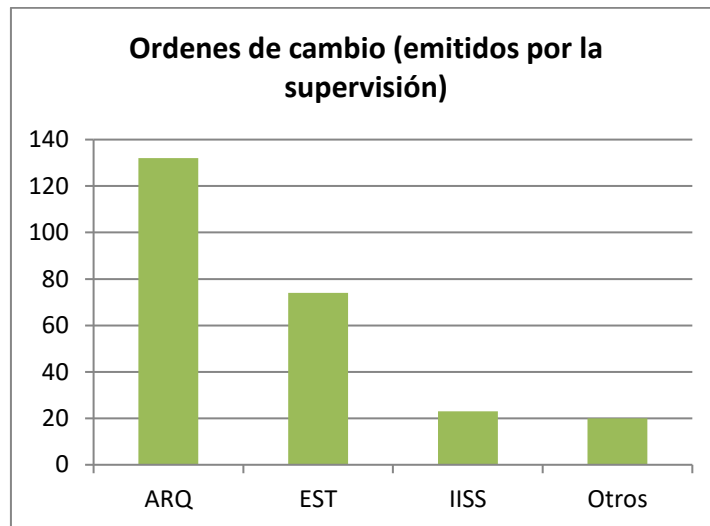


Figura 26. Gráfica de las órdenes de cambio por especialidad hasta la semana 60.
Fuente: Elaboración propia

c. Desempeño del Last Planner System

Con tal de fundamentar la razón por la que el uso del Last Planner, no logra disipar de forma efectiva la incertidumbre y variabilidad en proyectos Fast-track, es necesario evaluar su desempeño.

- 1. Evaluación de la evolución del PPC en la semana 25:** Haciendo una evaluación casi al 40% de avance del proyecto, se puede visualizar que al inicio del proyecto (las primeras semanas) se tuvo gran cantidad de incumplimientos de trabajos. Y que en las semanas posteriores se logró estabilizar medianamente

el PPC, pero muchas veces estuvo por debajo del 80%. Esto indica que el desempeño del PPC la mayor parte del tiempo fue ineficiente, ya que lo recomendable es tenerlo por encima del 80%.

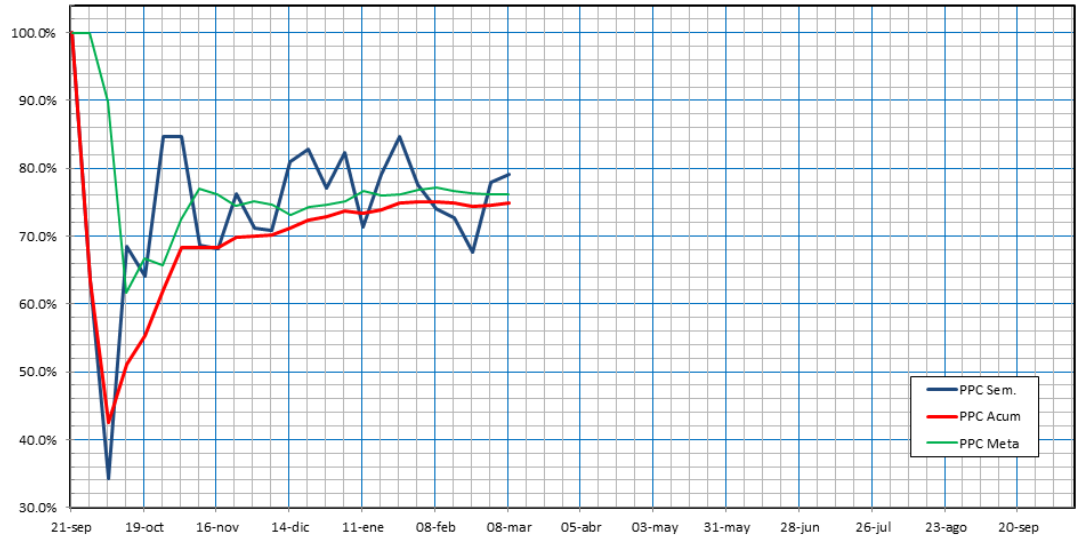


Figura 27. Evolución del PPC semanal (corte hasta la semana 25).

Fuente: J. E. Contratistas

- 2. Análisis de las CNC (causas de incumplimiento) en la semana 25:** La mayor causa de incumplimientos corresponde a los retrasos en las entregas de las actividades previas (actividades predecesoras) que corresponde al 67%. Como segunda causa de incumplimiento, está la inadecuada programación con un 14%.

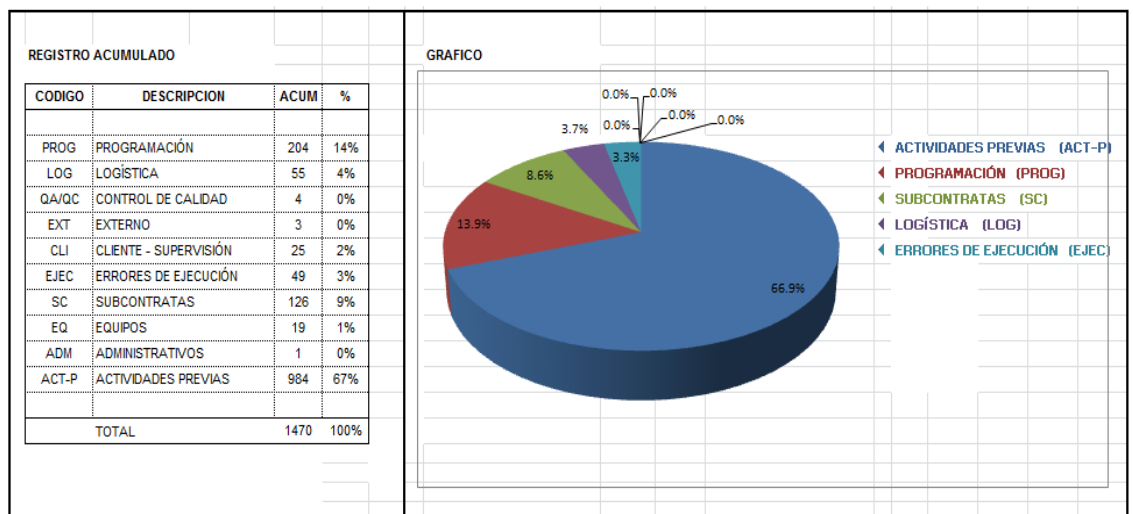


Figura 28. Análisis de causas de incumplimiento (corte hasta semana 25).

Fuente: J. E. Contratistas

3. Evaluación de la evolución del PPC en la semana 55: Luego de la semana 25, se puede observar que el PPC siguió siendo ineficiente (por debajo del 80%), hasta el mes de julio. A partir de allí, se lograron hacer planes con mayor confiabilidad. Sin embargo, al compararlo con la Curva S, se ve que entre el 1ro de junio al 1ro de agosto, la curva S redujo su pendiente, lo que quiere decir que se tuvo un avance muy menor comparado a los anteriores meses. Es decir, que pese a tener un PPC mayor al 80%, el avance real en obra era menor. La razón de ello es porque en el Last Planner se programaban menores cantidades de tareas pendientes a realizar, y eso hacía que se tenga un PPC mayor. Justamente cuando la Curva S recobró la misma pendiente (velocidad) que los meses anteriores a junio, el PPC del Last Planner volvió a caer, pero no demasiado (se siguió conservando por encima del 80%). De esta manera, en los últimos meses de ejecución del proyecto, se logró balancear el avance en la Curva S con el rendimiento en el PPC de una mejor manera.

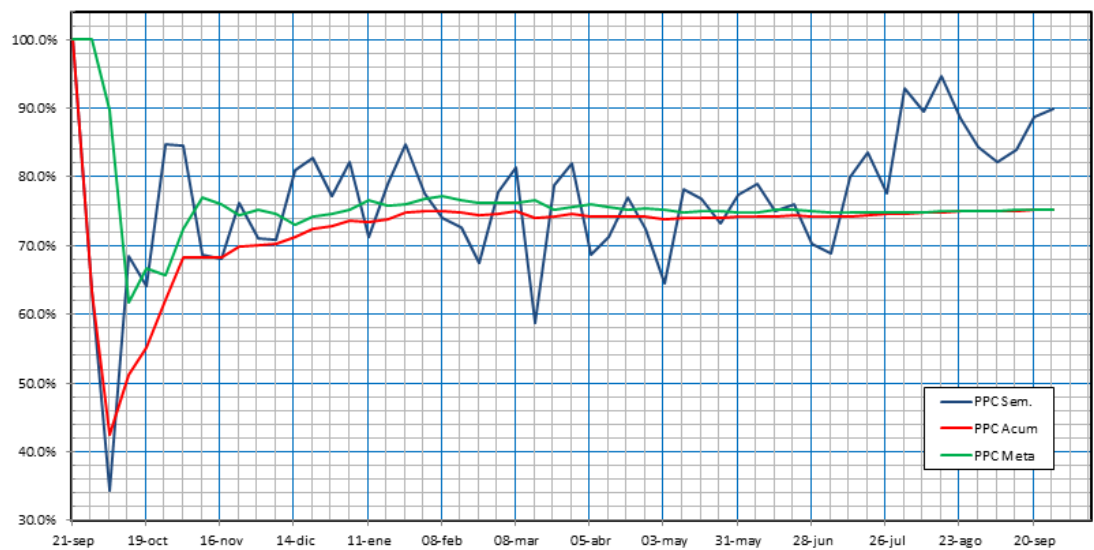


Figura 29. Evolución del PPC semanal (corte hasta la semana 55).

Fuente: J. E. Contratistas

4. Análisis de las causas de incumplimiento semana 55: Como se puede observar, las *actividades previas* fueron las causas de incumplimiento más concurrentes en este proyecto (71%), y continuó repitiéndose el mismo patrón al compararlo con el acumulado de la semana 25. En segundo lugar, según el planificador de obra (persona encargada de desarrollar el LPS en obra), indicó

se hacía una inadecuada programación en el Last Planner en el 10% de los casos, y en tercer lugar colocaba a los subcontratistas como un tercer causal de incumplimiento (10%).

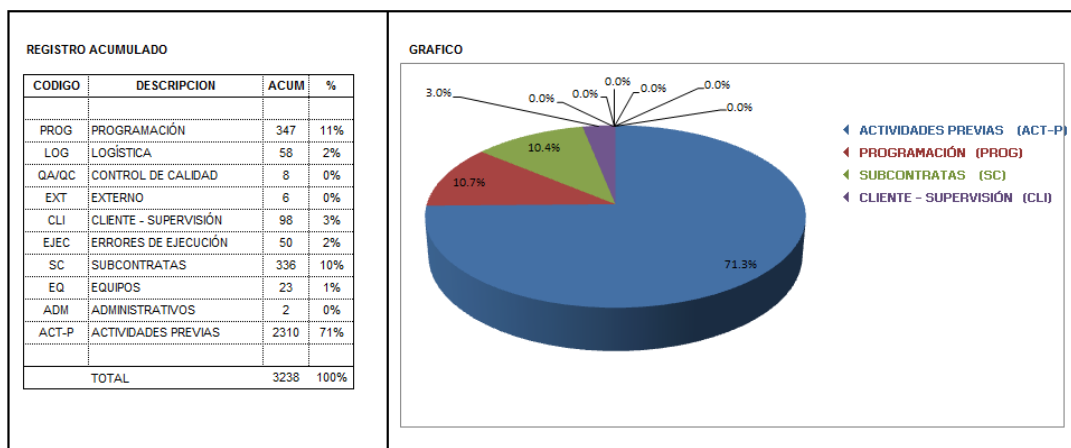


Figura 30. Evaluación de las causas de incumplimiento (corte hasta semana 55).
Fuente: J. E. Contratistas

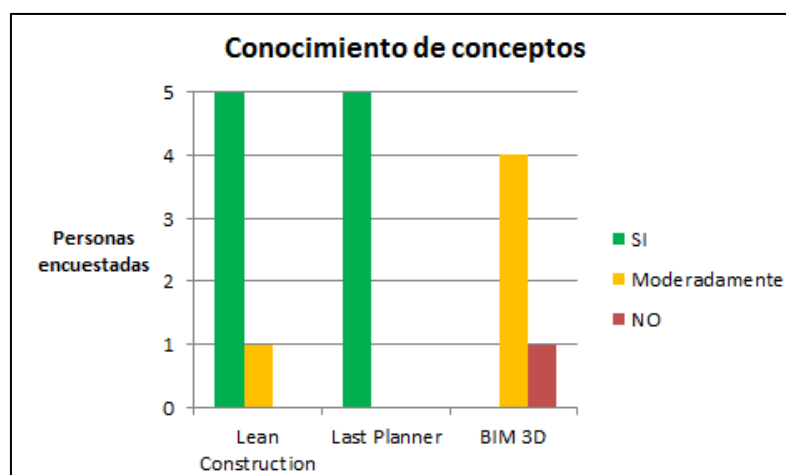
d. Información extraída de las encuestas: Las encuestas se realizaron al personal del staff con la finalidad de evaluar sus conocimientos (Sección A) y determinar si se usó de manera adecuada las herramientas BIM y el Last Planner (Sección B) durante la ejecución del proyecto, para gestionar la incertidumbre y variabilidad del flujo de trabajo/valor.

1. Sección A: evaluación de los conocimientos del staff respecto a la metodología del Last Planner y BIM. Esta sección de la encuesta tiene la finalidad de identificar si el personal del staff sabía las definiciones y el propósito del uso tanto del Lean Construction, Last Planner y BIM. De esta manera, determinar si conocían lo básico y la importancia de estas metodologías.

- **Conocimiento de conceptos:** El resultado de la encuesta demostró que la gran mayoría de los miembros del staff tenían un conocimiento básico acertado de lo que significa el Lean Construction, y lo mismo para el Last Planner. Sin embargo, en lo que se refiere a la metodología BIM, todos tenían un concepto

erróneo (la mayoría de los miembros del staff pese a entre comillas afirmar que conocían el significado de BIM, afirmaban que el propósito principal de esta metodología era la de identificar únicamente interferencias e incompatibilidades en los planos CAD). Por tal motivo, en la gráfica se puso que tenían un conocimiento moderado enfocado al BIM 3D.

FIGURA 4-28: Encuesta a miembros del staff acerca del conocimiento de conceptos



Fuente: Elaboración propia

- Percepción del conocimiento del manejo de la metodología del Last Planner: evaluando la percepción de las personas encuestadas con respecto a los demás trabajadores, creen que entre un 40 a 75% del staff puede que conozcan acerca del manejo del Last Planner. Y que menos del 15% de los capataces conocería acerca de esta herramienta.

2. Sección B: aplicación de la metodología Last Planner y BIM. En base a la encuesta hecha a los miembros del staff, se obtuvo la siguiente información.

- No se usó ninguna herramienta BIM en el proyecto.
- El uso del Last Planner ya formaba parte de la metodología de trabajo de la organización. Por tal motivo, el Last Planner se usó desde el inicio del proyecto y se continuó usando durante toda su ejecución (con la finalidad de que se haga la programación y control de todo el proyecto).
- Se realizó la sectorización y los trenes de trabajo en función a los volúmenes máximos de vaciado, cantidad de personal, encofrado disponible, juntas estructurales, simetría y lotes de trabajo similares.

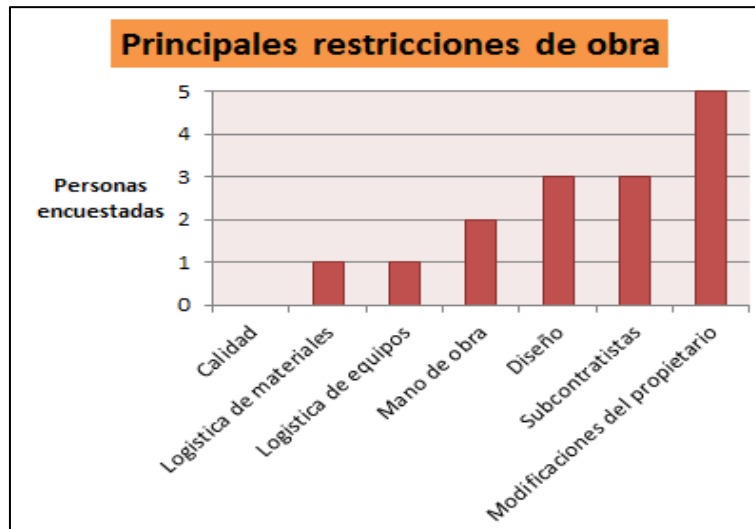
- El encargado de realizar la programación semanalmente del Last Planner era el jefe de planeamiento quién se reunía con los jefes de producción y encargados de obra para hacer las coordinaciones respectivas.
- Los capataces no eran partícipes de las reuniones. Los subcontratistas casi nunca eran partícipes de las reuniones.
- Las pautas que se tocaban normalmente en las **reuniones** semanales eran acerca de los rendimientos, restricciones, responsabilidades, las metas y compromisos.
- Los elementos del Last Planner que se utilizaron fueron: Cronograma Maestro, Look-ahead, Plan Semanal, PPC, análisis de restricciones y análisis de causas de incumplimiento.

3. Barreras del uso del Last Planner identificadas por los encuestados

- La mayoría respondió de que una gran barrera en el uso del Last Planner era los deficientes los *medios de comunicación* hacia los trabajadores de campo.
- Los encuestados respondieron que no ha habido una capacitación adecuada para el uso del Last Planner.
- En cuanto a las programaciones del Look ahead, no se tomaba en cuenta las tareas referentes a inspecciones de calidad.
- Todos los entrevistados afirmaron que no existió un sistema de retroalimentación del Last Planner durante la ejecución del proyecto.

4. Principales restricciones de obra identificadas por los encuestados: La siguiente gráfica se hizo con tal de identificar las restricciones más frecuentes y de mayor impacto que se han presentado en este tipo de proyectos Fast-track. Esto muestra que los miembros del staff identifican que “las modificaciones hechas por el propietario” generan la mayor cantidad de restricciones, y una moderada cantidad de restricciones son generadas por “subcontratistas” y por el “diseño”. En menor medida está la “mano de obra” y la “logística”.

FIGURA 4-29: Encuesta a miembros del staff acerca de las principales restricciones identificadas en obra



Fuente: Elaboración propia

- 5. Factores críticos de mayor influencia, según los entrevistados:** El siguiente cuadro se hizo en base a la metodología del triángulo de hierro usado en gestión de proyectos (alcance, tiempo, coste y calidad). De esta manera, se puede identificar qué actividades generan mayor impacto en este tipo de proyectos. El movimiento de tierras, las plateas de cimentación, las escaleras y rampas, los cerramientos de fachada, fueron los que han impactado negativamente en este proyecto. Esto sumando con baja calidad, modificaciones de planos y de alcance han aumentado los problemas

TABLA IV-16: Actividades críticas detectadas por los encuestados

Actividades críticas identificados por los encuestados			
Retrasos (tiempo)	Sobre costos	Calidad	Re trabajos
Movimiento de tierras	Encofrado de elementos de concreto	Estructuras de concreto mal vaciados	Reparación de cangrejeras en losas, vigas y columnas
Trabajos de escaleras y rampas	Modificaciones en el alcance del proyecto	Vaciado en la platea de cimentación	Platea de cimentación

		y en columnas	
Modificaciones en planos	Desgaste de los encofrados		Tabiquería por cambios en la ubicación del diseño
Cerramiento de fachadas			

Fuente: Elaboración propia

6. Información adicional

- La ejecución de este proyecto fue de gran envergadura y se ejecutó en una sola etapa.
- La logística fue compleja pero pudo manejarse de la mejor forma con un planeamiento constante.
- Se tuvo una cuadrilla especializada en la limpieza diaria de todo el proyecto.
- El trabajo se realizó en doble turno: día y noche. El trabajo los domingos era normalmente hasta la 1pm. En algunas ocasiones era necesario realizar el trabajo las 24 horas.
- Se contó con 8 grúas torre para cubrir todo el proyecto.
- Se usó el sistema prefabricado de prelosas macizas, y encofrado metálico.

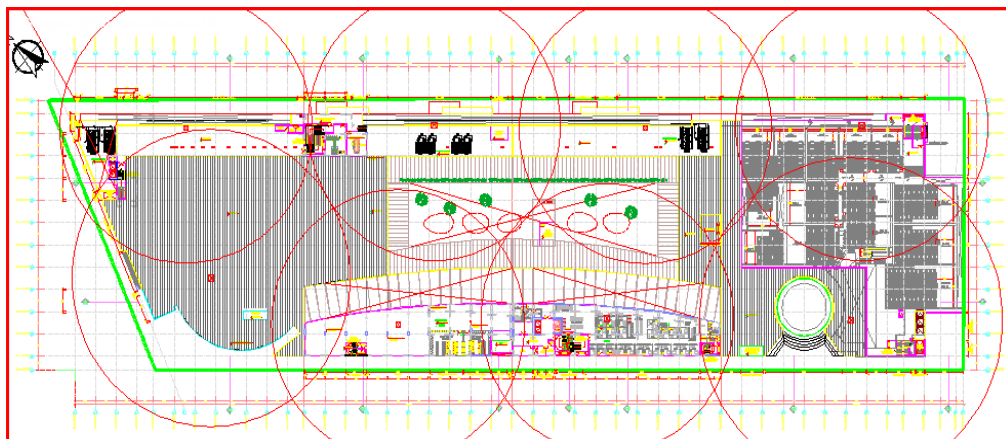


Figura 31. Distribución de Torres Grúas.
Fuente: J. E. Contratistas

3.1.2 Proyecto 2: “Centro Comercial Plaza Surco” (Etapa I y Etapa II – En Ejecución)



Figura 32. Imagen referencial del proyecto.

Fuente: J. E. Contratistas

a. Información general del proyecto

1. **Descripción.** El presente proyecto se encuentra ubicado en la Av. Jorge Chávez N° 273 en el distrito de Santiago de Surco de la provincia de Lima.

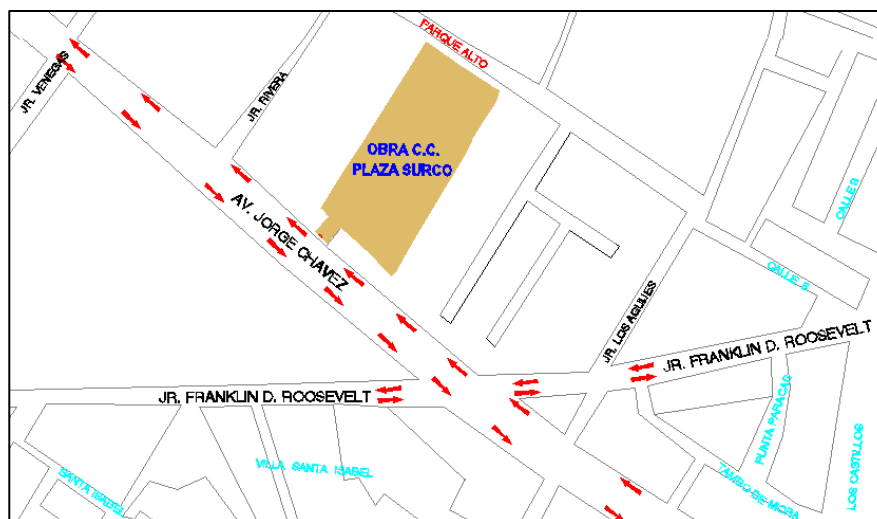


Figura 33. Ubicación del proyecto.

Fuente: J. E. Contratistas

Como se puede visualizar en la Figura 33, las oficinas y el almacén se encuentran dentro del área del proyecto de construcción, los cuales están sombreados en color verde y el ingreso se realiza por la Av. Jorge Chávez. Además, también se puede

notar que la entrada principal de la maquinaria al proyecto, se realiza también por la Av. Jorge Chávez, donde se ubica una rampa de ingreso.

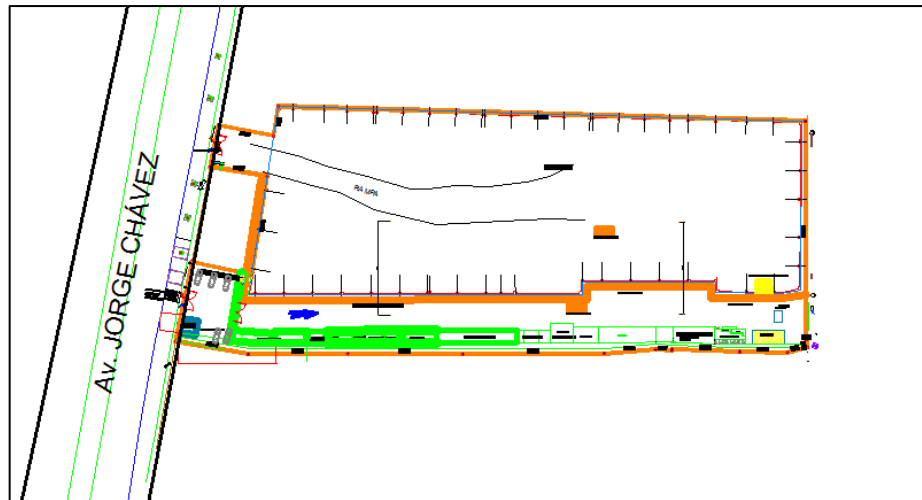


Figura 34. Layout del proyecto.
Fuente: J. E. Contratistas

2. Características del proyecto:

- Propietario: Asociación de propietarios Jorge Chávez.
- Supervisión- Ing Helbert Cesar Asmad Quiroz.
- Proyectistas: SEINTEC S.A.C (Servicios de Ingeniería, Tecnología y Construcción SAC).
- La ejecución del proyecto se ejecuta en tres etapas.
- Área de terreno: 7802.21 m².
- Área total construida:
 - o Etapa I: No incluye área construida.
 - o Etapa II: 31 047.93 m²
 - o Etapa III: 25 885.54.
- El monto original contractual (incluye IGV):
 - o Etapa I: 4 649 958.91 soles
 - o Etapa II: 21 732 104.03 soles
 - o Etapa III: No definido.
- La modalidad del contrato fue a suma alzada.
- El modelo de gestión que se usó fue *Fast-track*.

3. Distribución Arquitectónica

Está conformado por tres sótanos, 1 semisótano y 4 niveles aéreos. Se va a contar con coberturas metálicas ubicados en el último nivel.

- ❖ Áreas techadas para la Etapa II:

Tabla 14

Distribución Arquitectónica correspondiente a la Etapa II del proyecto

NIVELES	ÁREA (m²)
CISTERNA	306.69
SÓTANO 3 (-13.50 m) Estacionamientos	7802.21
SÓTANO 2 (-10.00 m) Estacionamientos	7765.33
SÓTANO 1 (-06.50 m) Estacionamientos	7910.74
SEMI SÓTANO (-03.00 m) Bancos, supermercados	7262.96
TOTAL	31 047.93

Fuente: J. E. Contratistas

- ❖ Áreas techadas para la Etapa III:

Tabla 15

Distribución Arquitectónica de la Etapa III del proyecto

NIVELES	ÁREA (m²)
NIVEL 1 (+03.00 m) Locales comerciales, galerías comerciales, tienda por departamento.	6563.35
NIVEL 2 (+08.50 m) Locales comerciales, galerías comerciales, tienda por departamento.	6396.57
NIVEL 3 (+14.00 m) Locales comerciales, galerías comerciales, tienda por departamento.	6364.57
NIVEL 4 (+19.50 m) Locales comerciales, galerías comerciales, Cine.	6213.17
NIVEL 5 (+25.00 m) Patio de eventos	347.88
TOTAL	25 885.54

Fuente: J.E. Contratistas

4. Alcance del proyecto. El proyecto se dividió en tres etapas de ejecución.

❖ **Etapa I:**

Consistió en la ejecución del muro pantalla perimetral solo en 3 lados del terreno dejando libre la zona de la rampa para la entrada de equipos.

El alcance consta de la culminación del muro pantalla, excavación y eliminación de la rampa existente y la cimentación perimetral del muro pantalla.

- Obras preliminares y provisionales
- Demoliciones.
- Movimiento de Tierras (Excavación masiva y localizada, y rellenos).
- Anclajes inyectados post-tensados.
- Estructura de concreto armado en muro perimetral (incluye sus cimentaciones).



Figura 35. Ejecución de la Etapa I del proyecto (Muros Pantalla).

Fuente: J. E. Contratistas

❖ **Etapa II:**

Consta de la construcción de los tres sótanos y el semisótano. La labor está enfocada para la especialidad de estructuras, IISS e IIEE en Casco. Además, el alcance solo consta del entubado de cables, pero sin el cableado.

- Obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud.
- Excavación masiva.
- Estructuras.
- Instalaciones Eléctricas (Entubado).

- Instalaciones Sanitarias (Entubado).

❖ **Etapa III:** El alcance del proyecto para la tercera etapa constituye en realizar la construcción de cinco niveles para la superestructura.

- Obras civiles y estructuras.
- Arquitectura.
- Instalaciones Sanitarias.
- Instalaciones Eléctricas.

5. Frentes de trabajo y sectores. La construcción de esta edificación consta de dos frentes de trabajo. Cada frente de trabajo está conformado por tres sótanos, 1 semisótano y 4 niveles aéreos. En ambos frente de trabajo, se va a contar con coberturas metálicas ubicados en el último nivel.

El frente 1 tiene 10 subsectores al igual que el frente 2 para los sótanos y semisótanos. Mientras que para las cimentaciones, el frente 1 presenta 8 subsectores y el frente tiene 6 subsectores.

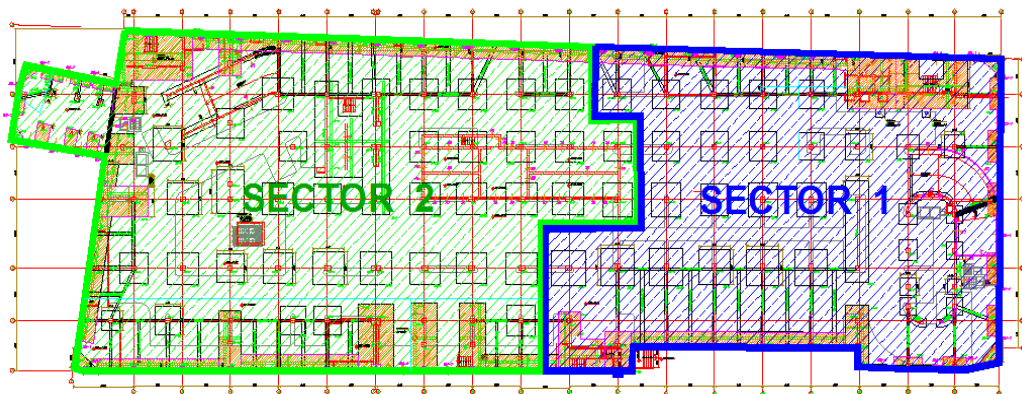


Figura 36. Frentes de trabajo (2 frentes de trabajo).

Fuente: J. E. Contratistas

6. Estructura organizacional del Proyecto (Organigrama). El proyecto solo tuvo un residente de obra para ambos frentes de trabajo.

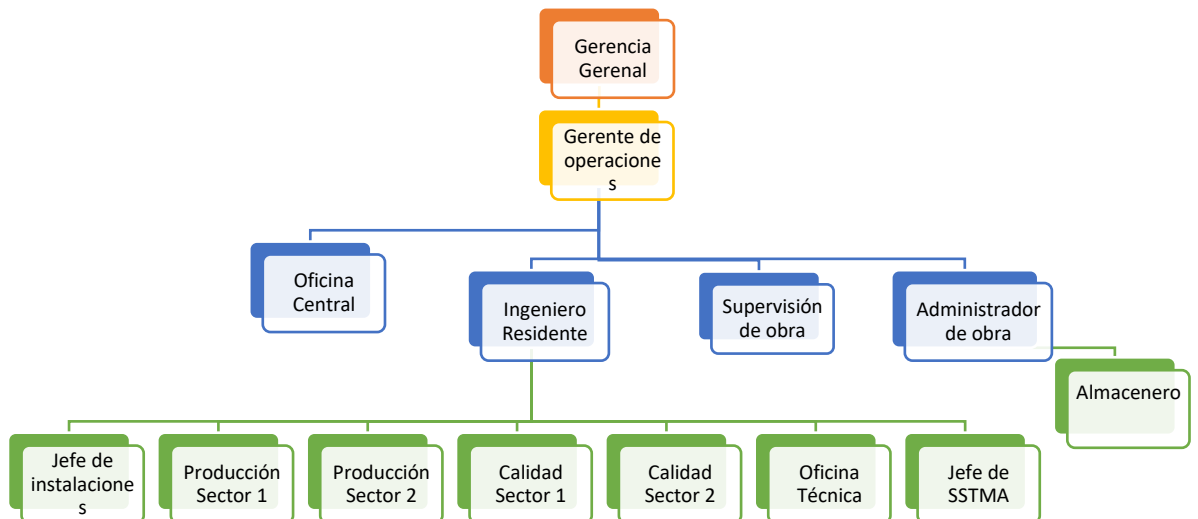


Figura 37. Estructura organizacional del proyecto.
Fuente: J. E. Contratistas

7. Tiempo de ejecución. La ejecución de la obra consta de tres etapas: La Etapa I fue culminada en el mes de septiembre la cual consistía en los trabajos de excavación y la culminación de los muros pantalla. La etapa II consta de entregar la cimentación, los 3 sótanos y el semisótano de ambos sectores. La etapa III corresponde a la entrega de todos los pisos superiores incluyendo los trabajos de arquitectura.

❖ **Ejecución** de la Etapa I: (4 meses: 120 días calendario)

- Inicio: 1 de abril del 2016.
- Fin: 29 de julio del 2016.

❖ **Ejecución** de la Etapa II: (8 meses: 255 días calendario).

Comenzó el 17 de octubre del 2016 y se tiene proyectado que esta etapa tenga una duración de 8 meses hasta a fines del mes de Julio del 2017.

❖ **Ejecución** de la Etapa III: (Sin definir)

8. Hitos del proyecto: A continuación, se muestran los hitos contractuales del proyecto.

Tabla 16

Hitos contractuales de todo el proyecto

HITO	DESCRIPCION	FECHAS
Hito 0	Inicio de obra	01/04/2016
Hito 1	Inicio de la Etapa I	01/04/2016
Hito 1.1	Culminación del muro Eje 21 – G - A	01/07/2016
Hito 1.2	Fin de la Etapa I	29/07/2016
Hito 4	Inicio de la Etapa II	17/10/2016
Hito 5	Fin de la Etapa II	27/07/2017
Hito 6	Inicio de la Etapa III	No definido
Hito 7	Fin de la Etapa III	No definido
Hito 8	Fin proyectado de la obra	No definido

Fuente: J. E. Contratistas

- 9. Presupuesto del costo directo.** Este cuadro muestra que la especialidad de estructuras es la que tiene mayor influencia en el presupuesto para la etapa II de ejecución, siendo un 86%. Dado que los trabajos arquitectónicos no se incluyen en esta etapa, estas no tienen incidencia.

Presupuesto por especialidad (etapa II)			
Cod	Descripción	Monto parcial	Porcentaje
1	Obras provisionales	S/. 1.825.600,57	12%
2	Estructuras	S/. 13.530.328,58	86%
3	Instalaciones Eléctricas	S/. 193.032,84	1%
4	Instalaciones Sanitarias	S/. 144.682,70	1%
Costo Directo		S/. 15.693.644,69	

b. Información respecto a la ejecución del proyecto:

- 1. Secuencia de ejecución del proyecto.** La secuencia de ejecución de ambos frentes de trabajo para la etapa II, se comenzó al mismo tiempo, pero de forma

irregular y discontinua. Como se ve en la imagen, la construcción se ha desarrollado más en los bordes en solo una parte. La razón, fue porque la rampa de tierra estaba en el frente 2, y la cisterna estaba ubicado al centro del proyecto. Además, se dejaba espacios alrededor de la cisterna por si acaso, con tal de movilizar las maquinarias, tener estaciones de trabajo y ubicar los materiales.



Figura 38. Avances del C.C Plaza Surco (frente 2), durante la etapa II (rampa de tierra).
Fuente: Propia.



Figura 398. Avances del C.C Plaza Surco (frente 1 y 2), durante la etapa II.
Fuente: Propia.

- 2. Curva S.** Se muestra que al inicio, se avanzó mucho (lo cual indica un alto índice de productividad), pero con el pasar de las semanas disminuye el porcentaje de avance.

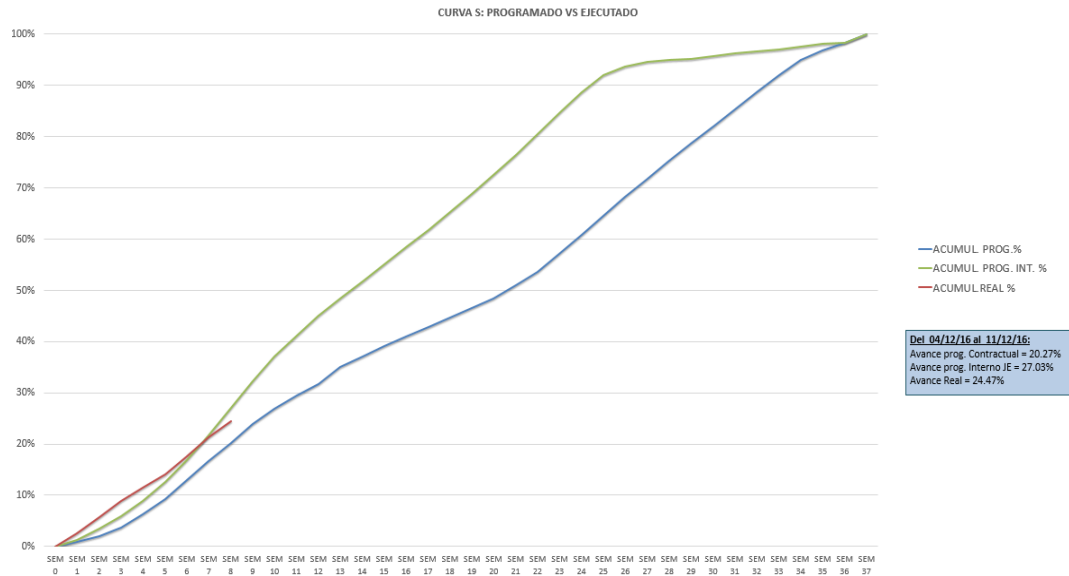


Figura 40. Curva S Global (Contractual en azul vs Real en rojo).
Fuente: J. E. Contratistas

c. Desempeño del Last Planner System (etapa II):

Para este proyecto, se ha utilizado el *Look Ahead*, análisis de restricciones, plan semanal, el PPC y el análisis de las causas de incumplimiento.

- 1. Evaluación del PPC acumulado hasta la semana 8.** Como se puede observar, el PPC fue evaluado según el avance de cada frente de trabajo. Sin embargo, el *Last Planner* se empezó a usar a partir de la semana tres, a pesar de que su uso ya formaba parte de las políticas de la organización. Al inicio, se muestra que el PPC semanal del Frente 2 es demasiado bajo, a comparación del Frente 1. Pero poco a poco, se va estabilizando.

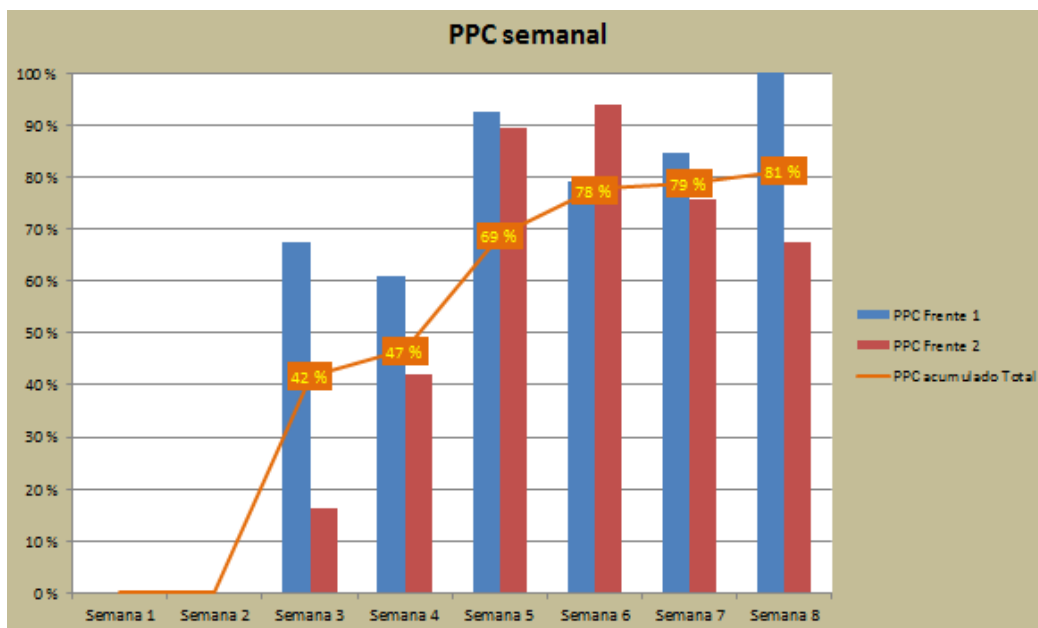


Figura 41. Evolución del PPC para los 2 Frentes de Trabajo (8 semanas).
Fuente: Elaboración Propia

2. Análisis de incumplimiento. El análisis de incumplimientos registrado muestra que los subcontratas y las inexactitudes para las programaciones son las que conducen a la mayor cantidad de causas de incumplimiento.

- Las causas de incumplimiento referidas a subcontratas se refieren a que los subcontratistas no tuvieron la necesaria cantidad de Mano de Obra para ejecutar las actividades. Esto se debe a la falta en la coordinación del avance.
- Las causas externas referidas al análisis de incumplimiento se refieren a los cambios en el diseño y que recién se está consolidando los detalles del Plan Maestro.

- **Frente 1:**

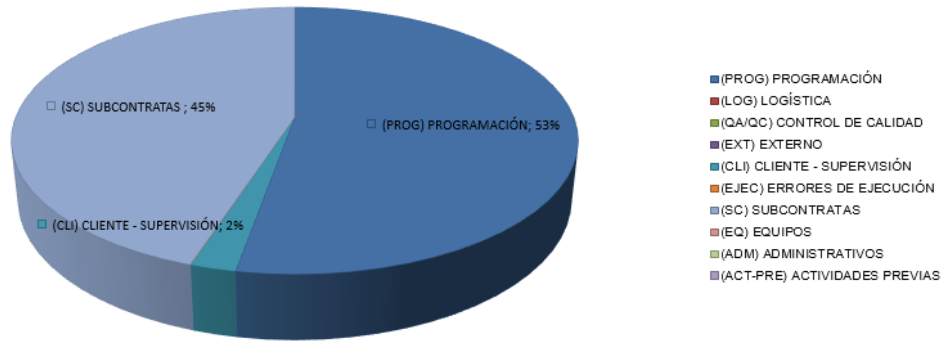


Figura 42. Análisis de incumplimiento del Frente 1 (8 semanas).
Fuente: J. E. Contratistas

- **Frente 2:**

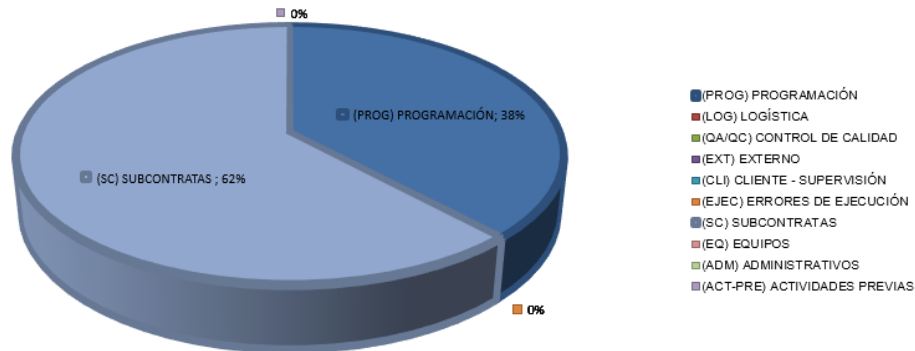


Figura 43. Análisis de incumplimiento del Frente 2 (8 semanas).
Fuente: J. E. Contratistas

d. Información extraída de las encuestas: La siguiente encuesta se realizó a seis personas pertenecientes al staff del proyecto.

1. Sección A: evaluación de los conocimientos del staff respecto a la metodología del Last Planner y BIM.

- Conocimiento de conceptos: El resultado de la encuesta demostró que la mayoría de los miembros del staff tenían un conocimiento básico acertado del significado del Lean Construction, y más aún del Last Planner. Sin embargo, en cuanto a la metodología BIM, tenían conocimientos moderados.

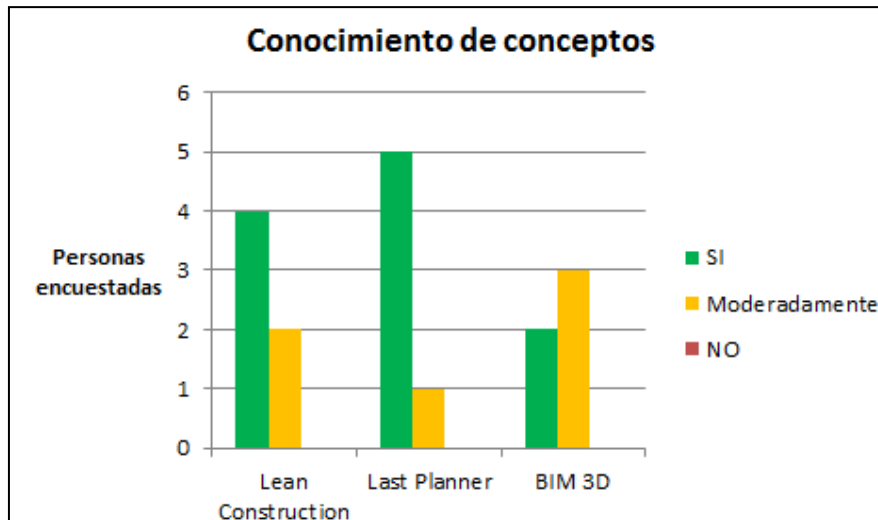


Figura 44. Encuesta a miembros del staff acerca del conocimiento de conceptos.
Fuente: Elaboración propia

- Percepción del conocimiento del manejo de la metodología del LPS: Según las personas encuestadas, creen que entre un 50 a 75 % del staff conoce acerca del manejo del *Last Planner*. Y que menos del 25 % de los capataces, conoce acerca de esta herramienta.

2. Sección B: aplicación de la metodología Last Planner y BIM. Con tal de evaluar, no solo la teoría sino el nivel de desempeño de ambas metodologías en la práctica, se les preguntó adicionalmente a los encuestados algunos detalles importantes. Y se obtuvo la siguiente información.

- No se usó ninguna herramienta BIM en el proyecto.
- El uso del *Last Planner* ya formaba parte de la metodología de trabajo de la organización. Sin embargo, por falta de capacitación, se comenzó a usar recién para la semana tres. Su uso se piensa continuar durante toda la ejecución del proyecto debido a la cultura de trabajo de la empresa.
- Se realizó la sectorización en función al cronograma interno de obra, a la experiencia y a los ratios previstos.
- Los trenes de trabajo se hicieron en función a la cantidad de cuadrillas, a los volúmenes de vaciado y a la rotación de encofrados con la finalidad de generar áreas y volúmenes similares.

- Los encargados de realizar la programación semanal del *Last Planner* son los jefes de cada área de trabajo: residente, oficina técnica, producción, calidad y planeamiento.
- Los capataces casi nunca son partícipes de las reuniones semanales. En cambio, los subcontratistas son moderadamente partícipes de las reuniones.
- Las pautas que se tocaban normalmente en las reuniones semanales eran acerca de la Curva S, restricciones, PPC, volúmenes de vaciado y planeamiento.
- Los elementos del *Last Planner* que se utilizaron fueron: Cronograma Maestro, *Look-ahead*, Plan Semanal, PPC, análisis de restricciones y análisis de causas de incumplimiento.

3. Barreras del uso del Last Planner identificadas por los encuestados

- La mayoría respondió que una gran barrera en el uso del *Last Planner*, eran los medios de comunicación hacia los trabajadores de campo.
- Los encuestados respondieron que no ha habido una capacitación profunda y adecuada en cuanto al uso de la metodología del *Last Planner*.
- Para la elaboración del *Last Planner*, no se incluía las tareas respecto a las inspecciones de calidad en las programaciones del *Look Ahead*.
- Todos los entrevistados afirmaron que no existe un sistema de retroalimentación durante la ejecución del proyecto.

4. Principales restricciones de obra identificadas por los encuestados: Los entrevistados identificaron que las restricciones más frecuentes y de mayor impacto han sido principalmente en cuanto al “diseño”. Una moderada cantidad en lo referente a los “subcontratistas” y a los “modificaciones del propietario”. Y en menor medida a la “mano de obra”.

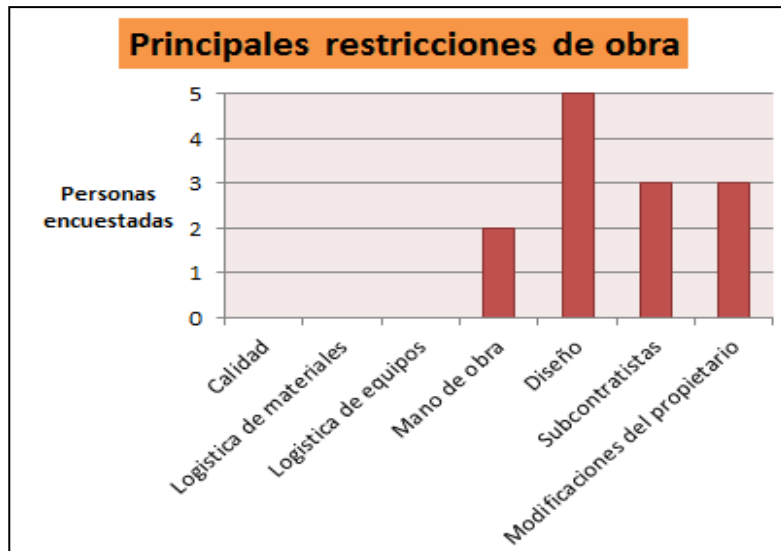


Figura 45. Encuesta a miembros del staff acerca de las principales restricciones identificadas en obra.

Fuente: Elaboración propia

5. Factores críticos de mayor influencia, según los entrevistados: El siguiente cuadro se hizo en base a la metodología del triángulo de hierro usado en gestión de proyectos (alcance, tiempo, coste y calidad). Las actividades que generan mayor impacto según los encuestados son las cimentaciones, el desencofrado, cisterna, ductos enterrados, redes de desagüe y eléctricas, escaleras y acabados. Esto sumado a la falta de definición de planos, incompatibilizaciones, interferencias, y cambios en el proyecto (modificación del diseño), generan un mayor aumento en la incertidumbre y variabilidad. Esto conlleva a muchos re-trabajos y a realizar trabajos de forma apresurada generando como consecuencia no conformidades de calidad, sobrecostos y retrasos.

Tabla 17

Aspectos críticos detectadas por los encuestados

Aspectos críticos identificados por los encuestados			
Retrasos (tiempo)	Sobre costos	Calidad	Re trabajos
Planos definidos	no	Interferencia de estructura con especialidades	Vaciado de elementos estructurales
			No conformidades: Segregaciones y cangrejas

Especialidades no compatibilizadas	Cisterna y cimentaciones	Especialidades no consideradas	Trabajos rehechos por no compatibilizar especialidades en planos
Cimentaciones	Redes de desagüe y eléctricas	Acabados	Trabajos rehechos debido a cambios en el proyecto
Tiempos de desencofrado	Ductos enterrados	Columnas y Placas	Trabajos rehechos por mal encofrado y encofrado maltratado
Redes enterradas	Desperdicios de vaciado de concreto	Cisterna y escaleras	
Cisterna, ductos enterrados, losa de piso			

Fuente: Elaboración propia

6. Información adicional/toma de decisiones

- La transición entre la etapa I y la etapa II demoró dos meses, generando inactividad durante todo ese tiempo.
- El proyecto aún no cuenta con la información necesaria del alcance para ejecutar la etapa III, sin embargo, se posee los planos estructurales para la etapa III.
- Una restricción importante en este proyecto es el impedimento de trabajar en doble turno.
- En las primeras semanas, las reuniones no se realizaron de forma interna. Mientras que las reuniones entre el propietario/supervisor y el contratista se llevaron de manera quincenal.
- Una forma de disipar la variabilidad fue colocar dos grúas de forma que abarcaran toda la zona del proyecto. Además, se tiene dos vías de acceso al proyecto. Uno que baja por la rampa hasta llegar hasta la zona de excavación y otro acceso hacia las oficinas del proyecto. Aprovechando el segundo ingreso, se puede permitir el ingreso de hasta cuatro mixers dentro del proyecto para que puedan en simultáneo vaciar el concreto en el lugar y no generar congestión vehicular en el exterior.

- Se tiene previsto usar sistemas prefabricados de prelosas para mejorar el avance en el proyecto, y encofrado metálico.

3.1.1 Proyecto 3: Centro Comercial Mega Plaza Villa el Salvador II: (2016 - 2017)



Figura 46. Imagen del centro comercial.
Fuente: H y HE Contratistas Generales SAC

a. Información general del proyecto:

1. Características del proyecto:

- Cliente: Inmobiliaria LAMBORE SAC.
- Empresa Constructora: H y HE Contratistas Generales SAC (Huarcaya Constructora).
- Supervisión: SICGSAC.
- Plazo de ejecución: 167 días calendario.
- Presupuesto: 17,241,138.03 soles (incluye IGV) (14,611,133.92 soles +IGV)
- Modalidad de contrato: Suma Alzada.
- El modelo de gestión que se utilizó fue *Fast-track*.

2. Alcance. El proyecto consiste en la ejecución de lo siguiente:

- Obras provisionales.
- Trabajos preliminares
- Estructura.
- Arquitectura.

- Instalaciones Sanitarias (IISS).

3. Frentes de trabajo y sectores. Para la ejecución del proyecto, se dividió en cuatro “grandes zonas” (en cuatro frentes de trabajo). La infraestructura de cada frente de trabajo consta de un sótano y de un 1er piso.

- o Zona de Tottus.
- o Zona de Mall.
- o Zona de Cines.
- o Zona de Exteriores.

No se realizó un tren de actividades ni se hizo la subsectorización, por lo que a grandes rasgos, el avance se medía por el rendimiento de las cuadrillas diariamente, y no por subsectores.

4. Cronograma contractual: Con una duración de 167 días calendarios, se tenía previsto:

- Fecha de inicio de obra: 1 de agosto del 2016.
- Fecha de fin de obra: 15 de enero del 2017.

5. Hitos contractuales:

El hito 11 es uno de los más importantes (porque pertenece a la evaluación final que hace INDECI).

Las fechas de entrega de los hitos, muestra que hay una tardanza de aproximadamente 8 días promedio, para el 13 de octubre.

Tabla 18

Hitos contractuales del proyecto

HITO	FECHA Contractual	DESCRIPCIÓN	Fecha de Entrega Real
Hito 0	01/08/2016	Inicio de obra	01/08/2016
Hito 1	05/09/2016	Entrada temprana del implementador al área de caja de Tottus	12/09/2016
Hito 2	15/09/2016	Caja cerrada de Tottus	

Hito 3	30/09/2016	Cisternas impermeabilizadas y cuarto de bombas	14/10/2016
Hito 4	05/10/2016	Caja cerrada de Cines	11/10/2016
Hito 5	05/10/2016	Área tanque de Gas	13/10/2016
Hito 6	25/10/2016	Caja Cerrada de Locales	
Hito 7	26/10/2016	Cuartos Técnicos	
Hito 8	20/11/2016	Instalación y puesta en marcha de equipos de IISS	
Hito 9	25/11/2016	Áreas comunes primera etapa	
Hito 10	28/11/2016	Oficinas y cuartos de control	
Hito 11	28/11/2016	INDECI: revisión y obtención del certificado de inspección	
Hito 12	15/01/2017	Fin de obra	

Fuente: H y HE Contratistas Generales SAC

- 6. Presupuesto contractual:** Este proyecto se realizó en una sola etapa, y se puede ver que la especialidad de estructuras ha tenido mayor incidencia en el presupuesto.

Tabla 19

Distribución del presupuesto por especialidad

Presupuesto por especialidad				
Cod	Descripción	Monto parcial		Porcentaje
1	Obras provisionales	S/	820 289.88	6 %
2	Estructuras	S/	6 783 124.30	52 %
3	Arquitectura	S/	4 517 110.95	35 %
4	Instalaciones Sanitarias	S/	725 663.37	6 %
5	Exterior Complementario	S/	145 014.46	1 %
Costo Directo		S/.	12 991 202.96	

Fuente: H y HE Contratistas Generales SAC

b. Información respecto a la ejecución del proyecto:

- 1. Secuencia de ejecución del proyecto.** Las 4 zonas se comenzaron a ejecutar al mismo tiempo, y el avance de obra se hizo en base a la experiencia del jefe de

campo. Debido a que no hubo restricciones de espacio, no hubo ninguna rampa de tierra que limitara el avance en el proyecto.



Figura 47. Ejecución del Centro Comercial “Mega Plaza Villa el Salvador II”.
Fuente propia



Figura 48. Ejecución del Centro Comercial “Mega Plaza Villa el Salvador II”.
Fuente propia

2. Avance de obra:

La siguiente curva S, muestra el avance real en el Hito 8. En aquí, la fase de estructuras, está por terminar y solo falta la fase de arquitectura. Como se puede observar, por primera vez, el avance real en las últimas semanas, se empezó a retrasar demasiado, a comparación de los anteriores meses.

El control de avance de obra se realizó mediante dos modalidades:

- Curva S para el control del porcentaje de avance real según el cronograma = 78 %
- Curva S en función al avance de costos (valorización) = 65 – 75 %

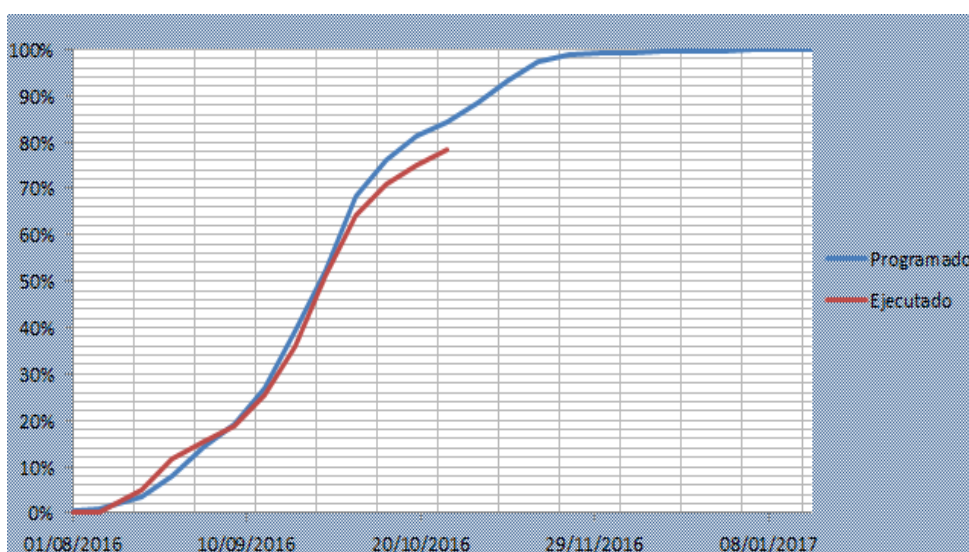


Tabla 20. Curva S global (Programado vs Ejecutado).
Fuente: H y HE Contratistas Generales SAC

c. Desempeño del Last Planner System

El *Last Planner* se usó desde la segunda semana de ejecución del proyecto, sin embargo, su uso fue interrumpido en la semana 10. Esto fue debido a que el uso del *Last Planner* no formaba parte de la metodología de trabajo de la organización. Y que su uso fue por iniciativa personal del encargado de producción.

La metodología del *Last Planner*, se usó de forma incompleta, ya que muchas de las herramientas se obviaron. No se realizaba un *Look Ahead*, ni se hacía el análisis de restricciones. El Plan semanal lo hacía únicamente el jefe de campo en función al Plan Maestro y a los entregables del WBS. Y con ello, se sacaba un aproximado de los ratios que se debería llegar en cada día de la semana.

Lo que se usaba como parte de las herramientas del *Last Planner* era el Plan diario y Reportes diarios en cuanto al avance del proyecto. El seguimiento diario consistía en la medición del PPC, análisis de causas de incumplimiento.

Otra aspecto importante a resaltar es que durante la implementación del *Last Planner*, no se hizo un seguimiento para los días sábado ni para medir los avances

en el turno de noche. Además, había días en los que no se identificó las causas de incumplimiento.

Al final, se detuvo la implementación del Last Planner debido a que el encargado de implementar, lo reasignaron para que realice un reporte general por Órdenes de la Gerencia.

1. Evaluación del PPC:

Un aspecto importante fue que, el PPC se medía diariamente para que se pueda identificar mejor las actividades que tenían más incumplimiento y las causas de estos.

El PPC semanal, se muestra a continuación durante la implementación del *Last Planner* (ocho semanas). Esta gráfica se hizo a cuenta propia para visualizar mejor el comportamiento del PPC, ya que en el informe hecho por la empresa, no aparecía la gráfica.

Como se puede observar, la medición semanal del PPC fue disminuyendo hasta la semana 6, y poco a poco se comenzó a recuperar.

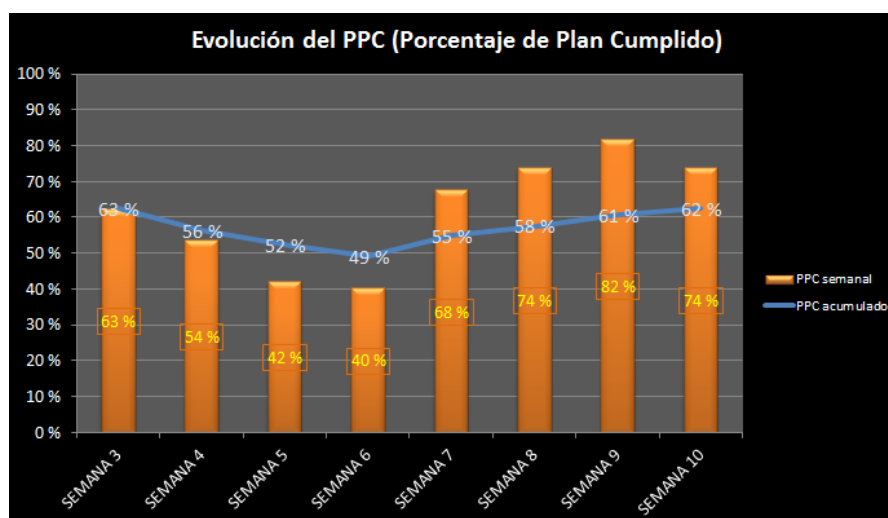


Figura 49. Evolución del PPC (implementación de 8 semanas).
Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, un importante dato que se pudo notar en este proyecto, es que se hizo el PPC diario en combinación con las horas hombre (hh) que se ejecutaron

cada día. Esto ha dado como resultado que se haga un seguimiento de las hh que se perdían o ganaban en función a las hh planeadas diariamente. Esto demostró que a pesar de que en algunas ocasiones el PPC se cumplía diariamente, se requería de más horas hombre para terminar las actividades en ese día, ya sea contratando más personas o generando avances durante la noche.

Además, esto mostraba el rendimiento de cada cuadrilla en obra.

Como se puede observar en la Figura 42, las horas hombre negativas se refieren a esas horas que no lograban alcanzar, o eran menores a los ratios (hh/metrado) programados para cada día. Las horas hombre positivas se refiere a todas aquellas actividades del día, que superaron los ratios planeados.

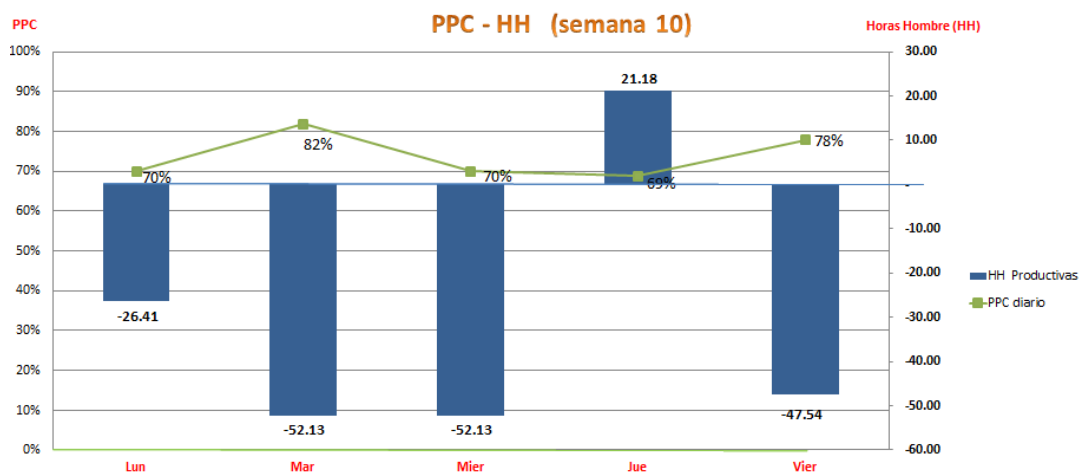


Figura 50. Evaluación del PPC vs Horas Hombre.

Fuente: H y HE Contratistas Generales SAC

- Análisis de las causas de incumplimiento.** El siguiente análisis muestra los resultados durante toda la implementación del *Last Planner* (octava semana). Se ha elaborado la siguiente figura debido a que el *Last Planner* que se hizo en obra, solo mostraba las causas de incumplimiento por semana, mas no el acumulado.

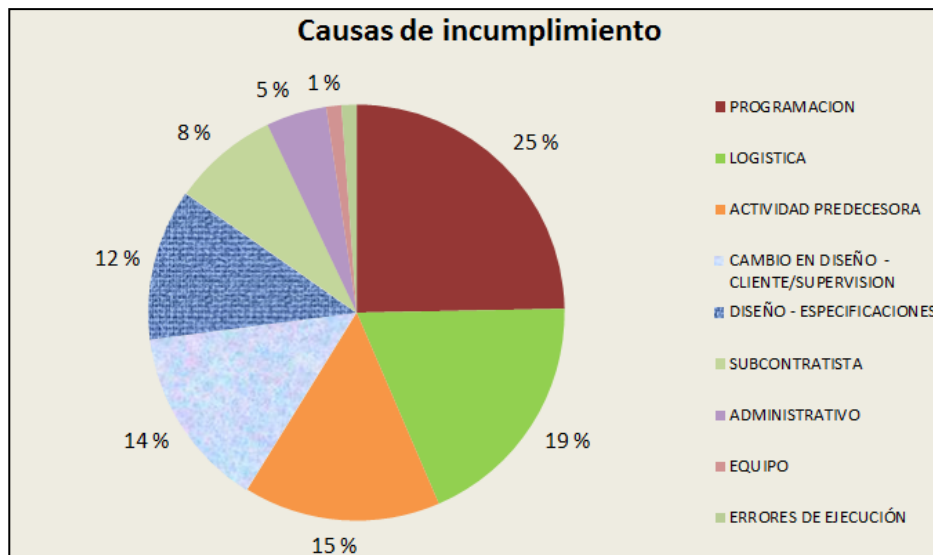


Figura 51. Análisis de las causas de incumplimiento (en las 8 semanas).
Fuente: Elaboración Propia

De la Figura 43 se puede destacar que, las causas de incumplimiento se generaron principalmente por una inadecuada utilización de las herramientas de “programación”. Y en segundo lugar, se originaron de forma moderada debido a problemas de “logística”, a las “actividades predecesoras”, a los “cambios en diseño” y la falta de “especificaciones en diseño”. Si se suma ambos aspectos referentes al diseño, se puede notar que han tenido un alto impacto en este proyecto. En tercer lugar, están los de baja incidencia que son lo referente a “subcontratistas” y “administrativo”.

Las buenas prácticas en cuanto a la identificación de las causas de incumplimiento, es que al separarlo por cada zona (frente de trabajo) y realizarlo diariamente, hacía que se identificaran con mayor precisión.

d. Información extraída de las encuestas

La siguiente encuesta se realizó a 6 personas pertenecientes al staff del proyecto.

- 1. Sección A: evaluación de los conocimientos del staff respecto a la metodología del Last Planner y BIM.** Esta sección de la encuesta tiene la finalidad de identificar si el personal del staff sabía las definiciones y el propósito del uso tanto del Lean Construction, Last Planner y BIM. De esta manera, determinar si conocían lo básico y la importancia de estas metodologías.

- Conocimiento de conceptos: El resultado de la encuesta demostró que la mitad de ellos, tenían un conocimiento básico moderado en lo que se refiere al Lean Construction y al Last Planner. En cuanto al BIM, lo asociaban más a un software alternativo de diseño, que a una metodología.

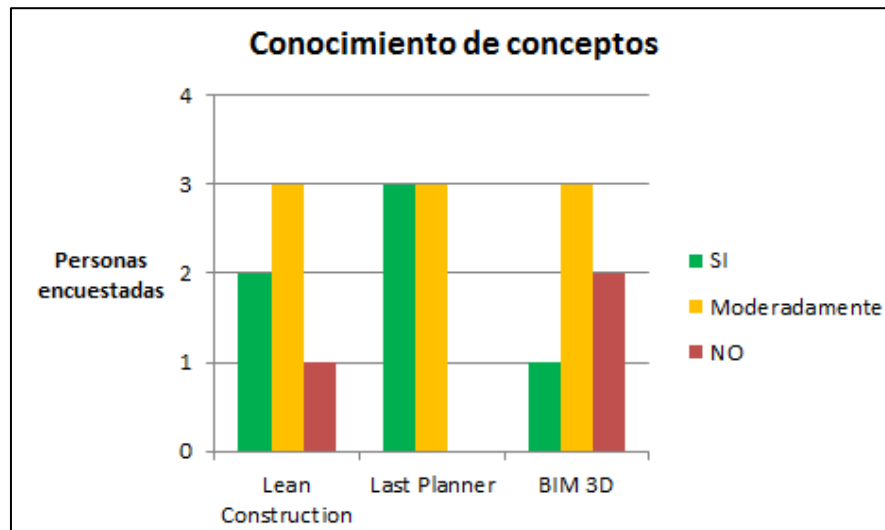


Figura 52. Encuesta a miembros del staff acerca del conocimiento de conceptos.
Fuente: Elaboración propia

- Percepción del conocimiento del manejo de la metodología del LPS: según las personas encuestadas, creen que entre un 25 a 50 % del staff conocería acerca del manejo del *Last Planner*. Y que menos del 10 % de los capataces conocería acerca de esta herramienta.

2. Sección B: aplicación de la metodología Last Planner y BIM. En base a la encuesta hecha a los miembros del staff, se obtuvo la siguiente información.

- Se usó la herramienta BIM con fines de diseño y como un medio de comunicación entre el proyectista y el cliente. Sin embargo, no se usó con fines para gestionar el área de producción.
- El uso del *Last Planner* estaba en su etapa de implementación, pero no se consiguió consolidar. En los primeros días, hubo una actitud de cambiar a un modelo *Lean*. Sin embargo, cuando el encargado de implementarlo se fue, entonces, nadie continuo con el trabajo debido a que nadie sabía cómo manejarlo.

- La división de las zonas (frentes de trabajo) se hizo en función a los entregables en el WBS del proyecto. Sin embargo, no hubo una subdivisión para la sectorización.
- Los trenes de trabajo no se realizaron.
- Los encargados de realizar la programación semanal del *Last Planner* era principalmente el jefe de campo del proyecto y su asistente.
- Los elementos del *Last Planner* que se utilizaron fueron: los planes semanales, el PPC y el análisis de causas de incumplimiento.

3. Barreras del uso del Last Planner identificadas por los encuestados

- La mayoría respondió de que una gran barrera en el uso del Last Planner era la falta de capacitación por parte de la empresa.
- Todos los entrevistados afirmaron que no existe un sistema de retroalimentación durante la ejecución del proyecto.
- Para la elaboración del Last Planner, no se incluía las tareas respecto a las inspecciones de calidad. Ni tampoco se hacía el Look-ahead.

4. Principales restricciones de obra identificadas por los encuestados: La siguiente gráfica se hizo con tal de identificar las restricciones más frecuentes y de mayor impacto que se han presentado en este tipo de proyectos Fast-track. Esto muestra que los miembros del staff identifican que “la mano de obra”, “diseño” y los “subcontratistas” generan la mayor cantidad de restricciones, y una moderada cantidad de restricciones son generadas por “modificaciones del propietario” y “logística”.



Figura 53. Encuesta a miembros del staff acerca de las principales restricciones identificadas en obra.
Fuente: Elaboración propia

5. Factores críticos de mayor influencia, según los entrevistados: El siguiente cuadro se hizo en base a la metodología del triángulo de hierro usado en gestión de proyectos (alcance, tiempo, coste y calidad). De esta manera, se puede identificar qué actividades generan mayor impacto en este tipo de proyectos. El encofrado, instalaciones sanitarias, losas de techo, zapatas. Esto sumado con la baja calidad por cangrejeras, modificaciones de diseño y falta de detalle de diseño han aumentado los problemas.

Tabla 21

Actividades críticas detectadas por los encuestados

Actividades críticas identificados por los encuestados			
Retrasos (tiempo)	Sobre costos	Calidad	Re trabajos
Bajo rendimiento de la cuadrilla de encofradores	Encofrados	Cangrejeras	Retrabajos por falta de detalle en el diseño.
Falta de mantenimiento de equipo cargador de obra	Vaciado de elementos de concreto		Retrabajos por las órdenes de cambio del propietario

Losas de techo	Excavación de zapata
Instalaciones sanitarias	Trabajos de afirmado

Fuente: Elaboración propia

6. Información adicional:

- Una desventaja que se identificó es que las cuadrillas intercambiaban de roles, según los problemas que se presentaban en obra.
- A veces es usual que se avance en doble turno (porque normalmente se generaba retrasos).
- Se trabajó en doble turno hasta las 1 o 2 a. m, con el propósito de estar dentro de los plazos contractuales (aproximadamente se hizo esto en aproximadamente el 70-80% de todo el proyecto).
- El gran espacio que se tenía en obra favorecía enormemente en la movilidad de equipos pesados y de materiales.
- Para este proyecto, se usó encofrado mixto (madera y metálicos). Además, se usó algunos prefabricados como columnas y vigas de acero.

3.2 Análisis en base a la gestión de la incertidumbre y variabilidad (en los tres proyectos de centros comerciales ejecutados bajo la modalidad de *fast-track*)

En este apartado se hará un análisis de cada proyecto por separado en base a la gestión de la incertidumbre y variabilidad.

CAPITULO IV. FACTORES QUE GENERAN EL AUMENTO DE INCERTIDUMBRE Y VARIABILIDAD EN PROYECTOS DE CENTROS COMERCIALES EJECUTADOS BAJO LA MODALIDAD FAST-TRACK DURANTE LA ETAPA DE ESTRUCTURAS.

- En base a la teoría del sistema de producción eficiente, se puede concluir que la incertidumbre y variabilidad afectan en mayor medida la productividad porque causan interrupciones y ralentización del flujo de trabajo/flujo de valor. Por tal motivo, es importante identificar qué factores principales en este tipo de proyectos, aumentan de forma exponencial la incertidumbre y variabilidad.

- Factores
- Por su naturaleza
 - En base al Fast Track, la falta de gestión en el diseño.
- 2. Deficiente gestión de flujos: En base a la teoría, se puede considerar 7 tipos de flujos en la construcción: El flujo de trabajo, el flujo de información, el flujo de materiales, el flujo de equipos, el flujo de mano de obra, el flujo de espacio y el flujo de condiciones externas.
 - Gestión del flujo de información: En primer lugar, al ser un proyecto bajo la modalidad fast-track, se puede considerar que exista demasiadas restricciones y problemas en lo que respecta al flujo de información debido a que la etapa de diseño está incompleta durante la etapa de ejecución del proyecto. Por tal motivo, se consideraría que el recurso de información es uno de los factores que genera demasiada incertidumbre y variabilidad. Esto no solo se cumple en proyectos bajo la modalidad fast
 - Los RFIs detectadas en los proyectos de forma tardía indica que se debe priorizar en este aspecto.
 - Las Órdenes de cambio.
- 3. Comunicación: La falta de comunicación propicia a malos entendidos, se omite información lo que es sinónimo a que se tenga incertidumbre y variabilidad.

- Mecanismos que no fomentan la colaboración

- Gestion Espacial

- Tener el campamento separado del lugar de construcción, permitía eliminar conflictos espaciales que afectarían las estaciones de trabajo y por lo tanto, el flujo de trabajo de la obra.
 - Al usar toda el área del terreno para construir, hizo que se tenga muchas restricciones espaciales. Una de las grandes restricciones espaciales era la rampa de tierra que generaba un gran retraso para el frente de trabajo N°4. Para superar estas restricciones, se utilizó grúas torre para el transporte, grúas de bombeo de concreto, sistema prefabricado de prelosa y encofrado metálico. Además, se hizo una separación en 4 frentes de trabajo asignando cada frente de trabajo solo a un residente de obra, habiendo en total 4 residentes de obras en todo el proyecto. Y de igual forma, se hizo la sectorización de cada frente de trabajo. Para lidiar con la interferencia espacial de la rampa de tierra en el frente 4, se sectorizó en tres y a su vez, esta se subdividió en 8 subsectores, 12 subsectores y 4 subsectores. Es importante en estos casos, dividir de forma estratégica los sectores ubicados en la rampa de tierra.
- Stakeholders
 - Debido a que los proyectistas trabajaban por separado y lo hacían en formato CAD, se incrementaba la probabilidad de haber cada vez más interferencias e incompatibilidades.
 - Por lo general, los clientes no logran comprender el producto final del proyecto cuando está en formato CAD 2D o en muchos casos suceden malentendidos entre el contratista y el cliente (lo que lleva a muchas discusiones y pérdidas de tiempo). De esta manera, es que recién cuando se va a la mitad del proyecto o en la etapa final de ejecución, el cliente tiende a realizar ciertas modificaciones a última hora (ya que al verlo en formato real en 3D, recién comienza a llegarle nuevas ideas y alternativas). Si bien para despejar muchas dudas que tiene el cliente, se tiende a contratar a supervisores, siempre están presentes los malentendidos donde el cliente puede entender una cosa, y la supervisión otra. En síntesis, cuando se

despeja la incertidumbre de la mente del cliente (respecto a no tener claro el producto final), recién el cliente tiende a realizar las modificaciones de diseño.

- Al tener 4 resientes de obra en el proyecto, permitió llevar un mejor control de obra semanal.

- Tiempo

- Al ejecutar una edificación en una sola etapa, es inevitable que la incertidumbre y la variabilidad se disparen exponencialmente. Eso se debe a que muchos de los problemas se acumulan a partir de la mitad y final del proyecto.
- Si bien se tenían hitos para la ejecución del proyecto, éstas eran contractuales e indicaban únicamente los entregables para la fase final del proyecto. No se hicieron hitos de forma interna para controlar el plan maestro, por lo que esto tampoco ayudó para reducir la variabilidad e incertidumbre.
- Un acierto para este proyecto de tipo fast track, fue la de tener un cronograma de hitos para la definición del proyecto (entrega de planos de diseño). Esto ayuda a reducir la incertidumbre y variabilidad del diseño, para que los contratistas puedan definir el look ahead de forma más precisa a tiempo.

- Costos

- En la evaluación del presupuesto, se puede notar que la especialidad de estructuras tiene un alto impacto en este proyecto con un 67.32 % (siendo los dos tercios del presupuesto), lo que indica que por la regla de Pareto se debe enfocar los esfuerzos para gestionar esta especialidad.

CAPÍTULO V. GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO BIM - LAST PLANNER

Para elaborar una guía, primero se debe identificar las barreras que se presentaron al usar el LPS.

4.1 Identificación de limitantes en el uso del *Last Planner* en base al análisis de los 3 proyectos de centros comerciales

En los tres proyectos mencionados anteriormente, se pudo identificar que en ninguno de ellos, se usaron metodologías de retroalimentación, y que por lo tanto, las causas de incumplimiento se consideraban simplemente como un procedimiento de gestión para cuantificar el histórico, y más no para superar los obstáculos presentes en cada proyecto.

En proyectos grandes, se puede ver que las causas de incumplimiento debido a una falta de especificaciones en el diseño, o cambios en el diseño, tienen un poco porcentaje de incidencia, pero su impacto en el proyecto es inmenso. Por lo tanto, se pretende que para realizar la parte de retroalimentación en esta tesis, se haga, además de identificar la incidencia de las causas de incumplimiento, una cuantificación de los impactos que se tiene dentro del análisis de las causas de incumplimiento.

Solo un proyecto (3.^{er} proyecto) se encontró que recién estaba implementando el *Last Planner*. Sin embargo, no se continuó su implementación por órdenes internas de la gerencia de proyecto. Los otros dos proyectos tenían implementado el *Last Planner* como una metodología de trabajo en su organización.

Ningún proyecto implementó la tecnología BIM. Según las encuestas, en el 3.^{er} proyecto se aseguró que se usó el BIM 3D al principio solo como una herramienta de diseño, pero no se continuó con su uso durante la ejecución del proyecto. Sin embargo, es en este tipo de proyectos que usan la técnica de *Fast-track*, donde el uso de la tecnología BIM debe ser continuo, ya que el diseño puede cambiar constantemente debido a interferencias, falta de detalles en los planos o debido a órdenes de cambio por parte del propietario.

Tabla 22

Identificación de oportunidades de mejora utilizando la metodología BIM-Last Planner

BARRERAS DEL LPS (Capítulo 4)	Causas (raíz para identificar soluciones)	Posibles soluciones/oportunidades de mejora (Posibles herramientas a usar)
<p>1. Se usa el LPS como si fuera un protocolo para llenar un formulario y presentar al final de cada semana.</p> <p>1. No existe una cultura de hacer compromisos (promesas confiables)</p> <p>2. Falta de colaboración generó a realizar análisis con poca profundidad.</p> <p>- Se planifica en base a las estimaciones de un único encargado.</p> <p>- No se incluye a los capataces (subcontratistas).</p> <p>No hay esfuerzos ni estrategias para hacer seguimiento de restricciones ni de aprendizaje.</p>	<p>1. Falta de capacitación.</p> <p>1. Falta de entendimiento de los principios del LPS (<i>Lean Construction</i>)</p> <p>2. Falta de colaboración en el planeamiento: Generó CNC referidos a “actividades previas” y por consiguiente a reprogramar frecuentemente las actividades.</p> <p>Desinterés por parte de los stakeholders.</p>	<p>1. Capacitar (principios <i>Lean</i> y los beneficios de la implementación), para cambiar la mentalidad de los <i>stakeholders</i></p> <p>1. Usar KPIs para hacer seguimiento.</p> <p>2. Capacitar.</p> <p>2. El contratista debe fomentar la colaboración.</p> <p>2. Usar el BIM como motor para la colaboración.</p> <p>2. Usar formatos estandarizados.</p> <p>- Formatos de restricciones</p> <p>2. Tener un “Big Room”</p> <p>2. Reuniones:</p> <p>- con los diseñadores</p> <p>3. Uso de formatos (de restricciones, etc.).</p> <p>3. Uso de métodos de aprendizaje.</p> <p>3. Acuerdo contractual.</p> <p>3. Capacitación (para saber los beneficios de la implementación)</p>

Tabla 24

Identificación de oportunidades de mejora utilizando la metodología BIM-Last Planner(continuación)

BARRERAS DEL LPS (Capítulo 4)		Causas (raíz para identificar soluciones)	Posibles soluciones/oportunidades de mejora (Posibles herramientas a usar)
Componentes del LPS	<p>3. No usar todos los componentes del LPS:</p> <p>a. Cronograma de Fases (<i>Pull</i>).</p> <p>b. Análisis de Restricciones. (causa a que se planifique actividades con restricciones en el plan semanal)</p> <p>c. No se identifica el Backlog.</p> <p>d. “No realizar los 4 <i>quality assignments</i>”</p> <p>e. Aprendizaje (no se identifica adecuadamente la CNC, no se un análisis para hallar la causa raíz, ni se toma acciones para superar los problemas).</p>	<p>a. No realizar el plan de Fases, genera a que no se identifique los prerequisites. Además, de cometer el error de planificar en el <i>Look Ahead</i>, actividades que no van a ser posibles liberar a tiempo sus restricciones (no se identifican a tiempo los “lead times”).</p> <p>b. La falta de análisis de restricciones generó CNC referidos a “actividades previas”.</p> <p>d. No usar los “<i>quality assignments</i>” generó a que se planifique y se comprometa actividades que no eran posibles de ejecutar.</p> <p>e. No existen métodos de aprendizaje.</p>	<p>3. Capacitar</p> <p>3. Implementar todos los componentes.</p> <p>b. Análisis de restricciones de forma colaborativa (Según Ballard, al hacer esta evaluación de restricciones, encontró que en la 47.^a tarea en el futuro, recién se encontró una tarea sin restricción. La razón de ello, fue porque no se removía las “restricciones colaborativamente”)</p> <p>d. Usar el <i>quality assignment</i> porque según Ballard, al hacer únicamente esto, se logra estabilizar el factor de productividad del proyecto. (la pendiente empieza a llegar a un punto de inflexión y decrecer lentamente en el tiempo)</p> <p>e. Usar métodos de retroalimentación (causa raíz).</p> <p>e. Usar KPIs</p> <p>e. Hacer acciones correctivas (y hacer seguimiento. Colocar la información de forma pública).</p>

Tabla 24

Identificación de oportunidades de mejora utilizando la metodología BIM-Last Planner
(continuación)

BARRERAS DEL LPS (Capítulo 4)	Causas (raíz para identificar soluciones)	Posibles soluciones/oportunidades de mejora (Posibles herramientas a usar)
Flujos	<p>4. Gestión de flujos.</p> <p>a. Flujo de trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interrupción de flujo (genera costos por M.O adicionales). <p>b. Flujo de información:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Errores en el diseño. - Incompatibilidades. <p>c. Flujo de espacios de trabajo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Constructabilidad <p>d. Flujo de aditivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Materia prima no disponible a tiempo. <p>e. Flujo de recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipos. - M.O. 	<p>4. No se analizan los flujos (gestión de flujos).</p> <p>4. Análisis (gestión) de flujos</p> <p>a. BIM 4D (seguimiento de la ejecución de actividades previas).</p> <p>a. Progreso del proyecto.</p> <p>a. Uso del LPS completo.</p> <p>b. BIM para automatizar el flujo de información.</p> <p>c. BIM (Análisis de la liberación de espacios de trabajo: circulación de materiales, equipos, etc.).</p> <p>c. Sectorización (uso del BIM para automatizar los parámetros y el Metrado. De esta forma, poder analizar las alternativas).</p> <p>c. Tren de actividades, para cada Fase (o niveles diferentes: sótanos, superestructura, etc.).</p> <p>d. Cronograma de materiales (gestionar para que la materia prima esté en el sector o lugar de trabajo).</p> <p>4. Uso de cronogramas de equipos y materiales.</p> <p>4. Uso de KPIS.</p>

Tabla 24

Identificación de oportunidades de mejora utilizando la metodología BIM-Last Planner (continuación)

BARRERAS DEL LPS (Capítulo 4)	Causas (raíz para identificar soluciones)	Posibles soluciones/oportunidades de mejora (Posibles herramientas a usar)
<p>5. Falta de entendimiento del proyecto (producto final) y de la secuencia constructiva.</p> <p>a. El cliente no tiene claro cómo va a quedar el proyecto</p> <p>- Se genera órdenes de cambio de forma tardía.</p> <p>b. Últimos planificadores no tienen claro acerca del plan.</p>	<p>5. Falta de transparencia (la información no llega clara hacia los últimos planificadores ni a las cuadrillas).</p> <p>5. Distorsión de la información.</p>	<p>a. Tecnología BIM (lenguaje sencillo)</p> <p>b. Gestión visual</p> <p>- Hacer transparente, público, la información del LPS en al área de trabajo.</p> <p>- Codificación de colores.</p>
<p>Malentendidos y errores (no se sabe cuál información es la correcta).</p> <p>6. Medios de comunicación deficientes:</p> <p>- Se usan planos en 2D, como input para planificar el LPS y en las reuniones.</p> <p>- Correo y teléfono.</p> <p>- Falta de comunicación efectiva entre <i>stakeholders</i> (proyectistas, cliente, subcontratistas).</p>	<p>6. Falta de apoyo de la gerencia.</p>	<p>6. Modelo central BIM: reducción del tiempo de procesamiento mental de la información para cada persona (“sincronización mental del equipo de proyecto”). Y evitar los malentendidos. De esta forma, evaluar de forma rápida los problemas en las reuniones.</p> <p>6. Apoyo de la gerencia.</p> <p>6. Uso de formatos estandarizados.</p> <p>6. Documentar las decisiones Tomados en las reuniones.</p> <p>6. Documentar y hacer seguimiento de los cambios.</p> <p>6. KPIs (mostrar el seguimiento y beneficios).</p> <p>6. Capacitación (mostrar los beneficios y la información del proyecto)</p>

Tabla 24

Identificación de oportunidades de mejora utilizando la metodología BIM-*Last Planner* (continuación)

BARRERAS DEL LPS (Capítulo 4)	Causas (raíz para identificar soluciones)	Posibles soluciones/oportunidades de mejora (Posibles herramientas a usar)
Indicadores	7. Falta de indicadores para controlar y hacer seguimiento del progreso.	7. KPIs - Medición por cada frente de trabajo (PPC, CNC, RFIs, etc.). - N.G.A (Medición del tiempo improductivo e identificar las causas) - Checklist en las reuniones.
	8. No se identifican actividades de inspección (calidad).	8. T.C.
Capacitación	9. Falta de capacitación.	9. Falta de apoyo por parte de la gerencia. 9. Los miembros del staff y los trabajadores, no conocen los conceptos de <i>Lean</i> y LPS.
		9. Explicar los conceptos <i>Lean</i> de forma adecuada y que vean la importancia de su uso. 9. Colocar pancartas o gráficos en sitios estratégicos como recordatorio de la información importante enseñada a los participantes de las capacitaciones.
Barreras del BIM	10. No se obtiene metrados precisos.	10. Parametrizar (estandarizar parámetros).

4.2 ¿Por qué fusionar los conceptos del *Last Planner* y el BIM?

El uso del *Last Planner* consiste en generar flujos continuos mediante la planificación en reducidos rangos de tiempo, con el propósito de disminuir la variabilidad. Sin embargo, ha sido muy difícil de introducir su implementación dentro de varias empresas constructoras, y muchas de ellas la ven como un método que genera más papeleo dentro de la obra.

El BIM por su parte, es una herramienta que se está usando principalmente con propósitos de diseño. Sin embargo, muy pocas veces se usa como una herramienta para realizar el seguimiento y control de obra, sobre todo en Perú. En muchos proyectos en Perú, el cliente

siempre contrata a proyectistas y normalmente, éstos realizan los diseños en varios planos de Autocad. De esta forma, los contratistas por lo general, no cuentan con un modelo 3D que pueda servir de herramienta para hacer el control y seguimiento del proyecto. Es por ello, que en esta tesis se tuvo que realizar el modelamiento 3D y 4D por cuenta propia.

En tal sentido, el fusionar ambos conceptos permite en primer término, tener una visión general del avance de obra en la semana a través del *Look Ahead* y visualizarlo de forma más entendible para el personal de obra a través del REVIT y NAVISWORKS, herramientas de trabajo del BIM. Y en segundo lugar, identifica correctamente las restricciones correspondientes al diseño, con el propósito de generar un input confiable para la planificación del *Look Ahead* y el desarrollo de un flujo continuo de trabajo. De esta forma, se logra realizar de mejor manera el seguimiento y control del proyecto

i. Ventajas:

1. Detectar de forma más precisa y temprana las restricciones para el LPS: diseño, restricciones espaciales y evaluar las actividades predecesoras.

En muchos proyectos donde se aplica el LPS, normalmente se realiza una inadecuada liberación de restricciones. Esto se debe principalmente, a que no se categorizan los tipos de restricciones, no se hace un seguimiento de las fechas del levantamiento de restricciones, o simplemente no se asigna de forma adecuada las responsabilidades a cada área.

- La finalidad del BIM-*Last Planner*, es poder detectar a tiempo estas restricciones de diseño, e inclusive permitir tomar en consideración las restricciones respecto a los espacios de trabajo conforme se avanza en la ejecución del proyecto. Esto permitiría sectorizar o plantear un tren de actividades considerando los espacios de trabajo, para permitir un flujo continuo de trabajo.
- También es necesario sacar el histórico de las categorías de las restricciones. Las restricciones liberadas a tiempo, y aquellos que fueron aplazadas. De esta forma, se puede identificar qué áreas de soporte son las más críticas o donde se tiene que aumentar más esfuerzos.
- Se tiene que hacer un seguimiento de las liberaciones de restricciones durante la semana (comunicación por correo).

- Permite evaluar de mejor manera, las Restricciones referentes a la falta de cancha o falta de liberación de terreno (la retroalimentación se hace creando nexos entre las CNC y las nuevas restricciones que estos generan).

2. Facilitar la colaboración y la comunicación en las reuniones.

Como se sabe, uno de los principios fundamentales para que el LPS funcione adecuadamente, es mediante el trabajo colaborativo. Sin embargo, muchas veces sucede que al momento de intercambiar ideas durante el desarrollo de las reuniones, los participantes no logran comunicar de forma clara los planes semanales o las restricciones u otro tipo de información necesaria, lo cual, en vez de facilitar la retroalimentación de ideas, se generan malos entendimientos, confusiones y se gasta mucho tiempo en responder preguntas básicas o superficiales que no llevan al caso, lo cual genera a que estas reuniones no resulten muy provechosas.

- Por lo tanto, el LPS-BIM, siendo un medio de comunicación visual y entendible, hay mayor probabilidad de que exista mayor involucramiento de las partes interesadas incluyendo a los proyectistas, el cliente y los subcontratistas.
- Esto permite ahorrar tiempo durante las reuniones y que, por lo tanto, ya no exista consultas frecuentes del mismo tema durante la posterior semana.

3. Permite sincronizar la mentalidad y los objetivos del grupo de trabajo

En proyectos de mediana y gran envergadura, lo más complicado es cuando los problemas o temas a tratar son de carácter interdisciplinario (restricciones existentes entre diferentes especialidades), ya que no todos los que están presentes tienen conocimiento de las dificultades que abarca cada disciplina. Es por ello, que muchas veces las restricciones que suceden entre las diferentes disciplinas no son detectadas debido a que simplemente las personas optan por centrarse únicamente en los sectores en los que trabajan o en las labores que les corresponden, por lo que no llegan a aportar ideas para solucionar los problemas que aparecen durante la ejecución del proyecto.

4. Ser un medio de comunicación visual que pueda ayudar a hacer los planes semanales con mayor grado de confiabilidad

Permite entender los espacios de trabajo y tomarlos en consideración para hacer los planes semanales. Se elimina el uso de planos 2D o planos 2D de detalles, ya que los PLANOS en este tipo de proyectos son muchos y para entender cada plano, se necesita tomar en consideración los diferentes planos de detalles de la misma especialidad o de diferentes especialidades.

5. Permite una comunicación más clara hacia los trabajadores de campo mediante el uso de formatos. (planes que se realizaran en la semana)

Los capataces saben prácticamente el alcance de los entregables que deben de ejecutar cada semana y ya no tienen que gastar el tiempo en preguntar o hacer consultas acerca de las incompatibilidades o falta de detalles en los planos. Prácticamente se le da facilidades para evitar tiempos improductivos.

ii. Causas de incumplimiento

Con el modelo 3D, es fácil explicar las Causas de No Cumplimiento en las reuniones, sobre todo cuando estos se refieren a actividades predecesoras, problemas en el diseño, problemas en el espacio de trabajo, etc. De esta forma, se recopila una data más detallada con la que se puede plantear de mejor manera las restricciones y el ritmo de los avances semanales (ya que muchas veces las CNC son muy generales debido a que muchos quieren evitar responsabilidades).

Retroalimentación:

- Importancia del CNC: permite identificar nuevas restricciones que deben ser tomados en cuenta para las siguientes planificaciones.
- Según las mediciones de confiabilidad del PPC de cada semana, se puede ir ajustando las programaciones para mejorar el PPC.

4.3 Guía para implementar la integración BIM – *Last Planner*

Eliminar las restricciones de diseño:

La finalidad de implementar esta guía se centra en detectar las restricciones lo más antes posible, referentes al diseño, con el propósito de generar un flujo de trabajo continuo en obra. Normalmente, este tipo de proyectos de centros comerciales se realizan con el método de *Fast-track*. Es decir, que la ejecución de la obra se empieza con un diseño incompleto. Para comenzar, es importante levantar las restricciones lo más temprano posible. Según la teoría de *Lean Construction*, el uso del *Last Planner* se centra en establecer flujos continuos. Sin embargo, debido al uso de la metodología del *Fast-track*, normalmente, se genera demasiada incertidumbre tanto para realizar los planes del *Look Ahead*, como la planificación semanal. Es debido a ello, que es necesario levantar todas las restricciones correspondientes al diseño, ya que las interferencias, los errores que se encuentran o las consultas que se generan, son los que causan mayores tiempos muertos durante la ejecución del proyecto. Normalmente, esperar a que se respondan los RFIS en obra, demoran un par de días. Por lo tanto, genera a que se modifique frecuentemente los planes de avances semanales de obra o se mueva a las cuadrillas a otros sectores para que puedan avanzar.

4.3.1 Realizar el Modelo 3D en el programa de Revit

Revit es una herramienta que sirve como fuente base para realizar las programaciones en Navisworks. Sin embargo, otro uso que se da a este software, es que indica una visión general de todo el proyecto o de determinados sectores en el proyecto, y además, permite la administración de todos los elementos que existen en el proyecto. La ventaja del Revit es que permite parametrizar cualquier tipo de elemento; debido a ello, cada elemento tiene asignado un código de identificación.

En este tipo de proyectos que se desarrollan por el método de *Fast-track*, normalmente se presentan falta de detalles en los planos, incompatibilidades en diferentes especialidades o incluso, se llega a cambiar el diseño durante la ejecución del proyecto. Por lo tanto, es normal que muchos elementos estructurales cambien su ubicación o sus dimensiones. Es por ello, que no solo basta con asignar las dimensiones de cada elemento estructural durante el modelado 3D, sino que también es necesario asignar nombres para cada tipo de elemento o Familia de elementos en Revit, con la finalidad de poder organizar de mejor manera cada elemento estructural y poder cambiar fácilmente cualquier modificación que se realice en el diseño.

- ❖ Permite asignar una identificación a cada elemento constructivo, lo cual posibilita organizar y ubicar fácilmente a cada uno de ellos dentro del proyecto.

Se puede modificar el modelo o cada elemento constructivo, conforme vaya avanzando el proyecto (ya que en este tipo de proyectos, normalmente, tiene un cambio constante y actualización de cada elemento). Esto hace que se tenga un registro de todos los elementos que se han modificado y todos los nuevos elementos introducidos (“Herramienta de Fases en Revit”).

4.3.2 Detectar interferencias por especialidad

El programa de Revit permite detectar interferencias dentro de cada especialidad.

Es común que en proyectos de gran o mediana envergadura, se trabaje cada especialidad en archivos por separado. La razón de ello, es que al trabajar con bastante información proveniente de cada especialidad, en un solo archivo no podría soportar, o puede que existan problemas de lentitud en el procesamiento de información en el programa. Además, otra razón es que es más factible identificar las interferencias, al enfocarse en cada especialidad por separado dentro del programa de Revit.

4.3.3 Detectar interferencias entre diferentes especialidades

Debido a que el programa de Revit, trabaja con demasiada información, usualmente es muy preferible que se trabaje con una especialidad, con la finalidad de no saturar el equipo. Sin embargo, para evaluar las interferencias generadas entre diferentes especialidades, es muy importante exportar las diferentes especialidades al programa de Navisworks. Este programa permite detectar automáticamente las diferentes interferencias que se generan entre diferentes especialidades, muestra el lugar donde estas ocurren y permite cuantificarlos.

4.3.4 Sectorización

Para sectorizar en el programa de Revit, es fundamental crear un nuevo parámetro, con la finalidad de asignar a cada elemento un determinado sector. El uso de la sectorización en 3D permite contrastar el volumen de trabajo que se debe realizar y evaluar las restricciones visuales.

4.3.5 Tren de Actividades

El orden para ejecutar cada sector se debe hacer en función de las restricciones que se tienen en obra. Estas se pueden analizar de mejor manera al usar un modelo 4D, ya que como se pudo visualizar en el capítulo IV, muchas de las causas de incumplimiento en este tipo de proyectos, se deben principalmente al mal manejo de los espacios de trabajo en el proyecto.

4.3.6 Hacer el Look Ahead y los planes semanales en 4D

Luego de identificar y levantar las restricciones, tanto de diseño como del espacio de trabajo, recién se puede realizar un *Look Ahead* más confiable con planes semanales más aterrizados a la realidad.

4.3.7 Indicadores a medir

- ❖ Cuantificar las interferencias.
- ❖ Cuantificar las incompatibilidades de los planos por cada disciplina.
- ❖ Seguimiento de RFIs por especialidad.
- ❖ Indicadores del *Last Planner*: PPC y CNC (disminuir las CNC referentes a incompatibilidades en planos o concernientes a problemas en el diseño).

4.3.8 Metodología de Retroalimentación

Con el envío de RFIs, adjuntando imágenes de los elementos en 3D, ya sea de incompatibilidades o errores en el diseño, es más fácil que el proyectista responda lo más rápido posible y que exista una mejor respuesta de acuerdo a ello.

4.4 Propuesta de desarrollo de reuniones semanales

En la presente obra, se ha hecho uso del *Last Planner* para llevar el control de las tareas realizadas durante la semana. Sin embargo, las grandes restricciones que impidieron un avance de obra aceptable, se debieron a las faltas de detalles en los planos, lo que originaba gran incertidumbre en el planeamiento semanal. El levantamiento de las restricciones que se programaban, se hacía con bastante incertidumbre. Por a ello, el PPC rondaba entre el 50 % al 60 % de las tareas cumplidas durante las primeras semanas del presente proyecto. Sin embargo, se puede visualizar que a partir de la 8.^a semana, el PPC aumentó entre 70 % y 80 %. Este aumento del PPC, nos hace pensar que los planes que se hacían semanalmente, se cumplían en su mayoría. Sin embargo, al visualizar la Curva S de avance, se ve que esas mismas fechas, coincide con una desaceleración en el porcentaje de avance. Esto es debido a que las tareas que se planeaban semanalmente, eran cada vez menores. Por ello, al programar menos tareas a nivel semanal, había gran probabilidad de terminarlas a tiempo, pero esto afectaba el avance de la obra en general.

Otra razón, se debe a que cuando se encontraban algunas interferencias en los planos, normalmente, los subcontratistas tenían que avanzar en otros subsectores o avanzar de forma lenta, hasta recibir las respuestas de los RFIs. Por lo tanto, al realizar las reuniones semanales, es importante hacer uso de informes para incluir el levantamiento de los RFIs

durante la semana. Además de ello, con el uso del Navisworks, se puede facilitar una *estandarización* en cuanto a los planes que se tienen programados a realizar durante la semana.

Aproximadamente, las reuniones deberían durar un aproximado de una hora. La distribución del tiempo que se propondrá será la siguiente:

- ❖ Para hacer una evaluación y revisión de los avances realizados durante la anterior semana, debe durar un máximo de 20 minutos.
- ❖ Para hacer una revisión de las restricciones, los RFIs detectados y el planeamiento del levantamiento de estas restricciones: máximo de 10 minutos.
- ❖ Usar un tiempo aproximado de 20 minutos para designar responsabilidades y revisar el planeamiento semanal con todos los miembros del staff.

Debido a que en este tipo de proyectos, la mayor parte del trabajo se subcontrata, es recomendable con empezar por incluir a aquellos subcontratistas que estén a cargo de aquellas actividades críticas que se han planeado para la siguiente semana.

En esta etapa del proyecto, las actividades críticas más importantes que se han detectado, son los avances en las columnas, vigas, losas, rampas y muros estructurales.

El contenido a desarrollar durante las reuniones será la siguiente:

- ❖ Revisión de la anterior semana:
 - RFIs.
 - Formatos de avance (4D).
 - PPC.
 - CNC.
- ❖ Programación semanal:
 - Levantamiento de Restricciones.
 - Look Ahead.
 - Formatos de planes semanales (4D).
 - Plan semanal.

4.5 Formatos de trabajo: formatos de avance

El uso de los formatos de trabajo, será una herramienta imprescindible para comunicar los planes semanales a todos los miembros del staff y a los subcontratistas. De esa forma, cada subcontratista estará pendiente de los avances que se realizan en el proyecto (ver Anexo III).

4.6 Identificación de variables a medir en el proyecto

Tabla 23

Matriz de variables a medir en el proyecto

OBJETIVO	NOMBRE	CONTENIDO	META	OBSERVACIONES
Disminuir el número de interferencias	INTERFERENCIAS (Incompatibilidades de planos)	Cuantificar el número de interferencias	El “Número de Interferencias sin Respuesta” debe ser < 5%	Acumulado después de la implementación
Aumentar el PPC para aquellas actividades más críticas en el proyecto	PPC	Medición global del PPC de todo el proyecto	El PPC debe ser > 85 %	Acumulado durante la implementación
Disminuir las Causas de Incumplimiento (CNC) correspondientes a las faltas de especificaciones en el Diseño	CNC debido a la falta de Especificaciones de Diseño	Cuantificar la incidencia y el impacto de las CNC debido a “Faltas de especificaciones en el diseño”	El CNC debe mantenerse < 1%	Acumulado durante la implementación
Disminuir las Causas de Incumplimiento correspondientes a problemas en la “PROGRAMACION” y “POR ACTIVIDADES PREDECESORAS” (Falta de Cancha)	CNC debido a la Programación y Actividades predecesoras	Cuantificar la incidencia y el impacto de las CNC debido a la “PROGRAMACION” y “ACTIVIDADES PREDECESORAS”	El CNC debe mantenerse cada vez menor.	Acumulado durante la implementación

Tabla 24

Matriz de Variables a medir en el proyecto (continuación)

OBJETIVO	NOMBRE	CONTENIDO	META	OBSERVACIONES
Tener levantada todas las restricciones antes de la última semana de ejecución de las actividades críticas	Seguimiento continuo de las Restricciones (Cuantificación del ITE (Conjunto de Restricciones levantadas))	Llevar un control de las Restricciones Levantadas (ITE)	Deben levantarse todas las restricciones de las actividades críticas	Seguimiento semanal.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DEL BIM Y EL *LAST PLANNER SYSTEM* EN UN CENTRO COMERCIAL

En este capítulo, se aplica la guía que se ha propuesto en esta tesis al segundo proyecto mencionado en el capítulo 4 (Centro Comercial Plaza Surco). Esto con la finalidad de que se pueda analizar y visualizar de mejor manera las ventajas al usar la propuesta planteada en el capítulo anterior.

5.1 Diagnóstico del funcionamiento de la planificación y control de la Empresa constructora

5.1.1 Descripción del método de trabajo que se utiliza en la empresa constructora

1. Planeamiento. El Planeamiento se hizo en líneas generales antes de comenzar la ejecución del proyecto con la finalidad de entregar los archivos al Cliente.
 - Cronograma Gantt.
 - Plan Maestro Análisis de Precios Unitarios y Presupuesto de obra.
 - Cotizaciones (materiales).
 - Flujo de Caja.
 - Curva S Contractual (ajustada, detallada, reprogramada).
2. Programación y control
 - El Tren de actividades y la sectorización estuvo a cargo del Jefe de Planeamiento.
 - Se realizó el Plan Maestro Detallado. Para ello, se hizo uso de principalmente, buffers. En el caso, de que ocurran modificaciones en el diseño por parte del cliente o vicios ocultos, se hace las modificaciones y la reprogramación del Plan Maestro cada vez que sea necesario.
 - Se asignó proyecciones de cada Paquete de trabajo a cada subcontrato.
 - Uso del *Last Planner*: En este caso, el *Last Planner* lo realiza el Jefe de Planeamiento y el Área de Producción. El Área de producción está constituido por dos jefes de producción, en donde cada uno está encargado de realizar la programación y el control de su propio sector (PPC y Análisis de incumplimiento). El manejo de la información del *Last Planner*, es solamente usado por el Staff, incluyendo las programaciones del Look Ahead y los planes semanales.

- Curva S. Para el seguimiento de la Curva S, los datos se obtienen de los informes de avance realizadas por el Área de Producción. El encargado de realizar los informes de la curva S, es el Jefe de Planeamiento. Además, de ello se calculan los indicadores de costo y plazo (CPI y SPI).
- Compatibilización de planos. El seguimiento de la compatibilización de Planos, lo realiza el Oficina Técnica. En el caso de Cambios en los diseños o se quiera levantar las incompatibilidades en los planos, se hace una reunión entre el supervisión, el jefe de oficina técnica, el Residente, el Propietario y el Proyectista de Estructura. En este tipo de reuniones, se hace uso de *Actas de Reunión de Proyecto*. Estas actas dejan establecido los temas revisados en las reuniones, los acuerdos y los pendientes a realizarse.
- Oficina de Producción: se encarga de realizar los informes del porcentaje de avance por sector. También, están a cargo de analizar y controlar los Rendimientos de las partidas que se repiten frecuentemente en el proyecto.
- Oficina de Planeamiento y Costo. Durante la ejecución del proyecto, esta oficina se encarga de hacer reajustes o reprogramar el cronograma de obra. También tienen asignado la responsabilidad de hacer seguimiento mediante el uso del método del Resultado Operativo (RO). Además, de estar encargado de hacer los cronogramas valorizados según el avance de obra al cliente. Estas valorizaciones se hacen quincenalmente.

5.1.2 Análisis del proyecto

El *Fast-track* es un método que se usa normalmente para empezar la Fase de ejecución en conjunto con la Fase de diseño. Sin embargo, al no tener definido el diseño desde el inicio, se tienen diversas desventajas:

- Sobrecostos y trabajos rehechos.
- Adicionales de obra
- Planos no compatibilizados

Por otra parte, en este Proyecto, se tiene una Restricción importante correspondiente a los horarios de trabajo diarios, donde se impide trabajar pasados las 5 p. m. Esto impide a que se trabaje en doble turno, lo cual, restringe la opción de acelerar el avance en caso de que exista retrasos en el cronograma.

La sectorización y sub-sectorización se realizó en función al método constructivo, a la ubicación de la rampa utilizada para la excavación, y a la ubicación de juntas estructurales con la finalidad de tener subsectores similares.

En cuanto al tren de actividades, se realizó en función a los volúmenes máximos de vaciado, cantidad de personal, rotación de encofrado, ratios.

Para este proyecto, se hace uso de grúas y de *losas prefabricadas*, lo cual disminuye en un gran porcentaje la variabilidad en el proyecto. Además, se tiene la facilidad de usar bombas trepadoras de concreto, lo cual facilita el vaciado de elementos de concreto (el rango de alcance de las grúas y bombas trepadoras cubre casi toda la totalidad del proyecto).

Por último, para la programación diaria, la comunicación entre los miembros del staff, los subcontratistas y capataces es siempre de forma verbal, por lo que no hay un formato escrito estandarizado para comunicar los planes diarios. Prácticamente, cuando los capataces tienen dudas en cuanto a los avances programados, estos deben de parar la actividad que están ejecutando y el personal del staff tiene que resolver las dudas lo más pronto posible con la finalidad de no tener grandes tiempos perdidos. A veces, debido a que se tiene un proyecto con indefiniciones en el diseño, o debido a encontrar tardíamente las incompatibilidades en los planos, el tiempo perdido para resolver estas consultas tiene un impacto negativo importante en el proyecto.

Según el Last Planner, las principales restricciones encontradas en obra se deben a: (a) Logística (tanto de materiales como de equipos), (b) Mano de Obra, (c) Subcontratistas, y (d) Modificaciones del diseño por parte del propietario.

Para el control del avance semanal, se hace uso de planos y se marcan los avances de aquellas actividades que se han completado o que aún están proceso en cada sector durante la semana.

El seguimiento de la calidad se enfoca principalmente en la identificación de segregaciones y de cangrejas en las columnas y placas.

Las actividades que ocasionaron retrasos, sobrecostos fueron principalmente algunas actividades críticas como la Cisterna, ductos enterrados, losas de piso y las escaleras.

Problemas detectados: algunos de los problemas que se identificaron en el método de trabajo fueron los siguientes:

- ❖ No se logran detectar a tiempo las interferencias (RFIs e incompatibilidades de planos). Además, se han realizado algunos cambios por parte del proyectista y por parte del Mandante durante la ejecución del proyecto, lo cual ha generado pérdidas de tiempo y trabajos rehechos.
- ❖ La Curva S se usa muchas veces como referencia para evaluar el avance de la obra semanalmente, pero muy pocas veces, se hace la actualizaciones del diagrama de precedencias.
- ❖ A pesar de que el uso del *Last Planners* parte de la metodología de trabajo de la propia empresa constructora, no hay una capacitación adecuada. Esto genera a que algunos trabajadores del Staff aún no estén muy familiarizados con el uso de esta herramienta; y por consiguiente, la mayoría de los subcontratistas y capataces no tienen el conocimiento suficiente del manejo de esta herramienta.
- ❖ La programación semanal lo hace normalmente el Jefe de Planeamiento de Obra, y prácticamente no se toma en consideración las opiniones de los Capataces.
- ❖ Los subcontratistas muy pocas veces participan en las reuniones semanales, y los capataces casi nunca participan en las reuniones semanales. Por lo tanto, hay un problema en la falta de involucramiento con los capataces y subcontratistas en relación al planeamiento. Solo se les asigna las responsabilidades en las reuniones, pero no tienen poder de decisión en cuanto al planeamiento.
- ❖ Una barrera importante que impide el adecuado uso del *Last Planner* son las brechas en los medios de comunicación de los planes diarios entre el staff y también entre los subcontratistas y capataces. Esto muchas veces genera desentendimientos y tiempos perdidos entre los trabajadores.
- ❖ Un problema importante detectado, es que no existe una estandarización para el uso de un sistema de Retroalimentación en cuanto al manejo de las Causas de incumplimiento detectadas en el Sistema del *Last Planner*.
- ❖ Se tuvieron diversas observaciones e inconformidades en calidad (principalmente, en los vaciados de concreto). Ello debido a que no se están haciendo el debido uso de Protocolos de verificación de calidad y se está apresurando la ejecución del proyecto en algunos subsectores.

- ❖ Otro problema es que no se está incluyendo las inspecciones de calidad en las programaciones del *Look Ahead*, lo cual ha generado tiempos muertos desde el inicio de la obra.
- ❖ Por otra parte, se tienen retrabajos debido a los cambios en el diseño del Proyectista, a problemas de no conformidad en calidad (Columnas con Desplomes), entre otros.
- ❖ Otro gran problema es la identificación tardía de indefiniciones en los diseños en los planos, por lo que los RFIs no son respondidos a tiempo por la supervisión, lo que agrega demasiada incertidumbre en los planes semanales y en el *Look Ahead*.
- ❖ También se identificaron problemas en la ubicación y espaciado de materiales en terreno, lo que a veces generan interrupciones para la movilización de equipos y obreros, pese a tener una cuadrilla de limpieza encargado de realizar estos trabajos.

5.2 Implementación del BIM y *Last Planner* (Descripción de la aplicación)

5.2.1 Realizar el Modelo 3D en el programa de Revit

El uso de Revit permite organizar de mejor manera todos los elementos constructivos. En este tipo de proyectos, normalmente, se encuentran falta de detalles en los diseños, o también es frecuente que existan cambios en el diseño. Por lo tanto, es fundamental colocar una identificación a cada elemento dentro del programa de Revit. Esto con la finalidad de que sea más fácil cambiar o corregir algunos elementos que hayan sido cambiados o modificados con el transcurso de la obra. La idea de esto, es seguir actualizando el modelado 3D según el avance del proyecto.

También se pueden usar colores para resaltar aquellos elementos que presentan falta de detalles en el diseño o interferencias. Por ejemplo, en este caso, se colocó en color morado aquellos muros que aún tenían restricciones en el diseño (falta de detalle en el diseño).

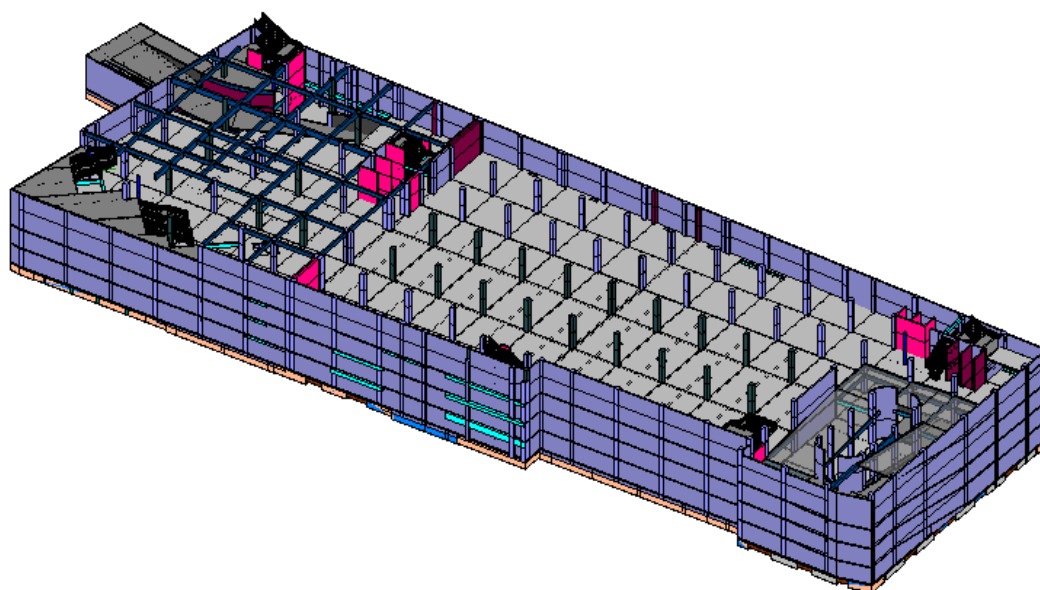


Figura 54. Modelamiento 3D de la Etapa II del proyecto en Revit
Fuente: Elaboración propia

1. Detectar interferencias por especialidad. El programa de Revit permite detectar interferencias por cada tipo de especialidad. En este tipo de proyectos, normalmente, existen interferencias o falta de detalles en muchos elementos estructurales dentro de los planos. (Ver el Anexo I)
 - i. Resumen de las interferencias detectadas en el actual proyecto. A continuación, se muestra un resumen de la cantidad de interferencias que se detectaron en Revit. En total se encontraron 27. En la mayoría de casos, las interferencias se produjeron en la falta de especificaciones y nivel detalle, en cuanto a las elevaciones de las cimentaciones.

TABLA VI-1: Matriz de Interferencias dentro de cada especialidad

Descripción	EST		ARQ		HVAC		TOTAL
	N°	%	N°	%	N°	%	
Interferencias totales	21	78	4	15	2	7	27

por especialidad

Fuente: Elaboración propia

2. Detectar interferencias entre diferentes especialidades. El programa de Navisworks permite detectar interferencias originadas por la colisión de elementos correspondientes a diferentes especialidades. El programa de Navisworks, es muy útil y versátil para cuantificar estas colisiones.

Resumen de las interferencias detectadas en el actual proyecto

Para el caso de la especialidad entre Estructura vs HVAC, los 10 conflictos encontrados se deben netamente en los encuentros entre los ductos de ventilación y los elementos de la cimentación. La mayoría de las interferencias en las especialidades entre Estructuras y Arquitectura, se debieron a falta de nivel de detalle en cuanto a las dimensiones de las Vigas y errores en la definición de las columnas y escaleras en los Planos de Piso.

Tabla 24

Matriz de Interferencias entre especialidades

Descripción	EST/ARQ		EST/HVAC		TOTAL
	Nº	%	Nº	%	
Interferencias totales entre diferentes especialidades	4	23	9	77	13

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 53 se muestra, las interferencias encontradas entre la especialidad de ESTRUCTURA (color rojo) y HVAC (Aire acondicionado con color verde) en la cimentación.

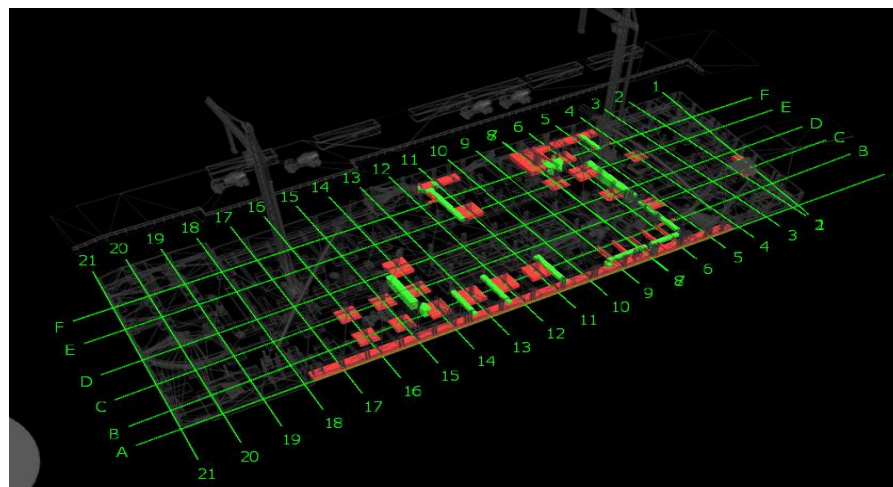


Figura 55. Detección de Interferencias entre Estructura y HVAC en Navisworks.
Fuente: Elaboración propia

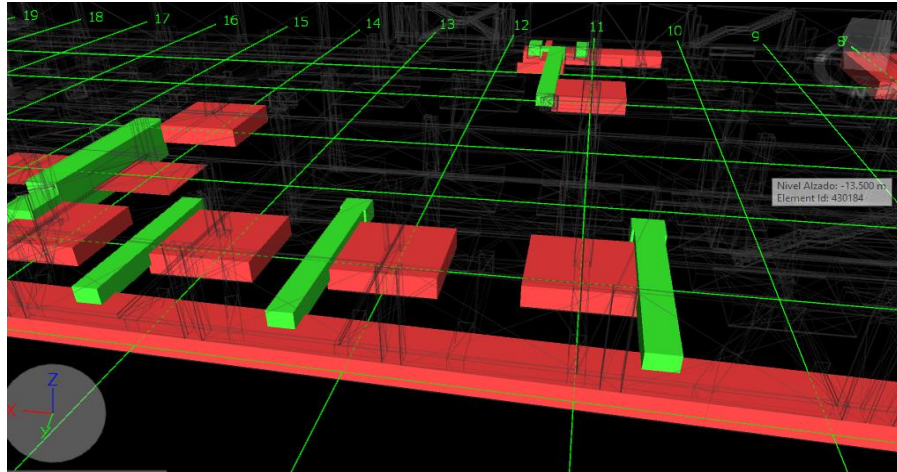


Figura 56. Detección de Interferencias entre Estructura y HVAC en Navisworks.
Fuente: Elaboración propia

3. Replanteo de la Sectorización. Con un modelado en 3D, es posible visualizar de mejor manera todos los espacios de trabajo en obra. Esto permite incluir en la sectorización todos los limitantes correspondientes al espacio de trabajo.

En esta ocasión, la sectorización original de la cimentación de la obra, no contemplaba las restricciones referentes a la rampa de tierra temporal ubicada en los sectores 17 y 18. Además, que no se tomó en consideración la restricción del sector 14 correspondiente a la excavación para la cisterna. Debido a ello, el Frente 1 del proyecto tuvo un ritmo muy lento de ejecución, mientras que el Frente 2 avanzaba según lo planeado.

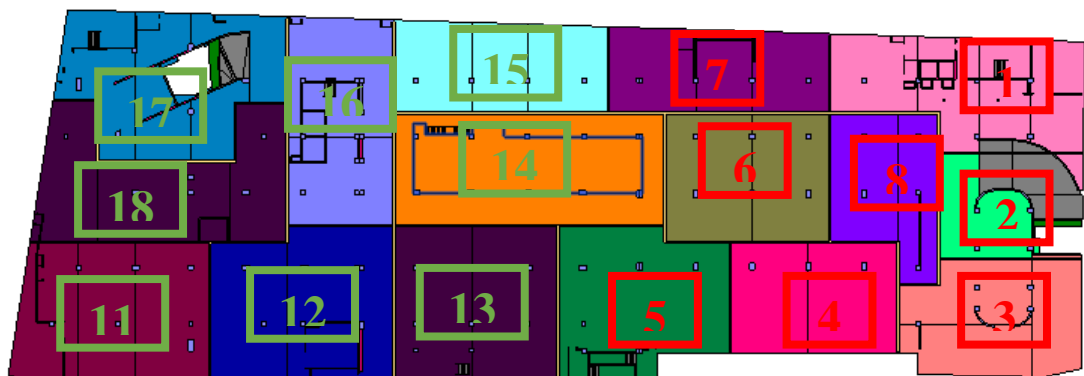


Figura 57. Sectorización realizada en Revit (Vista en Planta).
Fuente: Elaboración propia

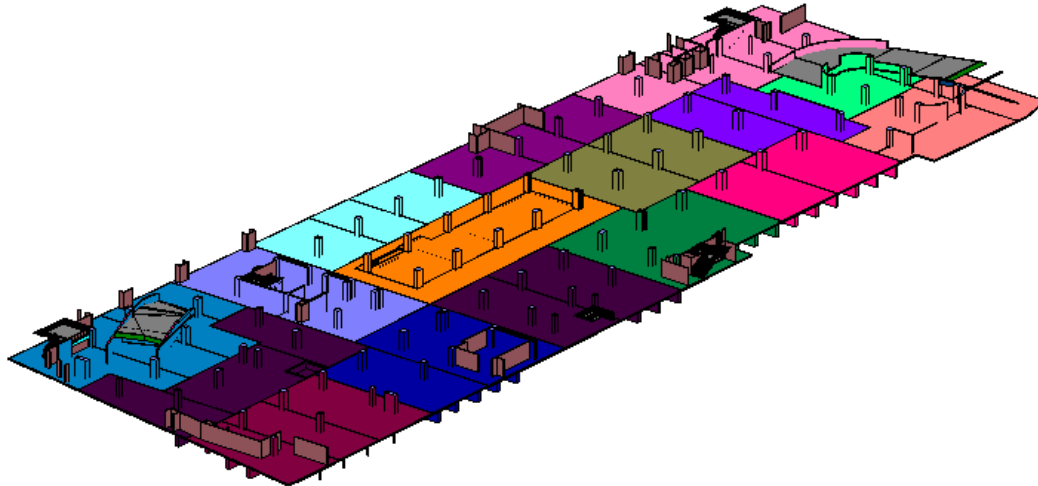


Figura 58. Sectorización realizada en Revit (Vista en 3D).
Fuente: Elaboración propia

4. Replanteo del Tren de Actividades. En la actual obra, se planteó originalmente un tren de actividades donde la sectorización no se hizo en función a un día de avance. Es por ello, que se tuvo que replantear para balancear las cargas y generar lotes de trabajo de un día de ejecución.

Frente 1

Tabla 25

Tren de actividades del Frente 1

ACTIVIDADES	SEMANA 01					SEMANA 02					SEMANA 03					SEMANA 04								
	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct	22-oct	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	28-oct	29-oct	31-oct	01-nov	02-nov	03-nov	04-nov	05-nov	07-nov	08-nov	09-nov	10-nov	11-nov	12-nov	14
	01	02	03	04	05	07	08	09	10	11	12	14	15	16	17	19	21	22	23	24	25	26	28	
FRENTE 1																								
OBRAS PRELIMINARES (GRUAS y PLUMA DE CONCRETO)																								
Excavación de cimentación de zapatas de Grúas																								
Soldado																								
Acero de zapata																								
encofrado de zapata																								
concreto de zapata																								
desencofrado de zapata																								
CISTERNA (DE CONSUMO y ACI)																								
Excavación Matriz																								
Pintado y compactado (Piso)																								
Excavación de cimentación de zapatas																								
Soldado																								
Acero de zapata																								
encofrado de zapata																								
concreto de zapata																								
desencofrado de zapata																								
PISO																								
Soldado																								
Acero de Refuerzo FY = 4200 KG/CM2																								
Concreto FC = 280 KG/CM2 A/C = 0.45 + FIBRA METALICA																								
CEMENTO TIPO Y PISO CISTERNA																								
MURO																								
Acero de Refuerzo FY = 4200 KG/CM2																								
Excavación de muro de Contorno																								
concreto de muro de Contorno																								
ESCALERA																								
Acero de Refuerzo FY = 4200 KG/CM2																								
Excavado																								
Concreto																								
TECHO																								
Excavado de Techo																								
Acero de Refuerzo FY = 4200 KG/CM2																								
concreto de Techo																								
CIMENTACIONES																								
Excavación y perfilado de zapatas y vigas de cimentación																								
soldado																								
acero de zapatas y vigas de cimentación																								
Acero en Vertical (columnas)																								

Fuente: Elaboración propia

Restricción espacial de desmonte de terreno

Frente 2

Tabla 26

Tren de actividades del Frente 2

ACTIVIDADES	SEMANA 01					SEMANA 02					SEMANA 03					SEMANA 04							
	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct	22-oct	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	28-oct	29-oct	31-oct	01-nov	02-nov	03-nov	04-nov	05-nov	07-nov	08-nov	09-nov	10-nov	11-nov	
	miércoles	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo	lunes	martes	miércoles
FRENTE 2	01	02	03	04	05	07	08	09	10	11	12	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	
CIMENTACIONES																							
Excavación y perfilado de zapatas y vigas de cimentación				S1		S4	S3	S5	S7	S8		S6	S2										
colado						S1	S4	S3	S5	S7		S8	S2										
sotero de zapatas y vigas de cimentación							S1	S4	S3	S5		S7	S8	S6	S2								
Acero de Verticaliz (colocación)								S1	S4	S3		S5	S7	S8	S6	S2							
sacofrido de zapatas y vigas de cimentación									S1	S4		S3	S5	S7	S8	S6							
concreto de zapatas y vigas de cimentación										S1	S4		S3	S5	S7	S8							
desacofrido de zapatas y curado de zapata											S1	S4	S3	S5	S7	S8		S2					
Escofido Verticaliz												S1	S4	S3	S5	S7		S8	S2				
Vaciado de concreto Verticaliz													S1	S4	S3	S5		S7	S8	S2			
Desacofrido de Verticaliz y curado														S1	S4	S3		S5	S7	S8	S2		
COLOCACION DE HWAC																							
LOSA DE CIMENTACION																							
Acero de Losa de Cimentación																							
Escofido de Losa de Cimentación																							
Vaciado de Losa de Cimentación																							
3er SOTAM																							
Escofido de vigas																							
Acero viga (colocación)																							

Fuente: Elaboración propia

5. *Hacer el Look Ahead y los planes semanales en 4D.* Para determinar los avances semanales, es importante visualizar las restricciones del espacio de trabajo en obra. En esta obra, se tuvo una principal restricción referente a una rampa de tierra ubicada en el Frente 1. Debido a ello, es importante usar el programa de Navisworks para visualizar de mejor manera la disponibilidad de cada sector por semana.

- **Determinar las zonas de excavación.**

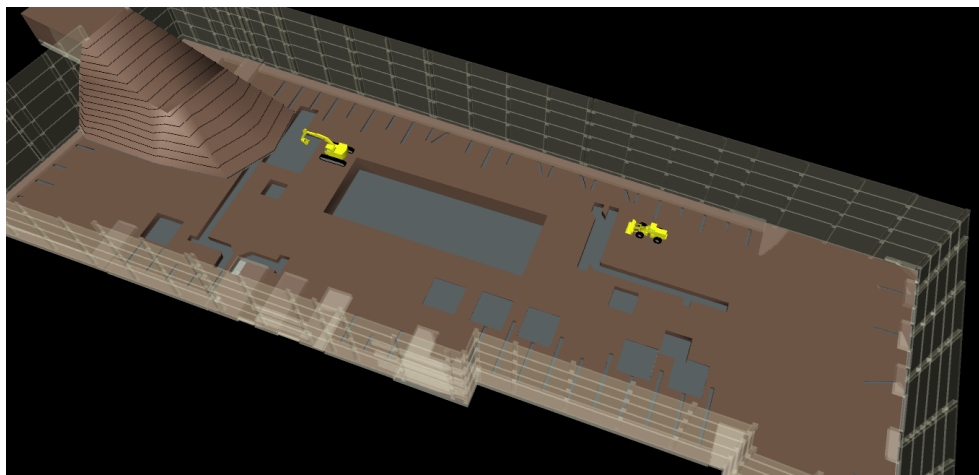


Figura 59. Secuencia constructiva en Navisworks(Excavación).

Fuente: Elaboración propia

- Determinar la secuencia constructiva según el tren de actividades (Cronograma de avance semanal).

En este caso, se puede observar que el Frente 1 es crítico debido a que este frente de trabajo presenta una restricción que se refiere a una rampa provisional de tierra que se usa como vía de acceso para el transporte de materiales y movimiento de equipos de trabajo. Por lo tanto, se requiere que se realice un análisis de las restricciones del espacio de trabajo que impidieron que se cumplan con los planes de trabajo de la obra y con los indicadores del PPC (Porcentaje de Trabajos completados) y se evalua las CNC (Causas de No Cumplimiento).

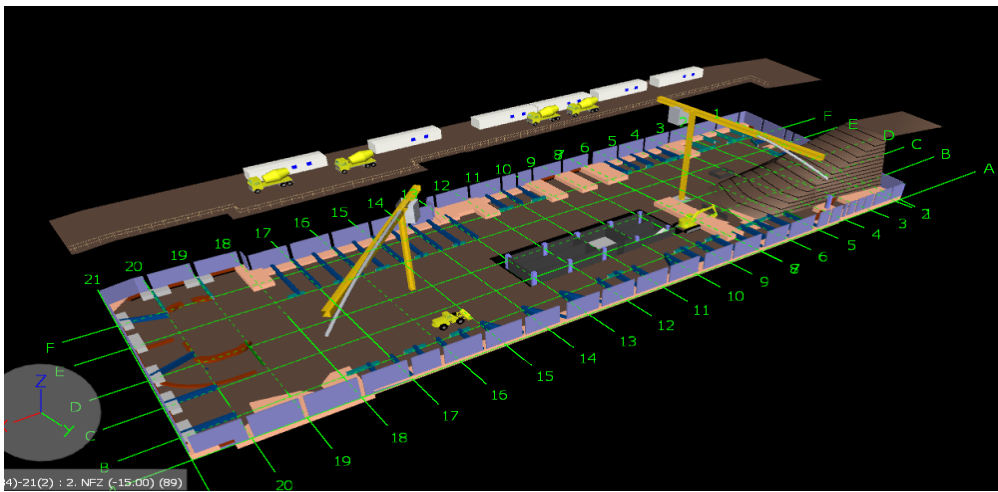


Figura 60. Secuencia constructiva en Navisworks(Cimentación).
Fuente: Elaboración propia

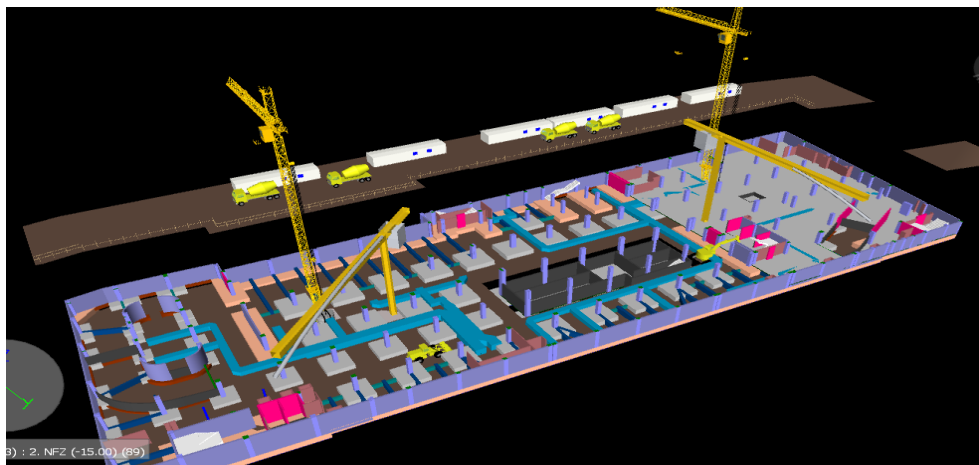


Figura 61. Secuencia constructiva en Navisworks(Cimentación y la especialidad de HVAC).
Fuente: Elaboración propia

Metodología de Retroalimentación

- Es importante actualizar tanto el modelo 3D como el modelo 4D, ya que es fundamental actualizar las modificaciones que se hacen en el diseño y visualizar los avances en el proyecto para evitar interrupciones en el flujo de trabajo y hacer un control del avance de la obra.
- Mediante el control de avance semanal se debe hacer un informe de las tareas que no fueron completadas y un análisis de las restricciones que impidieron el desarrollo de este. Además de la cuantificación de RFIs, e inclusive el detallado de las razones de los RFIs por especialidad (Anexo III).
- Para el siguiente plan semanal, se debe resaltar en color rojo aquellas actividades que están pendientes de realizar y, obligatoriamente, se debe identificar aquellas tareas críticas o con menor buffer que quedan pendientes de realizar.
- Con la identificación de las causas de incumplimiento, se debe actualizar las restricciones que se deben evaluar para la siguiente semana.

6. Costo/Beneficio

- Costo de implementación de la metodología BIM-LPS:

El costo adicional para la implementación de la metodología sería 1.58% al presupuesto original (21 732 104 soles). Sin embargo, se puede amortiguar el costo real, al cobrar un monto adicional al cliente con tal de que se le dé el modelo 4D al final de la etapa de construcción con tal de que el cliente pueda beneficiarse durante la etapa de operación y mantenimiento del proyecto, y también durante la etapa de construcción demostrando que el cliente se esté beneficiando desde el inicio. De este modo, se podría reducir ese costo adicional entre 0.5 a 1%.

COSTOS adicionales para el contratista (en un proyecto que demora 8 meses)

		Costo unitario	Cantidad	Costo total
Capacitación continua (de la metodología) a los miembros del staff y subcontratas	BIM	3500/mes	4 meses	14 000 soles
	Last Planner	1500/mes	4 meses	6 000 soles
Software	REVIT	1067/mes	8 meses	8 540 soles
	NAVISWORKS	580/mes	8 meses	4 646 soles
Modelado en softwares y gestión BIM	Modelador de softwares BIM	4 soles/m2	31 047.93 m2	124 191 soles
	Consultoría para el modelado y <u>metrados de acero</u> (opcional)	6 soles/m2	31 047.93 m2	186 287 soles
TOTAL				343 664 soles

- Beneficios

- En base a la gestión de información, se evitarían demoras de 1 a 5 días para dar respuesta a RFIs

En base a la experiencia obtenida en el primer proyecto, se obtuvo aproximadamente 150 RFIs con respecto a la especialidad de EST. Y dado que tenía 224 337 m2 de área construida, se puede obtener un valor empirico de que tuvo aproximadamente 0.0006 RFIs/m2. Por lo tanto, en el proyecto CC Surco, que ha tenido proyectado para la Fase 2, un área construida de 31,047.93 m2, tendría aproximadamente 21 RFIs. Esto por lo general, generaría tiempos muertos de 3 días = 30 horas de inactividad.

- Ahorro de M.O.

	Horas productivas perdidas en todo el proyecto	Costo unitario (soles)	Incidencia aproximada	Nº Trabajadores	Costo total de Horas hombre
Operarios	30	20	50%	110	S/33,000.00
Staff	30	80	50%	15	S/18,000.00

- Se evita las penalizaciones por demoras en la entrega del proyecto, donde es aproximadamente 0.2% del importe total por día aplazado (43,464 soles). Si se producen aplazos de aprox de 15 días en el mejor de los casos, sería 651,963 soles.

CONCLUSIONES

Al realizar las entrevistas en las tres obras, se pudo notar la falta de conocimiento en cuanto a la metodología en sí. Si bien es cierto que tienen una idea que es un software de modelación, se quedan en la idea de que es un modelo estático visual igual que un plano 2D, pero sin ver que el BIM consiste en su mayor parte en gestionar. Otro error común que cometen los que elaboran los cronogramas semanales del last planner, es que lo utilizan como si fuera un formulario para rellenar y cumplir. En la mayoría de las veces, se pudo observar que elaboraban estos planes semanales sin evaluar las restricciones en obra, las cuales eran mayormente visualizados por los operarios, pero no por la gente del staff. Al no incluir a maestros de obra, o gente que estaba continuamente en obra, a las reuniones semanales, se ignoraba mucha información que era vital, para que la ejecución de obra siga fluyendo.

El levantamiento de restricciones a tiempo con respecto al diseño de los planos, es un punto principal para reducir en mayor medida las excesivas interrupciones y cantidad de observaciones, lo cual se traduce en altos tiempos improductivos en obra. Y eso tiene un impacto significativo en los costes, que se ven reflejados a partir de la segunda mitad en obra, tal como se pudo observar en el capítulo IV.

Esto no solo afecta al contratista, sino también al cliente. Este tipo de obras normalmente, trae muchas discusiones y conflictos entre el contratista y el cliente. En cuanto al contratista, muchas veces tiene que apresurarse, afectar la calidad, y contratar a más mano de obra a última hora para llegar a los plazos establecidos. En cuanto al cliente, el producto final que obtiene a veces puede tener muchos defectos en cuanto al nivel de calidad, y retrasar la apertura de sus negocios.

Un segundo pilar a tomar en cuenta, es que esta metodología logra un seguimiento y control del proyecto continuo, permite una comunicación más transparente y entendible para los stakeholders del proyecto, y que al final ayuda a plasmar una retroalimentación activa durante la ejecución. Una gestión continua de cada sector del proyecto es sumamente importante, ya que los planos de diseño muchas veces pueden cambiar debido a ordenes de cambio por parte del cliente.

Recién después de haber levantado las restricciones de diseño, se puede realizar programaciones del *Look Ahead* y del plan semanal con mayor confiabilidad, en cada semana de trabajo.

Además, otro punto que se toca, es que se reduce mucho las brechas de comunicación que existe tanto en campo como en trabajo en oficina. De esta forma, se logra que los compromisos que se hagan en las programaciones de las reuniones semanales, se cumplan.

Por este motivo, la metodología de integración BIM-Last Planner, incita a que todos pongan de su parte y colaboren continuamente. En cada nivel o sector, siempre hay restricciones donde sea el operario, el cliente, el contratista, el diseñador, debe levantarlos a tiempo.

Por último, pese a que esta metodología genere un poco más de papeleo, o se necesite un par de trabajadores adicionales referentes al manejo del BIM, las ventajas que se obtienen son mucho mayores, tanto en ahorro de costo, tiempo e inclusive en calidad, ya que se evita a que se dé avances rápidos a última hora, que muchas veces repercute en retrabajos o no conformidades en el área de calidad.

Por otra parte, los puntos que se deben tomar en cuenta al implementar esta metodología son los siguientes:

- i. Es de vital importancia, el levantamiento de las restricciones en los primeros días de iniciado de este tipo de proyectos (*Fast-track*). Como se pudo observar, cuanto más se aplaza el levantamiento de estas restricciones, el efecto negativo en el proyecto es cada vez mayor.
- ii. Al exportar los elementos 3D al modelo 4D, se debe tener en consideración que debe asignarse nombres a cada tipo de elemento para poder identificarlos fácilmente, y poder actualizar semanalmente el modelo de forma automática.
- iii. Es necesario aclarar, que los beneficios de esta metodología de trabajo son mayores cuando se tiene proyectos de mediana o gran envergadura y cuando se implementa esta metodología desde el inicio de la ejecución del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda proponer un cronograma de logística para la obra, con el objetivo de identificar las fechas de los pedidos de materiales.
2. Se requiere hacer un inventario de las restricciones levantadas, lo cual el sistema del último planificador lo contempla (*Workable Backlog*).
3. Se ve conveniente realizar mediciones de nivel general de actividad para cuantificar el impacto y el porcentaje de los tiempos improductivos referidos a “Recibir/dar Instrucciones”, lo cual está ligado a los problemas referentes a incompatibilidades en los planos, interferencias o consultas que se refieren al diseño o proceso constructivo de obra.
4. Esta propuesta es principalmente poderosa cuando se aplica como herramienta en las reuniones que se realizan semanalmente entre los trabajadores del staff y los subcontratistas. Además, esto puede ser útil también para comunicar los avances al cliente, e inclusive puede ser una vía para gestionar las órdenes de cambio que se producen, ya sea por el Cliente o por los proyectistas.
5. Siempre es recomendable que la empresa se haga cargo de las inducciones en el uso del *Last Planner*.
6. Esta metodología puede ayudar a futuras investigaciones, tanto en lo teórico como en lo práctico, a *implementar* en un proyecto (de un antes y un después, mediante el uso de los indicadores), y ver la mejora en el flujo de trabajo y por lo tanto en la productividad. Para ello, es necesario tomar en consideración que se necesita tener a varios modeladores BIM (como mínimo uno en cada especialidad para un proyecto complejo), ya que el modelamiento BIM requiere de personas capacitadas, y porque toma mucho tiempo realizarlo. Otra solución, sería que en proyectos tipo *Fast-track* se hagan a tiempo, justo en los primeros meses o meses antes de iniciar el proyecto. Eso depende de las circunstancias de cómo se construya.
7. Otra investigación sería, identificar las limitaciones o falencias al usar BIM en un proyecto desarrollado por *Fast-track*.

REFERENCIAS

- Alarcón, L., & Pellicer, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de obras públicas*, 3(496), 45-52. Recuperado de www.Leanconstruction.es
- Alhomadi, A., Dehghan, R., & Ruwanpura, J. (2011). *The Predictability of Fast-track Projects. 12th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Procedia Engineering*, 14, pp. 1966-1972.
- Almonacid, K., Navarro, J., & Rodas, I. (2015). *Propuesta de metodología para la implementación de la tecnología BIM en la empresa constructora e inmobiliaria "IJ Proyecta"*. (Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú). Recuperado de (<http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/handle/10757/617477>).
- Asociación de Centros Comerciales y de Entretenimiento del Perú. (2017). *Los centros comerciales en el Perú-oportunidades de inversión 2017*. Recuperado de <http://preciso.pe/wp-content/uploads/2016/06/ACCEP.pdf>
- Austin, A. (2013). *A case study of value streams and Lean implementation for a small print shop*. (Tesis de maestría, Rochester Institute of Technology, Nueva York). Recuperada de <http://scholarworks.rit.edu/>
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control* (Tesis de doctorado, University of Birmingham, Londres, Inglaterra).
- Ballard, G., & Howell, G. (22 de julio 2003). An update on Last Planner. Proceedings of the 11th Annual Conference of International Group for Lean Construction, Blacksburg, VA.
- Bertelsen, S. (agosto de 2002). Bridging the gaps-towards a comprehensive understanding of Lean Construction. *Proceedings IGLC-10*, Gramado, Brazil.

- Begg, S., Bratvold, R., & Welsh, M. (mayo 2014). *Uncertainty vs. Variability: What's the difference and Why is it important? Symposium of the SPE (Society of Petroleum Engineers) Hydrocarbon Economics and Evaluation*, Houston, Texas, USA, SPE 169850.
- Boschker, R. (2013). *Improving workflow in Lean Construction design for construction (DFC) as a solution for waste elimination in a Lean Construction pilot project "Sporen in Arnhem"*. (Tesis de maestría, Eindhoven University of Technology, Eindhoven).
- Brioso, X. (2016). *Taller de Gestión Lean en la Construcción*. Lima, Perú: Capítulo de Ingeniería Civil, Consejo Departamental de Lima CIP.
- Carbo, A. (2014). *Desarrollo de un Proyecto de construcción con la tecnología BIM. Edificio La Venta (Llíria, Valencia)*. (Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Valencia).
- CCI Proyecta y Construye S. A. (s. f.) *Design-Build*. Recuperado de <http://cci.com.py/Design-Build/>
- Design-Build Institute of America*. (2015). *Choosing a Project Delivery Method*. Recuperado de https://www.dbia.org/about/Documents/db_primer_choosing_delivery_method.pdf
- Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gurtel, S., & Palumbo, S. (abril de 2015). Pros and cons of *Fast-track* Project delivery. Recuperado de <https://www.labdesignnews.com/article/2015/04/pros-and-cons-Fast-track-project-delivery>
- Guzmán, C. (2016). *Lean Construction, una filosofía de cambio* [Archivo de video]. Recuperado de www.youtube.com/watch?v=jyipBQnmlUc
- Hamzeh, F. (2009). *Improving Construction Workflow-The Role of Production Planning and Control*. (Tesis de doctorado, University of California, Berkeley). Recuperada de <http://digitalassets.lib.berkeley.edu/etd/ucb/text/>

- Izquierdo, J. (2017). *Liderazgo Lean. 3er Congreso Nacional de Lean Construction*, Lima, Perú.
- Jose, H. (30 de agosto de 2015). *Is inspection value added?* [publicación de blog]. Recuperado de <https://harishsnotebook.wordpress.com/2015/08/30/is-inspection-value-added/>
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. CIFE Technical report #72. Stanford: Stanford University.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. (Tesis de doctorado, Helsinki University of Technology. Finlandia).
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of *Lean Construction*. En R. Best, & G. de Valence (Eds.), *Design and Construction: Building in Value* (pp. 211-226). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28578914_The_foundations_of_Lean_construction
- Koskenvesa, A., & Koskela, L. (julio de 2012). Ten years of *Last Planner* in Finland – Where are we? *20th Conference of the International Group for Lean Construction*, IGLC, San Diego, CA.
- Lindblad, H. (2013). *Study of the implementation process of BIM in construction projects: Analysis of the barriers limiting BIM adoption in the AEC industry*. (Tesis de maestría, KTH Royal Institute of Technology. Estocolmo). Recuperada de <http://www.diva-portal.org/>
- Masoud, E., Clarke-Sather, A., & Mcconnell, J. (2017). *Lean Construction Applications for Bridge Inspection: Final Report*. Newark: University of Delaware. Recuperado de https://cait.rutgers.edu/files/CAIT-UTC-NC24_%20Final.pdf
- Meléndez, W. (2016). *Taller de Last Planner*. Lia, Perú: Quality Consulting Solutions.
- Morales, N., & Galeas, J. (2006). *Diagnóstico y evaluación de la relación entre el grado de industrialización y los sistemas de gestión con el nivel de productividad en obras de construcción*. (Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Pontificia

- Universidad Católica del Perú. Lima). Recuperada de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>
- Mossman, A. (2009). Forum essay: Why isn't the UK construction industry going *Lean* with gusto? *Lean Construction Journal*, 24-36. Recuperado de <https://www.Leanconstruction.org/learning/publications/Lean-construction-journal/>
- Orbus Software. (mayo 2017). *What is a Value Stream?* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=Ze-ypsG2fzw>
- Orihuela, P. (2011). *Lean Construction en el Perú*. Corporación Aceros Arequipa. Construcción Integral, Boletín N°12. Recuperado de www.motiva.com.pe
- Panaiteescu, R. (2014). *Building Information Modeling: Towards a structured implementation process in an engineering organization*. (Tesis de maestría, Delft University of Technology). Recuperada de <https://repository.tudelft.nl/>
- Pérez, R. (2011). *Desarrollo de un simulador conductual para la formación en gestión empresarial basada en Lean*. (Proyecto Final de la carrera de ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España).
- Pons, J. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid: Fundación laboral de la construcción.
- Porwal, V. (2010). *Last Planner System – Areas of application and implementation challenges*. (Tesis de maestría, Texas A&M University). Recuperada de <http://repository.tamu.edu>
- Priven, V., Sacks, R., Seppanen, O., & Savosnick, J. (junio de 2014). A *Lean* workflow index for construction projects. *IGLC-22*, pp. 715-726.
- Ruiz, S. (2017). Productividad en obras de civiles. *3er Congreso Nacional de Lean Construction*, Lima, Perú.
- Soto, F. (2017). Implementación *Lean* y perspectivas de éxito en nuevas empresas. *3er Congreso Nacional de Lean Construction*, Lima, Perú.

- Technical University of Denmark. (6 de enero de 2015). *Lean Construction*. Recuperado de http://apppm.man.dtu.dk/index.php/Lean_construction
- Terry, L. (2009). *Camino acelerado: diseño y construcción en simultáneo, aplicado a la ejecución de un centro comercial por administración*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú).
- The Economist. (17 de agosto de 2017). Efficiency eludes the construction industry: American buider's productivity has plunged by half since the late 1960s. Recuperado de <https://www.economist.com/business/2017/08/17/efficiency-eludes-the-construction-industry>
- Tommelein, I., Ballard, G., Howell, G., & Hamzeh, F. (2007). *The Last Planner System workbook: Improving reliability in Planning and Work flow* (2.^a ed.). *Lean Construction Institute*. Recuperado de www.Leanconstruction.org
- United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *Uncertainty and Variability*, Recuperado de <https://www.epa.gov/expobox/uncertainty-and-variability#faq1>.
- Watson, G. (2014). *Measurement of waste in concrete construction using Lean Construction Methodologies*. (Dissertation in fulfilment of the requirements of Bachelor of Engineering Honours – Civil, University of Southern Queensland). Recuperada de <https://eprints.usq.edu.au/>
- Xue, D. (s.f.). One-of-a-kind product design and manufacture. Recuperado de <https://people.ucalgary.ca/~dxue/Research2.html>
- Yerian, L., Seestadt, J., Gomez, E., & Marchant, K. (2012). A collaborative approach to *Lean Laboratory workstation Design reduces wasted technologist travel*. *American Journal of Clinical Pathology*, (138), 273-280.
- Zhang, D. (2012). *Project time and cost control using BIM*. (Tesis de maestría, North Dakota State University. Fargo, North Dakota). Recuperada de <https://library.ndsu.edu/>
- Zhou, B., & Zhao, Q. (2010). *Application of Lean Focus on Manufacturing Process: A case study of an American Furniture Company*. (Tesis de maestría, Jonkoping University. Jonkoping, China). Recuperada de <http://www.diva-portal.org/>

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, L., Diethelm, S., Rojo, O., & Calderón, R. (2008). Assessing the impacts of implementing *Lean Construction*. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 26-33. Recuperado de www.ing.puc.cl/rlc
- Alfaro, O. (2016). *BIM - VDC en el Perú y el mundo* [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=3K6_QWPbEe4
- Anova Consultores. (2016). *Gestión Visual*. Recuperado de <http://www.anovacalidad.es>
- Awaritoma, O. (2010). *Performance Management in Lean Production: A case study*. (Tesis para de maestría, Linnaeus University. Vaxjo). Recuperada de <https://www.diva-portal.org/>
- Ballard, G. (16 de setiembre de 2014). *Productivity: A Lean perspective* [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=jmQ37wY1SnI>
- Ballard, G. (22 de marzo de 2013). Definition of *Lean* as a Management philosophy [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=XnmR5SCYoqA>
- Ballard, G. (24 de abril del 2006). *Lean Construction* [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=1tMS3k5Tao0&t=980s>
- Biblus. (marzo 2017). *IFC ¿Qué es, a qué sirve y cuál es su relación con el BIM?* Recuperado de <http://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/>
- Bim Summit. (julio de 2018). Avances de la adopción BIM en el Perú. Recuperado de <http://bimsummit.pe/avances-de-la-adopcion-bim-en-el-peru/>
- Birna, I. (2011). *BIM adoption in Iceland and Its Relation to Lean Construction*. (Thesis for the degree of Master of Science in *Construction Management*). Iceland: Reykjavík University.
- Brady, D. (2014). *Using visual management to improve transparency in planning and control in construction*. (Tesis de doctorado, University of Salford. Manchester, Inglaterra).

- Brady, D., Tzortopoulos, P., & Rooke, J. (2011). An examination of the barriers to *Last Planner* implementation. *19th annual conference for Lean Construction, 13-15th july 2011*, Lima, Perú. Recuperado de eprints.hud.ac.uk/id/eprint/21078/
- Cabrera, C. (2017). Encuesta BIM Latinoamérica. *2do Congreso Virtual BIM, llevado a cabo por Innova Training Center*, Lima, Perú.
- Castillo, I. (2014). *Inventario de Herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS)*. (Tesis para optar el título de Ingeniera Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima).
- Comité BIM del Perú. (www.comitebimdelperu.com). Sitio web del Instituto de la Construcción y el Desarrollo (ICD) de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).
- Design BIM Studio. (s. f.) *BIM Technology*. Recuperado de <http://www.designbimstudio.com/designBIMstudio-BIM-Consultancy-Services-01-ABOUT-BIM.php>
- Designing Buildings. (22 de noviembre de 2017). *Information and communications technology in construction*. Recuperado de https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Information_and_communications_technology_in_construction.
- Duffy, W. (2016). *Factory Drilling: A Lean Manufacturing approach to drilling operations*. (Tesis de maestría, Leoben: Montanuniversitat Leoben). Recuperada de <https://dpe.ac.at/research/publications/>
- Edirisinghe, R., & London, K. (2015). Comparative Analysis of International and National Level BIM Standardization efforts and BIM adoption. *32nd CIB W78 Conference 2015, October 27th-29th 2015*, Eindhoven, The Netherlands (pp. 149-158).
- Falcao, M., Salvado, F., Couto, P., & Vale, A. (2016). Roadmap Proposal for implementing BIM in Portugal. *Open journal of Civil Engineering*, 6(3), 475-481 <http://www.scirp.org/journal/>

- International Group For Lean Construction. (IGLC). (www.iglc.net). Sitio web del Grupo Internacional de Investigadores de la Industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
- JLT Specialty. (setiembre de 2017). BIM around the world. Recuperado de <https://www.jltspecialty.com/our-insights/publications/building-sight/building-sight-july-2017/building-information-modelling-around-the-world>
- Kettering University Online. (junio de 2018). *Understanding the principle of flow in Lean Manufacturing*. Recuperado de <https://online.kettering.edu/news/2016/07/07/understanding-principle-flow-Lean-manufacturing>
- Khanzode, A. (2010). *An integrated Virtual Design and Construction and Lean (IVL) method, for coordination of MEP*. CIFE Technical Report #TR187. Stanford: Stanford University.
- Khanzode, A., Fisher, M., Reed, D., & Ballard, G. (2006). *A guide to applying the principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process*. CIFE Working Paper #093. Stanford University.
- Lean Construction Institute. (s.f.). Sitio web oficial. Recuperado de www.Leanconstruction.org
- Lofgren, J. (2015). *Challenges in BIM: Insights from a Pioneering Process Development Workshop in Finland*. (Tesis de maestría). Aalto University, Helsinki. (<https://core.ac.uk/download/pdf/80714416.pdf>)
- Mason, L. (n.d.). *The difference between IT & ICT*. Recuperado de <https://www.techwalla.com/articles/the-difference-between-it-ict>
- Mcauley, B., Hore, A., & West, R. (2017). *BICP Global BIM Study-Lessons for Ireland's BIM Programme*. Construction IT Alliance (CitA). Recuperado de <https://arrow.dit.ie/beschrecrep/>
- McGraw-Hill Construction. (2012). *The business value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)*. Smart market report. (<https://damassets.autodesk.net/>)

- McGraw-Hill Construction. (2014). *The business value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors around the world are driving innovation with BIM*. Smart market report. Recuperado de https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim_construction.pdf
- Mcpartland, R. (mayo 2017). *What is IFC?* NBS. (<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-ifc>)
- Mirzaei, P. (2011). *Lean Production: Introduction and implementation barriers with SMEs in Sweden*. (Tesis de maestría, Tekniska Hogskolan. Jonkoping). Recuperada de <http://hj.diva-portal.org/>
- Moleiro, P. (2008). *Process improvements in a material handling activity by applying Lean Production techniques*. (Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España). Recuperada de <https://upcommons.upc.edu/>
- Mora, Johnny – Blue AEC Estudio. (2016). BIM del mito a la realidad en la gestión de edificaciones. *1er Congreso Virtual BIM, Innova Training Center* (Perú).
- Noguera, D. (2015). *Building Information Modeling 4D, Virtual Design & Construction y Last Planner System*. (Trabajo de fin de grado en Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España).
- Quiroz, F. (2017). Propuesta para acelerar la industrialización de la construcción vía VCD-*Lean*. *3er Congreso Nacional de Lean Construction*, Lima, Perú.
- Quiroz, J. (junio del 2018). BIM en gobierno. Recuperado de <http://bimsummit.pe/bim-en-gobierno/>
- Rischmoller, L. (2005). *Impact of Computer Advanced Visualization Tools (CAVT) in the design process of industrial projects*. (Tesis de doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile). Recuperada de <https://www.researchgate.net/publication/>
- Sacks, R., Dave, B., Koskela, L., & Owen, R. (2009). Analysis framework for the interaction between *Lean Construction* and BIM. *17th Annual conference of the International Group for Lean Construction (IGLC) 2009*, Taipei, Taiwan.

- Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to support *Lean Construction*. *Journal of Construction engineering and management – ASCE*, 1307-1315.
- Singh, I. (abril de 2017). BIM adoption and implementation around the world: Initiatives by major nations [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-adoption-around-the-world/>
- Stroma. (2017). *Global BIM-which countries have adopted BIM?* Reporte de McAuley et al. (BICP Global BIM study - Lessons for Ireland's BIM Programme). Recuperado de <https://www.stroma.com/news/global-bim>
- Ugochukwu, P. (2012). *Lean in the supply chaint: research and practice*. (Tesis de maestría, Linkoping University. Linkoping). Recuperada de <https://pdfs.semanticscholar.org/>
- Worden, K. (2016). *BIM and Communication: Implementation of BIM into an Integrated Project Delivery Contract to encourage project teams to communicate*. (Tesis de maestría, Polytechnic State University. San Luis Obispo, California).

LISTADO DE ABREVIATURAS

Industria AEC	Industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
JIT	Just-in-Time
LPS	<i>Last Planner System</i>
LPDS	<i>Lean Project Delivery System</i>
LCI	<i>Lean Construction Institute.</i>
IGLC	International Group for <i>Lean Construction</i>
WIP	Work-in-process (Inventario)

LISTA DE DEFINICIONES

En base a estas definiciones, se desarrolla la presente tesis.

1. **Flujo de trabajo (“workflow”)**: El uso del término de *flujo de trabajo*, se ha vuelto popular por parte de muchos investigadores dentro del *Lean Construction*. Sin embargo, una de las razones acerca de que no se tenga métodos para medir el *flujo de trabajo* en construcción parece ser debido a que no hay un acuerdo común para definir el concepto de *flujo de trabajo* dentro de la producción de proyectos de construcción¹⁸.
 - Según Yerian, Seestadt, Gomez y Marchant (2012), el flujo de trabajo es un agregado (un conjunto), o una secuencia de procesos o pasos (“steps”) requeridos para elaborar un producto.
 - Según Ballard (2000)¹⁹, el flujo de trabajo es el movimiento de información y materiales a través de una red de unidades de producción. La unidad de producción se encarga de procesar la información y el material antes de ser pasados a las siguientes estaciones de producción. Se controla el flujo de trabajo cuando se establece una secuencia y un ratio deseado.
 - Según Womack y Jones (2003, como se cita en Priven, Sacks, Seppanen, & Savosnick, 2014), el flujo de trabajo en *Lean Production*, se refiere al movimiento de materiales, información y recursos que pasan a través de las estaciones de trabajo (unidades de producción). Para lograr un flujo de trabajo sin problemas, se necesita controlar la disponibilidad de materiales, información y recursos durante toda la etapa de producción. A diferencia de la manufactura, en la industria de construcción, es más difícil definir los pasos que agregan valor.
 - Bolviken y Kalsaas (2012, como se cita en Priven et al., 2014), tuvieron una meta ambiciosa para entender y medir el flujo de la construcción. Después de años de investigaciones extensivas y testeos de diferentes enfoques, ellos concluyeron que el *flujo de trabajo*, es una medida de productividad y solo puede ser calculado con la siguiente fórmula (horas hombre que se utiliza a un empleado – pérdida de tiempo)/ horas hombre que se utiliza a un empleado. Las *pérdidas de tiempo* pueden ser de muchos tipos, por lo que siempre es un reto lograr medir de forma adecuada cada tipo de pérdida.
 - Según Austin (2013), el flujo de trabajo es una serie de tareas necesarias que se tienen que seguir, para recibir un trabajo en la puerta, producirla y enviarla. Esta serie de pasos sirve para guiar a los empleados para producir un producto tan efectivamente como sea posible. Los flujos de trabajo que se diseñan, sirven como mapas de carreteras que direccionan

¹⁸ Priven et al., 2014: 716.

¹⁹ Según Ballard, los trabajos hechos por los *stakeholders* producen/outputs ya sea de información y materiales (Ballard, 2000).

el flujo de información y material a través del proceso de producción. La complejidad y número de diferentes flujos de trabajo en una empresa, depende de la diversidad y complejidad de los productos que ofrecen. Un flujo de trabajo falla, comúnmente cuando el flujo de trabajo es demasiado estrecho y no es lo suficientemente flexible para manejar situaciones inesperadas. Otra causa, de fallo, es que las empresas crean flujos de trabajo complejos que son difíciles de entender para los empleados y al final, se convierten en inservibles. Existen softwares para la gestión de flujos de trabajo (Austin, 2013).

* *Según mi opinión*, un flujo de trabajo es un camino (“path”/“pathway”) por donde se ejecutan trabajos (es decir, camino por donde circulan las actividades que agregan valor/“works”). Este camino (flujo de trabajo) está compuesto de *actividades que agregan valor/“works”* y de *actividades que no agregan valor* (transporte, inspecciones, movimientos, etc.).

2. Value stream:

- Es un término usado en *Lean Management*. Es una secuencia de pasos requeridos para producir valor (producto o servicio final). Se puede ver como un camino por donde la información y recursos fluyen. En aquí, cada paso de este proceso, agrega valor al producto final. Es una herramienta para documentar, analizar y mejorar estados presentes y futuros (Orbus Software, 2017).
 - Según Hamzeh (2017), el flujo de valor es una secuencia de actividades en donde el valor es agregado al producto o servicio, mientras viaja desde el diseño a través de la fabricación (manufacturing), hasta su entrega a los clientes (Hamzeh, 2009).
 - Según Austin (2013), el flujo de trabajo es diferente al flujo de valor (value streams). Los flujos de trabajo muestran una secuencia de pasos dentro de un proceso, pero que no se enfocan en cómo (“how”) la información y los materiales fluyen entre un paso (actividad) al siguiente paso (actividad). Es decir, no muestran lo que sucede entre cada paso, y acerca de qué materiales, recursos o tiempo es gastado para obtener el producto de una operación a la siguiente. Y también no muestran cómo la comunicación sucede entre cada paso (a pesar de que se utilicen softwares para la gestión de flujo de trabajo como herramienta de comunicación entre cada paso). En cambio, el flujo de valor (“value stream”) permite responder a todas las preguntas referentes a cómo (“how”) y además, permite mapear y documentar para crear una gráfica clara de lo que realmente ocurre entre cada paso, para identificar los desperdicios.
- Value Stream Map (VSM): es una herramienta que sirve para analizar los procesos actuales. Consiste en crear una representación

visual de cómo los materiales e información fluyen a través del sistema, y muestra las actividades que agregan valor y que no agregan valor, muestra métricas de performance de cada actividad, inventario en cada etapa (paso) y throughput time. Luego de mapear la situación actual, se crea un mapeo que muestre una situación futura para identificar dónde las herramientas *Lean* y los esfuerzos deben ser puestos para lograr un máximo beneficio (Austin, 2013).

3. Value stream vs Workflow (opinión del autor)

- * El término de *flujo de trabajo* se ha utilizado desde muchas décadas atrás en muchas industrias tradicionales y, se sigue utilizando aun en diferentes industrias y organizaciones. Para *diseñar* un *flujo de trabajo*, se utiliza el “diagrama de proceso de flujo”. Este diagrama permite evaluar de forma simplificada un proceso (es decir, evaluar/mapear un flujo de trabajo).
- * En cambio el término *flujo de valor* (“Value stream”), fue creado para ser usado en *Lean Production*, con la finalidad de evaluar a profundidad un flujo de “trabajo” (es decir, el flujo de *actividades que agregan valor*). Para lograr ello, es que se utiliza la herramienta llamada “Value Stream Map”.
- * En resumen, tanto el concepto de flujo de trabajo y flujo de valor se refieren a lo mismo. Sin embargo, cuando se trata de evaluar (analizar) un flujo de trabajo, estos 2 términos se diferencian. Es decir, son dos términos que se utilizan para *evaluar* de forma distinta un flujo de trabajo.
- * Adicionalmente, pienso que el término de flujo de trabajo debería ser considerado como sinónimo de flujo de valor (“value stream”) en diferentes industrias. Esto debido a que el término trabajo (“work”) en *Lean*, significa valor. Y que cuando se trate de *evaluar* un flujo de trabajo, simplemente se utilice los nombres originales de cada herramienta de mapeo.

4. **Flow:** Algunos investigadores utilizan el concepto de *flujo* como sinónimo de *flujo de trabajo*. Otros investigadores utilizan el término *flujo* como sinónimo de *continuidad* (sin interferencias). Y otros afirman, que el término flujo es sinónimo de JIT (*Lean Production*). A continuación, se muestra algunas de estas afirmaciones:

- El flujo está compuesto de transformaciones, inspecciones, movimiento y esperas (Boschker, 2013).
- Según Kalsaas (2010, como se cita en Priven et al., 2014), la definición relativa de *flujo* se refiere a tener un flujo continuo de algo (“continuous stream of something”).
- La teoría de flujo, ha ido cambiando con los años. Gilbreth y Gilbreth (1922) utilizaron el “*process charting*” para definir el flujo. Por su parte

Henry Ford, veía al flujo como una producción en línea de ensamblaje. Toyota (*Lean Production*), le dio un nuevo concepto al flujo de producción, mediante el uso del JIT (Hamzeh, 2009, p. 38).

- Según Ayers (2006, como se cita en Hamzeh, 2009, p. 39) la analogía *Lean*, para el término *flujo* (“flow”) es un río fluyendo de manera uniforme a ritmo regular, desde cada proveedor (proveedores externos e internos) hasta cada cliente (estaciones de trabajo y cliente final). El camino del río no contiene barreras, partes lentas (lagos), partes rápidas, ni cualquier mayor turbulencia que perturbe la consistencia del flujo. El río solo entrega lo que los clientes encuentran valiosos mientras se incurre en la minimización de desperdicios (referentes a lo que los clientes encuentran no valioso y referido a los inventarios para la empresa). Se diseña la altura de los contornos del río (“riverbank”) para ajustarlos a los cambios del nivel de agua dentro de los límites de diseño.

* *Según mi opinión*, la razón de estas imprecisiones en la literatura se debe a que en las industrias del siglo 20, se utilizaba el término de “flow” (flujo) para definir las vinculaciones entre actividades predecesoras y sucesoras. De esta forma, cuando se creó la gestión *Lean*, se intentó distanciarse de los términos usados en la gestión tradicional, y por eso se creó el término “stream” (flujo).

- i. Por otra parte, se tiene que tomar en consideración que además del *flujo de trabajo*, existen otros tipos de flujos (por ejemplo, flujo de información, flujo de cada recurso).
- ii. Por otro lado, se debe usar el término *flujo continuo* (y no solamente el término *flujo*), para especificar en caso de tener un flujo que no tenga interrupciones. Esto debido a que en la ingeniería hidráulica, un flujo puede ser considerado turbulento (con variaciones e impredecible) o laminar (estacionario, estable y continuo). De esta forma, recién se puede decir que para crear un *flujo continuo*, se puede usar la herramienta JIT (del *Lean Production*).

* En resumen, un flujo es un camino (“path”). Por tanto, un sistema de producción (por ejemplo, un proyecto de construcción) está compuesto por diferentes flujos (caminos). Estos son: el flujo de trabajo/flujo de valor (camino por donde circula los trabajos que agregan valor), flujo de información (camino por donde circula/pasa la información), flujo de recursos, etc. De esta manera, se puede decir, que un flujo de trabajo puede estar en 2 situaciones: ser continuo, o tener interrupciones.

5. Unidad de producción: Persona o un grupo, que realiza la producción de forma directa, es decir que hacen el trabajo, o que comparten responsabilidades para hacer ese mismo trabajo (Tommelein et al., 2007). De esta manera, **una**

unidad de producción puede ser **una** cuadrilla (en el caso de una obra de construcción, los encargados de ejecutar el trabajo que agrega valor al cliente final, son los operarios, oficiales y peones), o puede ser **un** trabajador independiente (en el caso de una obra de construcción, puede ser un operario especializado como un pintor, un electricista, etc.). En la fase de diseño de un proyecto de construcción, una unidad de producción puede ser un diseñador (ya sea un arquitecto o un ingeniero, porque su trabajo agrega valor al cliente final, para producir un output que es un plano o diversos planos de diseño). En la industria de manufactura, una unidad de producción es un operario que trabaja en su estación de trabajo.

6. Inventario: Existen tres tipos de inventarios dentro de un *sistema de producción*.

- **Materia prima:** Se refiere a un material que aún no pasó por ninguna transformación dentro de nuestro *sistema de producción*.
- **WIP: producto no terminado** (producto que están en espera, entre cada estación de trabajo). Por ejemplo, un muro que aún no tiene una ventana.
- **Producto terminado:** Es un producto final, que aún no ha recibido el cliente final.

7. Output

- **Outputs intermedios:** Bienes (o productos intermedios). Es decir, el WIP.
- **Output final de un sistema:** Es lo que se entrega al cliente. Puede ser un producto final (ejemplo: para un contratista general, la producción de un edificio agrega valor al cliente) o servicio final (ejemplo: para una empresa transportista, el envío de materiales agrega valor al cliente.)

8. Trabajo (“Work”). Actividad que agrega valor al producto final - actividad productiva. Masoud, et al., 2017).

9. Trabajador (“worker”). Persona que produce (un trabajo/“work”). En el caso de un proyecto de construcción, el operario es el encargado de producir/agregar valor. Para un proyecto de diseño, un diseñador es el que produce. Para una organización que produce documentos, un oficinista produce valor al cliente final.

10. Ejecutar: Se refiere a ejecutar un trabajo (“work”/actividad que agrega valor). Por ejemplo, la unidad de producción se encargó de ejecutar una asignación (actividad del plan semanal que se le ordena a un trabajador para que lo ejecute) en la obra.

11. Throughput: Es un ratio. Se refiere a la cantidad de *unidades de un producto* que realmente se ejecutaron (produjeron) por *una unidad de tiempo*.