



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Caso de aplicación de Last Planner System en Barcelona.

Trabajo realizado por:

Johnny Santiago Cabrera Barrera

Dirigido por:

Nuria Forcada Matheu PhD.

Pedro Judez Muñoz PhD.

Máster en:

Ingeniería Estructural y de la Construcción

Barcelona, 28 de Enero de 2020

Departamento de Ingeniería de Proyectos y de la Construcción.

TRABAJO FINAL DE MÀSTER

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universitat Politècnica de Catalunya por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de masterado y a todos los catedráticos que compartieron sus conocimientos conmigo.

*A los Profesores Nuria Forcada Matheu PhD. y Pedro Judez Muñoz PhD.
Por su dirección, asesoría, apoyo y valiosos comentarios durante todo el desarrollo de este TFM,
que me permitieron alcanzar los objetivos planteados.*

*A la Empresa Constructora Tarraco, al Jefe de Grupo Jonás López y al Consultor Xavier Pallás
Por haberme abierto las puertas y proporcionado toda la información relevante para la
realización de este TFM.*

DEDICATORIA

A mis padres Johnny y Dunia

Por confiar en mi y brindarme el apoyo emocional, espiritual y económico, a pesar de la distancia, para poder cumplir con esta meta.

A mis abuelos Oswaldo y Nancy

Por haberme acompañado en cada etapa de mi formación y ser un soporte incondicional en mi vida.

A mi hermano David

Por ser el motivo por el cual me exijo cada día para intentar ser un buen ejemplo en su vida.

A mi abuelita Aleja

Por haber sido para mi la persona más afectiva, cariñosa, protectora y un ejemplo de lucha y superación constante durante toda su vida.

Resumen

El sector de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes dentro del funcionamiento de un país. Sin embargo, este campo ha sido el más pobre en el tiempo en cuanto a innovaciones organizacionales y de gestión. Debido a esto, resulta de principal interés buscar un nuevo sistema de gestión y organización de proyectos, que permita oxigenar, reactivar y reconducir el desarrollo de este importante sector económico. Dado esta necesidad surgió el “Last Planner System” (LPS), desarrollado en Estados Unidos por miembros del Lean Construction Institute, el cual es un sistema operativo para la gestión de proyectos que está diseñado para optimizar el flujo de trabajo y promover el aprendizaje rápido. Esta técnica, es posiblemente la más divulgada mundialmente dentro de la filosofía “Lean Construction” y está centrada en la fase de ejecución, concretamente en la obra. Esta investigación analizó la efectividad de este sistema operativo de gestión de proyectos mediante un caso de estudio real, pretendiendo: determinar cuantitativamente si existió una optimización del flujo de trabajo, determinar si existió una participación integral entre todos los actores del proyecto y plasmar el nivel de aceptación alcanzado por parte de los participantes durante su desarrollo. De esta forma se quiso responder, a si este nuevo sistema de gestión es realmente una vía de solución rentable y aplicable en el tiempo en cuanto a la gestión de proyectos, y en qué medida mejoraría al sistema de gestión tradicional. La metodología de esta investigación se basó en el análisis de la implementación de LPS mediante casos de estudio alrededor del mundo a través de una recopilación bibliográfica, y además se analizó un caso de estudio de un proyecto desarrollado por una empresa constructora en la ciudad de Barcelona-España. En este último, se estudiaron todos los puntos importantes y críticos de la implementación del LPS así como los efectos producidos en el mismo, y posteriormente se realizó un análisis comparativo entre los estudios de caso recopilados bibliográficamente y el realizado propiamente. Los resultados mostraron que: la implementación del LPS es viable para cualquier tipo de obra, el sistema es propenso a sufrir gran variabilidad dependiendo de las características propias del lugar donde se lo implemente, las mejoras alcanzadas con el sistema son significativas y similares en todas las tipología de obra, el sistema produjo una gran mejora en la variación sobre el objetivo temporal del proyecto y el nivel de aceptación de los participantes fue positivo, a pesar de ser evaluados con mucha periodicidad.

Índice

1.	Introducción	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Generales	2
1.1.2	Específicos	2
1.2	Alcance	3
1.3	Justificación	3
2.	Descripción del sistema de gestión LPS.	3
2.1	Programación general	6
2.2	Programación por fases.....	6
2.3	Lookahead Program	7
2.4	Programación de trabajo semanal	8
3.	Metodología de la Investigación	11
4.	Análisis de la implementación de LPS en el mundo.	13
4.1	Estado del Arte	13
4.2	Recopilación de datos	15
4.2.1	Porcentaje de Plan Completado (PPC)	21
4.2.2	Principales Causas de No Cumplimiento (CNC).....	23
4.2.3	Mejoras implementadas por el sistema LPS	25
4.3	Resultados y discusiones	25
4.3.1	Porcentaje de plan completado (PPC)	26
4.3.2	Causas de no cumplimiento (CNC)	32
4.3.3	Mejoras implementadas por el sistema LPS	33
5.	Caso de estudio	34
5.1	Descripción	35
5.2	Entrevistas con los Participantes del Proyecto	37
5.2.1	Consultor	38
5.2.2	Jefe de Obra	41
5.2.3	Encargado de Obra.....	42
5.3	Recopilación de datos	42
5.3.1	Porcentaje de Plan Completado (PPC)	45
5.3.2	Causas de No Cumplimiento (CNC)	46
5.3.3	Variación sobre el objetivo temporal de la obra.....	46
5.4	Resultados y Discusiones.....	47
5.4.1	Porcentaje de plan completado (PPC)	47

5.4.2 Causas de No Cumplimiento (CNC)	49
5.4.3 Variación sobre el objetivo temporal de la obra.....	51
6. Comparación del caso de estudio con el estado del arte	52
6.1 Porcentaje de Plan Completado (PPC)	52
6.2 Causas de No Cumplimiento (CNC):.....	54
7. Discusión de resultados y Conclusiones.....	59
8. Referencias.....	63
9. Anexos.....	65

Índice de Figuras

Fig. 1: Estructuración del sistema de planificación Tradicional. Fuente: (H. G. Ballard, 2000).....	4
Fig. 2: Estructuración del sistema de planificación LPS. Fuente: (H. G. Ballard, 2000).....	4
Fig. 3: Planificación mediante LPS. Fuente:(Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011).....	4
Fig. 4: Planificación tradicional. Fuente: (Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011).....	5
Fig. 5: Funcionamiento del LPS. Fuente: (Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011).....	5
Fig. 6: Diagrama del Porcentaje de Plan Completado. Fuente: (H. G. Ballard, 2000)	9
Fig. 7: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 1-5.....	22
Fig. 8: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 6-10.....	22
Fig. 9: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 11-15.....	22
Fig. 10: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 16-20.....	23
Fig. 11: Diagrama de cajas, PPC por tipo de obra.	26
Fig. 12: Gráfico Lineal, PPC por avance de obra en Infraestructura de transporte	27
Fig. 13: Diagrama de cajas, PPC por continente.....	29
Fig. 14: Histograma de frecuencias acumulado, Principales CNC por tipo de obra.....	32
Fig. 15: Histograma de frecuencias acumulado, Mejoras implementadas por LPS por tipo de obra.	34
Fig. 16: Fotografía en obra del Proyecto 1, ángulo 1.	35
Fig. 17: Fotografía en obra del Proyecto 1, ángulo 2.	35
Fig. 18: Ubicación satelital Proyecto 1 en planta	36
Fig. 19: Ubicación satelital Proyecto 1 en 3D	37
Fig. 20: Plantilla de programación general.....	43
Fig. 21: Plantilla de información general del Proyecto 1 y clasificación de incidencias.....	44
Fig. 22: Plantilla de programación intermedia.	44
Fig. 23: Plantilla de programación semanal.	44
Fig. 24:Diagrama Lineal, Evolución del PPC en Proyecto 1	45
Fig. 25: Diagrama Lineal, Variación sobre el objetivo temporal del Proyecto 1.	46
Fig. 26: Histograma de Frecuencias, PPC en el desarrollo del Proyecto 1.	48
Fig. 27: Diagrama Lineal, Evolución del PPC en Proyecto 1	49
Fig. 28: Diagrama de Pareto, CNC en Proyecto 1	49
Fig. 29: Diagrama Lineal, Variación sobre el objetivo temporal del Proyecto 1.	51
Fig. 30:Diagrama de Cajas, Comportamiento del PPC en Proyectos Residenciales recopilados y en el Proyecto 1.....	53
Fig. 31: Gráfico Lineal, Comparación de evolución de PPC entre Proyecto 1 y proyecto recopilado en España.	54
Fig. 32: Gráfico Circular, CNC obtenidas del Proyecto 1 en porcentajes de pertenencia.	55
Fig. 33: Histograma acumulado, CNC de artículos recopilados en proyectos Residenciales.	56

Fig. 34: Diagrama de Pareto, CNC de artículos recopilados en proyectos Residenciales.	56
Fig. 35: Gráfico Circular, CNC obtenidas del Proyecto 1 en porcentajes de ocurrencia.	58
Fig. 36: Diagrama de Pareto, CNC obtenidas del Proyecto 1 en porcentajes de ocurrencia.	58
Fig. 37; Fases de estructuración del proyecto.....	66
Fig. 38: Ejemplo de planos del Proyecto 1.	66
Fig. 39: Desarrollo de una Pull Sesión.	66
Fig. 40: Modelo de relleno de los post-it para Pull Sesiones.	67
Fig. 41: Organigrama y Post-it de actividades de una Pull Sesión del Proyecto 1.	67
Fig. 42: Programa de Trabajo Semanal.	67
Fig. 43: Análisis estadístico semanal del PPC.	68
Fig. 44: Registro y gestión de restricciones.	68

Índice de Tablas

Tabla 1: Análisis de LPS alrededor del mundo	21
Tabla 2: Porcentaje de Plan Completado en artículos analizados.	21
Tabla 3: Principales Causas de No Cumplimiento en artículos analizados	24
Tabla 4: Mejoras obtenidas por la implementación de LPS.....	25
Tabla 5: Correlación de Pearson, Duración vs PPC promedios de avance de obra.....	30
Tabla 6: Correlación de Pearson, relación del PPC promedio entre las distintas etapas de avance de obra.	31
Tabla 7: Porcentaje de Plan Completado en el Proyecto 1.	45
Tabla 8: Causas de No Cumplimiento en el Proyecto 1	46
Tabla 9: Frecuencias del PPC en el desarrollo del Proyecto 1.....	47
Tabla 10: Evolución PPC en Proyecto 1.	53
Tabla 11: Clasificación de CNC del Proyecto 1 en CNC generales.....	55

1. Introducci3n

El sector de la construcci3n es uno de los sectores econ3micos m1s importantes dentro del funcionamiento de un pa3s, sin embargo, ha sido el m1s pobre en el tiempo en cuanto a innovaciones organizacionales y de gesti3n. Resulta preocupante ya que atrasa el desarrollo del pa3s debido a: incumplimientos en plazos de entregas de proyectos, inflaci3n de costes alarmantes en las obras, problemas de contrataci3n de personal, estancamiento en la producci3n, paralizaci3n de personal y maquinaria, entre otros. Esto impacta directamente a la econom3a del pa3s, haci3ndolo vulnerable en: inversi3n local o extranjera, inconformidades sociales y conflictos pol3ticos. Debido a esto, resulta de principal inter3s buscar un nuevo sistema de gesti3n y organizaci3n de proyectos que proporcione soluci3n a todos los problemas expuestos, lo cual permita oxigenar, reactivar y reconducir el desarrollo de este importante sector econ3mico.

Desde la d3cada de los 90s, dado el cambio en la gesti3n de la industria automovil3stica impulsada por la empresa Toyota llamada "Lean Manufacturing", algunos autores han realizado investigaciones para llevar e implementar esos mismos principios en el sector de la construcci3n. Estos son catorce principios, entre los que se destacan: convertir los flujos de procesos en flujos continuos para hacer que los problemas salgan a la superficie, utilizar sistemas Pull para evitar tareas que no a3adan valor, crear una cultura de gesti3n a fin de resolver los problemas anticipadamente y lograr calidad de ejecuci3n a la primera, tomar decisiones por consenso considerando meticulosamente todas las opciones e implementarlas r1pidamente, y convertirse en una organizaci3n que aprende mediante la reflexi3n constante y la mejora continua (James M. Morgan and Jeffrey K. Liker, 2006).

En 1992, Lauri Koskela inici3 con la aplicaci3n de la filosof3a Lean en la Construcci3n mediante su art3culo "Application of the new production philosophy to construction", en el cual ciment3 las bases de la producci3n sin p3rdidas, enfoc1ndose en: la gesti3n de la calidad total y reingenier3a de procesos, el enfoque "just-in-time" y en la ingenier3a concurrente (Koskela, 1992). Estos enfoques los integrar3a a posteriori cuando en el a3o 2000, en su Tesis Doctoral "An exploration towards a production theory and its application to construction", introdujera tres objetivos fundamentales que deber3an cumplirse para desarrollar un sistema "Lean Construction" de manera eficiente, los cuales son: reducci3n de costes, ahorro de tiempo e incremento de valor para el cliente (Koskela, 2000).

Con la creaci3n de este nuevo sistema de gesti3n "Lean Construction", empezaron a derivarse del mismo algunas t3cnicas de implementaci3n en diferentes tipos de proyectos, as3 como en las diferentes fases, etapas y procesos de cada uno de estos. Entre estas t3cnicas surge el "Sistema del 3ltimo Planificador" (SUP) o "Last Planner System" (LPS), utilizar3 en adelante LPS, desarrollado en Estados Unidos por miembros del Lean Construction Institute (G. Ballard, 1994; G. Ballard & Howell, 1998; H. G. Ballard, 2000), el cual es un sistema operativo para la gesti3n de proyectos que est1 dise3ado para optimizar el flujo de trabajo y promover el aprendizaje r1pido (Fernandez-Solis et al., 2013). Se origin3 en la necesidad de control, con una estrategia de aumentar la previsibilidad del plan y flujo de trabajo, tambi3n conocido como estabilizaci3n del sistema de producci3n, a trav3s del control de la calidad de las tareas en los planes de trabajo semanales (G. Ballard, 1993). Esta t3cnica es posiblemente la m1s divulgada mundialmente dentro de la filosof3a "Lean Construction"

(Rodríguez Fernández, Cárdenas, & Armiñana, 2011) y est1 centrada en la fase de ejecuci3n, concretamente en la obra (G. Ballard & Howell, 2003).

Este trabajo analiz3 la efectividad de este sistema operativo de gesti3n de proyectos LPS mediante un caso de estudio en un proyecto real desarrollado en la ciudad de Barcelona-España. Se determin3 cuantitativamente si existi3 una optimizaci3n del flujo de trabajo analizando los Porcentajes de Plan Completado (utilizar3 en adelante PPC), se analiz3 las Causas de No Cumplimiento (utilizar3 en adelante CNC) de actividades de mayor frecuencia, se evalu3 las principales barreras de implementaci3n del sistema, se determin3 si existi3 una participaci3n integral entre todos los actores del proyecto y se midi3 el nivel de aceptaci3n obtenido durante su desarrollo. De esta manera se pudo concluir si este nuevo sistema de gesti3n es realmente una v1a de soluci3n rentable y aplicable en el tiempo en cuanto a la gesti3n de proyectos, y en qu3 medida mejora al sistema de gesti3n tradicional.

1.1 Objetivos

1.1.1 Generales

Analizar la situaci3n general de la implementaci3n del sistema operativo para la gesti3n de proyectos LPS en el mundo.

Analizar la efectividad del sistema operativo para la gesti3n de proyectos LPS mediante un caso de estudio en un proyecto desarrollado en la ciudad de Barcelona-España.

1.1.2 Específicos

- Evaluar los PPC en los casos de estudio recopilados a nivel mundial.
- Evaluar las principales CNC en los casos de estudio recopilados a nivel mundial.
- Evaluar las Mejoras implementadas por LPS en los casos de estudio recopilados a nivel mundial.
- Analizar el PPC durante todas las semanas de duraci3n del proyecto del caso de estudio en Barcelona y determinar el porcentaje promedio alcanzado.
- Evaluar las CNC durante el desarrollo del proyecto del caso de estudio en Barcelona.
- Describir y analizar qu3 tipo de desaf1os se enfrentaron en el proyecto del caso de estudio en Barcelona durante la implementaci3n de este sistema de gesti3n.
- Describir cualitativamente el nivel de aceptaci3n y confort de los distintos actores del proyecto del caso de estudio en Barcelona al utilizar este sistema de gesti3n.

1.2 Alcance

En esta investigaci3n se realiz3 un an3lisis de la implementaci3n de LPS a partir de casos de estudio recopilados a nivel mundial. Estos casos fueron seleccionados de revistas y conferencias reconocidas mundialmente, realizados por autores importantes en lo referente al desarrollo de este sistema de gesti3n. Adem3s, se analiz3 un caso de estudio particular en la ciudad de Barcelona-Espa1a que permiti3 conocer de primera mano: las formas y los procesos que se utilizaron para implementar el sistema, las percepciones de los participantes del proyecto, las ventajas y mejoras alcanzadas, y las principales barreras encontradas durante toda la obra. Con los an3lisis expresados anteriormente, se propusieron mejoras y recomendaciones que producir3n avances y resultados superiores en futuras implementaciones de LPS.

1.3 Justificaci3n

La empresa responsable de la implementaci3n de LPS en el caso de estudio en la ciudad de Barcelona, tiene el prop3sito de mejorar la gesti3n y planificaci3n de sus proyectos a trav3s del uso de este nuevo sistema. Espera a futuro reducir sobrecostos y errores en la estimaci3n de los tiempos de duraci3n de las obras. La empresa ha realizado ya algunas pruebas pilotos en proyectos ocupando LPS, sin embargo no ha hecho un an3lisis que: cuantifique la existencia de mejoras, compare los rendimientos obtenidos con los alcanzados mediante la forma antigua de gesti3n ni mida de forma cualitativa el 3ndice de aceptaci3n hacia el sistema por parte de los participantes de la obra. Debido a lo expresado, surgi3 la necesidad de realizar esta investigaci3n, de manera de dar respuesta a los temas nombrados y con el objetivo de proponer mejoras y recomendaciones para futuros proyectos.

2. Descripci3n del sistema de gesti3n LPS.

El sistema de planificaci3n LPS se basa en ejecutar una planificaci3n de lo que DEBE hacerse, tomando en cuenta lo que PUEDE llevarse a cabo de acuerdo a: los recursos disponibles, los prerrequisitos, las restricciones, etc.; logrando de esta manera que lo que SE HAR3 resulte realmente realizable. Este sistema de planificaci3n va en contraposici3n al sistema de planificaci3n tradicional, en el cual se planifican las actividades a ejecutar de acuerdo a lo que DEBE realizarse. El mismo asume que se dispondr3n de todos los recursos necesarios cuando se precise, sin tomar en consideraci3n si esto realmente PUEDE ser hecho, lo cual da como resultado una presi3n muy fuerte en el 3ltimo planificador. Esto, se debe a que el mismo ser3 evaluado por el cumplimiento de la programaci3n, lo que junto a la falta de recursos y a las restricciones de cada fase de la planificaci3n, hace imposible que lo que SE HAR3 coincida con lo que se DEBE, produciendo as3 el incumplimiento del programa y una improvisaci3n en la gesti3n del trabajo. En las *Fig. 1* y *Fig. 2* se muestran las estructuraciones de los sistemas de planificaci3n.

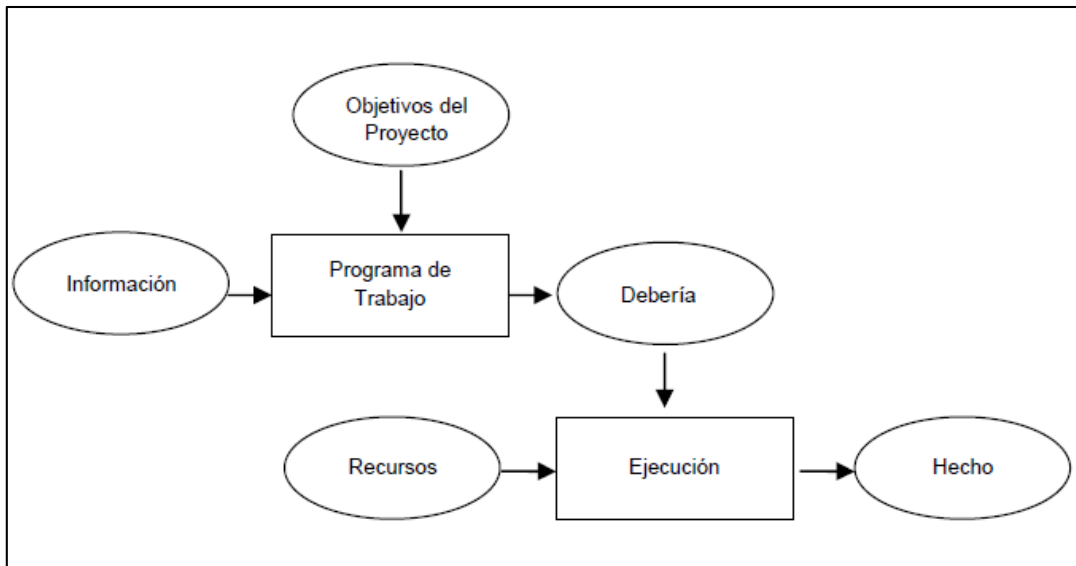


Fig. 1: Estructuración del sistema de planificación Tradicional. Fuente: (H. G. Ballard, 2000)

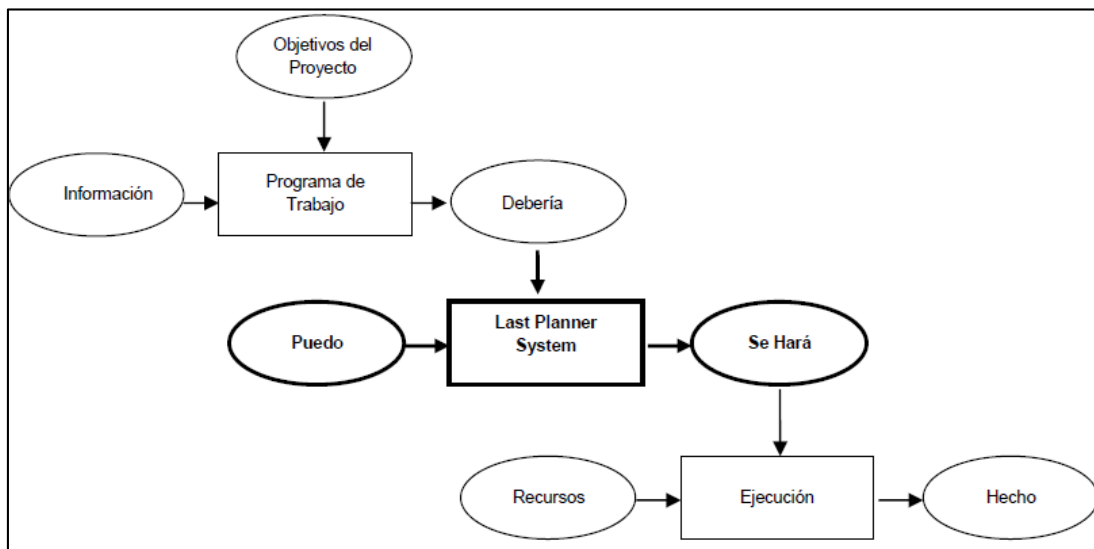


Fig. 2: Estructuración del sistema de planificación LPS. Fuente: (H. G. Ballard, 2000)

En las **Fig. 3** y **Fig. 4** se pueden observar las interrelaciones entre las actividades de gestión en el sistema LPS y en el sistema tradicional respectivamente.

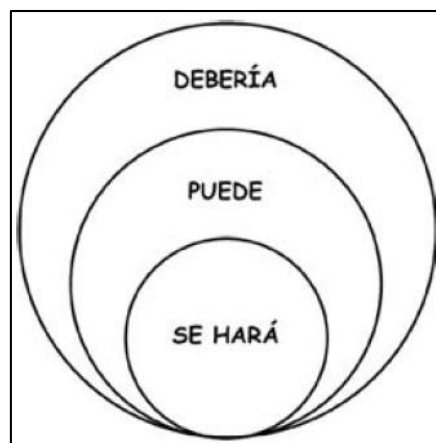


Fig. 3: Planificación mediante LPS. Fuente:(Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011)

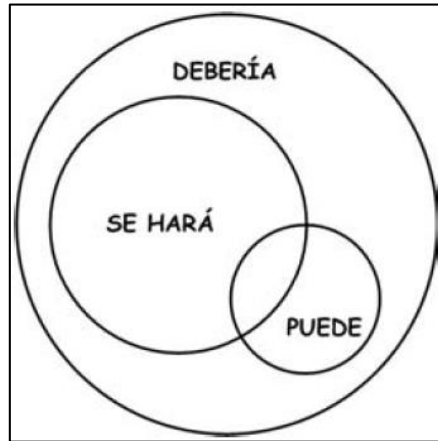


Fig. 4: Planificación tradicional. Fuente: (Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011)

Para poder llevar a cabo este sistema de planificación, el LPS determina compromisos de producción anticipados a través de todos los actores del proyecto, con la finalidad de proteger a las unidades productivas de la incertidumbre y la variabilidad.

El LPS se aplica en un proyecto mediante 5 puntos principales, los cuales se detallan a continuación (Rodríguez Fernández et al., 2011):

1. Revisión del plan general de la obra (programa maestro)
2. Elaboración del programa de fase en el caso de proyectos complejos y extensos.
3. Elaboración de la planificación intermedia para un horizonte entre uno y tres meses aproximadamente, realizando el análisis de restricciones.
4. Elaboración de la planificación semanal, con la participación de los últimos planificadores: encargados, capataces, subcontratistas, almacenistas, etc.; como parte del inventario de actividades ejecutables obtenido en la planificación intermedia.
5. Reuniones de los últimos planificadores para verificar el cumplimiento del plan semanal, detectando las CNC y estableciendo el plan de la siguiente semana.

En la **Fig. 5** se puede apreciar un diagrama con los puntos principales para el funcionamiento del LPS enunciados anteriormente.

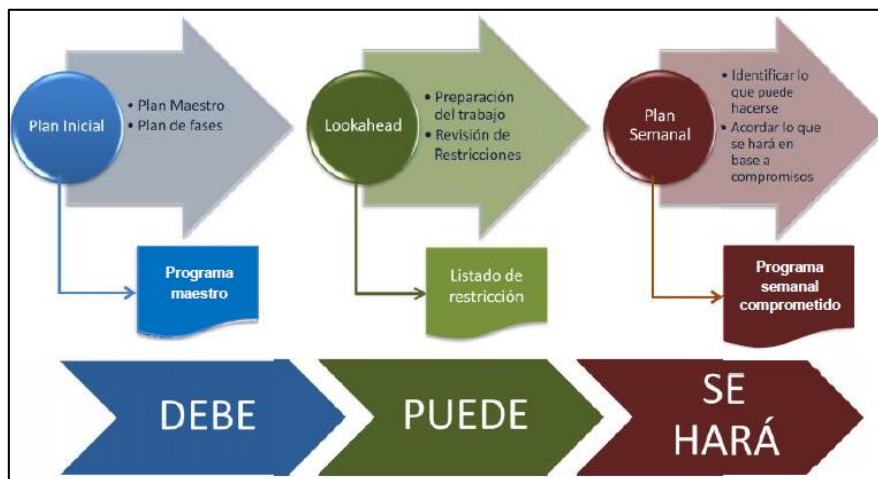


Fig. 5: Funcionamiento del LPS. Fuente: (Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011)

El LPS maneja dos componentes en su funcionamiento, los cuáles son: la unidad de control de producción y el control de flujos de trabajo. El primero se lleva a cabo para realizar de manera progresiva mejores asignaciones a los actores del proyecto a través del aprendizaje continuo y realizando acciones correctivas. El segundo se centra en lograr que el trabajo tenga fluidez de manera activa mediante unidades de producción, de manera que se consigan tener objetivos más alcanzables y reales.

El nivel de confianza y eficacia del LPS se mide mediante el PPC semanalmente. Las CNC de las actividades que se tuvieran previstas se investigarán a profundidad determinando responsables, para poder así evitarlas a futuro.

En este sistema se utiliza una programación en cascada para ir de lo general a lo específico, mediante distintos niveles de programación y planificación, los cuales se describen a continuación:

2.1 Programación general

Este nivel de programación ofrece un mapa de coordinación global de todo el proyecto con un nivel de detalle bastante bajo. Aquí debe trabajarse con excesivo realismo en cuanto a los plazos de ejecución de las actividades, los recursos a utilizar, los profesionales que trabajarán en el proyecto, la mano de obra, etc., para poder utilizar eficazmente el LPS y conseguir una óptima ejecución del proyecto en tiempo y forma.

2.2 Programación por fases

Se llama también programación Pull, y se la realiza de atrás hacia adelante, centrándose en el final de la fase y trabajando hacia el comienzo de manera que la última tarea a realizar “Tira” de la anterior, liberando las actividades durante el proceso. Esto brinda la ventaja de que las tareas aparecen cuando realmente se necesitan, anticipando la detección de conflictos entre actividades y sus restricciones. Los participantes de esta programación deberán ser representantes de todos los involucrados en la ejecución de la obra y tendrán que construir en conjunto el plan de obra, sumando los procesos constructivos de cada uno, para poder cumplir con la fecha de término definida por el programa maestro. Aquí todos los representantes deberán detallar:

- El alcance de su trabajo dentro del proyecto
- Cómo van a ejecutar cada actividad
- Cuántos recursos necesitarán
- Qué impedimentos o restricciones tendrían

Todos los puntos mencionados anteriormente los tendrán que poner en un post-it, de un color único por cada uno de los representantes, para identificar así sus compromisos/necesidades. Estos se irán ajustando durante la sesión de planificación, determinando la forma en que realmente se va a llevar a cabo el trabajo, hasta que se tenga finalmente una red lógica. Este sistema de programación pretenderá lograr:

- Entendimiento a detalle de la secuencia constructiva por parte de todos los involucrados en el proyecto.
- Colaboración entre los participantes de la obra.
- Disminución de retrabajos
- Traslape de actividades compatibles para trabajar en paralelo
- Exposición abierta de las restricciones

- Observar gráficamente la ruta crítica y tomar acción sobre las actividades o sectores a priorizar para cumplir los hitos
- Trazabilidad del cumplimiento tanto de las actividades como de las restricciones

El desarrollo de una Pull Session es una parte integral de la aplicación del LPS para un proyecto y la misma sigue un conjunto de normas específicas, las cuales se detallan a continuación.

Normas

- No hay nadie más adecuado que otro, el orden y el accionar dependerá de la química del equipo y de quién sabe más de cada fase.
- El facilitador no da soluciones, únicamente mantiene un hilo conductor para impulsar las soluciones.
- Las fases serán acotadas, de duración razonable.
- Idealmente no serán demasiados participantes en una misma sesión.
- Los participantes deben: estar preparados e informados en cuanto a la fase y tener suficiente experiencia y autoridad para comprometerse en relación al proyecto.

2.3 Lookahead Program

En este nivel de planificación se determinan las actividades que tendrían que realizarse en un futuro cercano (entre 1 y 3 meses). Tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo, es decir, la coordinación de: diseño, materiales, equipos, recursos humanos, información y requisitos previos; que son necesarios para que la cuadrilla cumpla su trabajo.

Definición del intervalo de tiempo

El intervalo de tiempo sobre el que se trabajará el Lookahead será escogido mediante: las características del proyecto, la confiabilidad del sistema de planificación y los tiempos de respuesta para la obtención de materiales, mano de obra y maquinaria. Estos períodos de respuesta tienen que ser identificados durante la planificación inicial para cada actividad incluida en el plan maestro.

Definición de las actividades

En el Lookahead se descompondrán todas las tareas expuestas en la programación maestra que estén dentro del intervalo de tiempo definido, obteniendo con esto una planificación con mayor nivel de detalle para el futuro cercano. Hay que tener en cuenta que cada tarea tendrá relacionada consigo previsiones y restricciones que deben solventarse para que puedan ser ejecutables en obra.

Prerrequisitos

Los prerrequisitos son todas las acciones y requerimientos que deben cumplirse antes de proceder a desarrollar una tarea expuesta, los cuales pueden depender de la misma unidad de producción de obra o de otros factores o agentes externos a la misma. En el LPS hasta que los prerrequisitos no sean liberados no se podrán ejecutar las tareas.

Restricciones

Las restricciones son todas las limitaciones e impedimentos que tiene una tarea para poder ser ejecutable, las mismas pueden ser tanto en la parte de diseño como en la ejecución en campo por falta de materiales, mano de obra, etc. Todas estas restricciones deberán ser anotadas en forma de lista en la cual se tendrá que especificar: el sector afectado por la restricción, la tarea afectada, el tipo de restricción (diseño, materiales, mano de obra, etc.), una descripción de la restricción, el responsable de su liberación, fecha de compromiso de liberación y la fecha real de liberación.

Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE)

El ITE es el conjunto de actividades con muy alta probabilidad de ser realizables, es decir, aquellas que tienen liberados sus prerrequisitos y restricciones. Aquí se pueden tener los siguientes tipos de actividades:

- Actividades con prerrequisitos y restricciones liberadas pertenecientes al ITE de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas.
- Actividades con prerrequisitos y restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura a planificar.
- Actividades con prerrequisitos y restricciones liberadas con dos o más semanas futuras.

Si una actividad no pudo ser ejecutada o si se ejecutan algunas actividades antes de lo esperado, el ITE proporcionará otras actividades a realizar siguiendo una secuencia lógica de trabajo, con lo cual no se perderá el flujo del mismo.

2.4 Programación de trabajo semanal

La programación semanal es la selección de un conjunto de actividades del ITE a llevar a cabo durante el transcurso de la semana siguiente. Esta presenta el mayor nivel de detalle y tendrá que ser desarrollada por las personas que supervisan directamente la ejecución del trabajo como: administradores de obra, jefes de terreno, jefes de obra, capataces, etc.

Formación del programa

Las actividades seleccionadas en esta programación se llamarán asignaciones de calidad, nombre que reciben al ser escogidas a partir del ITE, y únicamente estas podrán ser ejecutadas dentro del programa semanal. De esta forma se controlan las incertidumbres en la producción, creando un flujo de trabajo confiable. La planificación semanal es efectiva cuando estas asignaciones de calidad cumplen cinco criterios:

- **Definición:** Deberán ser suficientemente específicas para adquirir la cantidad correcta de información y materiales para su realización. Además tendrán que ser capaces de ser coordinadas con otras disciplinas dentro del proyecto y deberá ser posible determinar si la asignación ha sido terminada o no al final de la jornada de manera precisa.
- **Consistencia:** Deberán ser todas realmente ejecutables, completamente entendibles por todos los actores del proyecto y tener los prerrequisitos y restricciones absolutamente liberados.
- **Secuencia:** Deberán ser seleccionadas en base a la secuencia detallada en la Programación Maestra en orden de prioridad y constructibilidad, y se tendrá que tener asignaciones adicionales consideradas de baja prioridad para suplirlas en caso de fallos de productividad.

- **Tamaño:** Los tamaños de las asignaciones se deberán determinar de acuerdo a la capacidad de las unidades de producción antes de empezar con su ejecución.
- **Retroalimentación:** Aquellas asignaciones que no pudieran ser completadas en la semana planificada, deberán contar con la identificación precisa de sus CNC, así como de las acciones correctivas que deberán tomarse para poder completarlas a futuro.

Porcentaje de Plan Completado (PPC)

El PPC es el factor de medición de eficiencia que utiliza el LPS durante su ejecución. Este evalúa hasta qué punto este sistema de programación y planificación ha sido capaz, durante la ejecución del proyecto, de acertar en la planificación. Para esto se realiza una comparación entre lo que se tendría que haber realizado de acuerdo al Programa de Trabajo Semanal con lo que realmente fue hecho, reflejando así la fiabilidad del sistema. En la **Fig. 6** se puede observar un diagrama del funcionamiento del PPC.

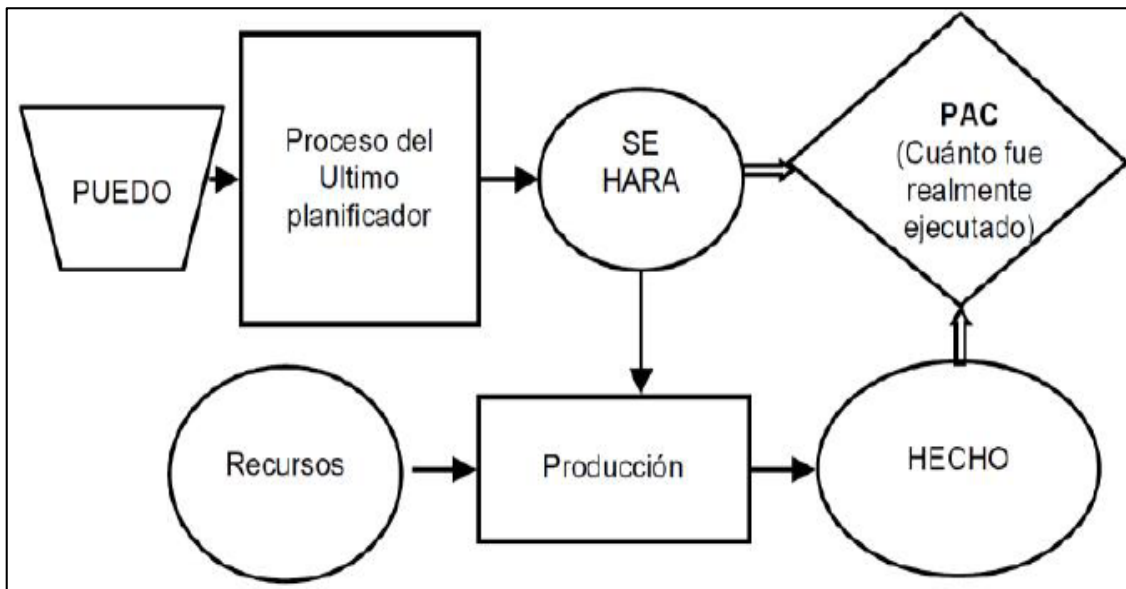


Fig. 6: Diagrama del Porcentaje de Plan Completado. Fuente: (H. G. Ballard, 2000)

Hay que tener en cuenta que el PPC no mide el avance de la obra, sino el nivel de cumplimiento de las actividades programadas durante la semana en curso. Es decir, determina que tan acertados han sido: los compromisos adoptados, la liberación de los prerrequisitos y el manejo de las restricciones de las actividades. El PPC mide los resultados de forma binaria, calificando con 1 si se ha cumplido el compromiso y 0 si no se ha cumplido. Esto no indica el porcentaje de avance que se ha tenido en la obra, ya que, aunque se tuviera un 90% de una actividad realizada, para términos del PPC esa actividad recibiría un 0, debido a que el compromiso no fue completado en su totalidad.

Reunión de Planificación Semanal

La planificación semanal debe realizarse mediante una reunión en la cual participen todos los involucrados relacionados con los prerrequisitos, restricciones, recursos y demás limitaciones de las actividades a tratar durante la planificación. Los propósitos de esta reunión serán:

- Realizar una revisión del PPC de la semana anterior:
 - Analizar las CNC de las actividades que no se han podido ejecutar.

- Determinar las acciones a realizar para combatir las CNC.
- Realizar una comparación entre los objetivos planteados y los alcanzados.
- Determinar el ITE para la semana siguiente.
- Realizar un adecuado análisis de las restricciones de las actividades previstas para la semana siguiente.
- Formular el plan de trabajo para la semana siguiente.

Para poder efectuar óptimamente los propósitos de la reunión, el coordinador del sistema y el último planificador deberán llevar consigo información relevante, la cual se detalla a continuación:

Coordinador:

- Llevar el Programa Maestro y la planificación Lookahead.
- Llevar una comparación entre los objetivos logrados y los propuestos por el proyecto.
- Llevar actualizado el Inventario de Trabajo Ejecutable.

El último planificador:

- Llevar el PPC por su equipo de trabajo durante la semana anterior y las causas de no cumplimiento.
- Llevar una lista tentativa de las actividades a realizar para la próxima semana.
- Llevar una revisión del estado de las restricciones de las tareas que se le asignaron dentro del Lookahead.

Además, para el correcto funcionamiento de la reunión, la misma deberá seguir una estructura determinada. Esta estructura expone a continuación:

Estructura de la reunión

1. Se analiza el PPC de la semana anterior y las CNC, y se determinan las acciones correctivas de forma inmediata.
2. Se comparan los objetivos alcanzados y los propuestos por el proyecto, especificando las responsabilidades de todos los implicados.
3. Se analizan las restricciones para las actividades de la semana siguiente.
4. Se crea el ITE con las actividades que tienen todas sus restricciones liberadas, más las tareas pendientes de la semana anterior.
5. Cada último planificador entrega las tareas tentativas para la semana siguiente y se determinan las que en realidad se realizarán. Esto se hace a través de un análisis entre todos los participantes acerca de: secuencia de trabajo, responsables y carga de trabajo.
6. El coordinador se compromete a entregar al siguiente día el programa semanal a cada último planificador.
7. Se discute el estado de las actividades dentro de la planificación Lookahead en relación a sus restricciones.
8. Se verifican las actividades que realmente entrarán a la planificación Lookahead contrastándolas con el programa Maestro.
9. Se asignan los responsables de liberar las restricciones de las nuevas tareas ingresadas en el Lookahead.
10. El coordinador entregará la nueva planificación Lookahead al día siguiente a cada último planificador.
11. Se detallan los compromisos asumidos por cada último planificador, siendo la instancia más importante de la reunión.

3. Metodología de la Investigación

La metodología de esta investigación se basó en el análisis de la implementación de LPS mediante casos de estudio alrededor del mundo, a través de una recopilación bibliográfica. Esta recopilación se la realizó seleccionando casos de estudio que determinaran y analizaran el PPC, las CNC y las mejoras implementadas por el sistema. Después se escogió entre estos, aquellos artículos publicados en revistas científicas y finalmente a los publicados en congresos de relevancia internacional.

Además, se analizó un caso de estudio de un proyecto real desarrollado por una empresa constructora en la ciudad de Barcelona-España. En este se estudiaron todos los puntos importantes y críticos de la implementación del LPS, así como los efectos producidos en el mismo.

Finalmente se realizó un análisis comparativo entre los casos de estudio recopilados bibliográficamente y el realizado propiamente, a través del cual se sacaron conclusiones acerca de la viabilidad de la implementación del LPS.

La recopilación de la información y el desarrollo de este estudio se llevaron a cabo mediante el siguiente sistema:

- Análisis bibliográfico de la implementación de LPS alrededor del mundo, de manera de tener una base conceptual sólida y clara, que permitió el entendimiento adecuado del sistema para el análisis de su implementación.
 - Evaluación y análisis del PPC en los casos de estudio recopilados.
 - Evaluación y análisis de las principales CNC en los casos de estudio recopilados.
- Análisis de la implementación de LPS en un caso de estudio seleccionado en un Proyecto Residencial en la ciudad de Barcelona España.
 - Recopilación de información acerca del proyecto y las herramientas utilizadas para la implementación del LPS.
 - Revisión de los indicadores de rendimiento en el proyecto.
 - Análisis del PPC tanto semanalmente, como de forma global durante la totalidad del proyecto.
 - Registro e inspección de las CNC de todas las actividades fallidas durante la planificación del proyecto.
 - Análisis de la variación sobre el objetivo temporal del Proyecto 1.
 - Realización de entrevistas a los diferentes actores del proyecto: consultor del LPS, jefe de obra y encargado de obra. Se preguntó acerca de los beneficios, barreras e inconvenientes obtenidos en la implementación del sistema, así como de los diferentes niveles de planificación del LPS (Programación Maestra, Programación de Fases, Lookahead Program y Programación de trabajo Semanal) y las herramientas de implementación correspondientes. Se incluyó en estas el perfil del entrevistado en cuestión.
- Análisis global de los datos obtenidos, concluyendo de manera clara y precisa acerca de la implementación del LPS en los casos de estudio recopilados alrededor del mundo y en el caso de estudio en Barcelona. Además se extrapolaron los resultados

a una visión más general, que permitió determinar la viabilidad de la adopción de este sistema y las mejoras a realizar.

Los datos de los artículos recopilados se analizaron por tipología de obra y por continentes. La primera clasificación se realizó dividiendo los proyectos en: Residenciales, Industriales, Edificaciones Terciarias e Infraestructuras de transporte; categorizándolos de acuerdo a sus características constructivas y destino de utilización. La segunda clasificación se realizó para encontrar relaciones de acuerdo al lugar geográfico en donde se realizó la obra. Esto permitió conocer si el sistema tuvo mayor o menor desarrollo en ciertos sectores y explicar las causas de su ocurrencia. No se realizó una clasificación de los datos por países debido a que no se tuvieron muestras significativas, en cuanto cantidad de obras, que hayan implementado LPS en cada país.

Los análisis estadísticos que se realizaron para examinar los datos obtenidos fueron:

- Correlación Bivariada de Pearson: Su finalidad fue la de obtener una relación de los datos a través de variables cuantitativas, siendo estas la duración del proyecto y los PPC alcanzados, en caso de presentar una significancia menor de 0.05. Si esta correlación de significancia resultaba válida, se procedió a observar si la misma fue fuerte o débil, pudiendo oscilar entre -1 y 1, indicando el signo del coeficiente la dirección de la relación, y siendo más fuerte al alejarse más del 0. Hay que señalar que en los resultados la significancia está acompañada por (2-tailed) lo cual se refiere a que la correlación es bilateral (de dos colas) debido a que en principio no existieron expectativas sobre la dirección de la relación.
- Diagramas de Cajas: Su finalidad consistió en representar los PPC y observar cómo fue su distribución tanto por tipología de obra como por continente.
- Histogramas de Frecuencias: Su finalidad fue la de representar la cantidad y distribución de las CNC y las mejoras obtenidas en los artículos recopilados por tipología de obras. Además, representar los PPC alcanzados en el caso de estudio en Barcelona de acuerdo al avance de la obra.
- Diagrama Lineal: Su finalidad fue la de exponer la evolución y el cambio de tendencia del PPC semana tras semana en el caso de estudio en Barcelona. Además sirvió para visualizar la variación sobre el objetivo temporal en este proyecto.
- Diagrama de Pareto: Su finalidad fue la de asignar un orden de prioridades en las CNC, representar el principio de Pareto (pocos elementos relevantes, muchos elementos poco significativos) y facilitar e identificar los temas que hay que atacar para mejorar el funcionamiento del LPS en el caso de estudio en Barcelona
- Gráficos Circulares: Su finalidad fue la de analizar y comparar las CNC encontradas en el caso de estudio en Barcelona con las encontradas en los artículos recopilados.

Los programas utilizados para estos análisis estadísticos fueron: Startical Product and Service Solutions (SPSS), el cual consiste en un conjunto de herramientas de tratamiento de datos para el análisis estadístico, y Microsoft Excel.

Para el análisis del caso de estudio en Barcelona se realizó entrevistas con los principales participantes del proyecto como: el Consultor, el Jefe de Obra y el Encargado de Obra. Estas entrevistas se estructuraron de cuenta propia de acuerdo a los principales temas de importancia que se pudieron extraer de la bibliografía consultada. Estos temas fueron los siguientes:

- Experiencia laboral en construcción de los participantes
- Experiencia laboral en implementación de LPS.
- La ventaja principal del sistema LPS que se encontraron durante su implementación.
- Las barreras principales con las que se toparon durante la implementación del LPS.
- Las barreras principales que se tuvieron con los subcontratistas.
- La influencia de la edad de los operarios en la aplicación de LPS.
- El principal indicador de rendimiento del LPS.
- Las principales CNC de tareas que se encontraron en el proyecto.
- El nivel de aceptación, confort y presión que experimentaron los operarios en la implementación de LPS.
- La viabilidad del LPS para poder implementarse en cualquier tipo de obra

4. Análisis de la implementación de LPS en el mundo.

4.1 Estado del Arte

El desarrollo del sistema de gestión LPS fue iniciado por Glenn Ballard, quién en la primera conferencia para el “International Group for Lean Construction” (IGLC) (G. Ballard, 1993), así como en su Tesis Doctoral “The Last Planner System of Production Control Acknowledgements” (H. G. Ballard, 2000), introdujo cambios importantes en la forma en que se planifican y controlan los proyectos de construcción.

Este sistema operativo LPS, fue diseñado principalmente con el objetivo de lograr un aumento significativo en el control de la incertidumbre en los proyectos, aumentando así la confiabilidad de la planificación (Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011). LPS se desarrolla mediante la integración de la planificación y control de obra en un mismo proceso. Es decir, se anticipa durante la fase de planeación a posibles problemas y errores, brindando soluciones para evitarlos. Esto es contrario al sistema tradicional ocupado en la construcción, en donde, la planificación y el control son dos procesos separados, en los cuales los problemas y errores solamente son apreciables cuando estos ya han sucedido (Daniel, 2017).

Este sistema pretende incrementar el desempeño en todo tipo de proyectos, partiendo desde los más simples hasta llegar a los más complejos, inciertos y críticos; en donde se suele argumentar que es “imposible” o una “pérdida de tiempo” planificar con los sistemas tradicionales, ya que existe una incertidumbre enorme y cambios muy rápidos de las condiciones que los rodean (Luis Fernando Alarcón & Pellicer, 2011). Para esto, este sistema brinda herramientas de planificación y control efectivas que se basan en cinco elementos fundamentales: (1) planificación maestra o planificación de hitos, (2) planificación de fases, (3) planificación de preparación, (4) plan de trabajo semanal y (5) medición y aprendizaje (Daniel, Pasquire, & Dickens, 2019).

El LPS permite hallar de manera más sencilla y efectiva, durante el desarrollo de un proyecto, las principales fuentes de problemas. Mediante esto, se pueden realizar reflexiones y juicios convenientes en lo referente a que cambios deben realizarse al interior de la operación del proyecto, de manera que se pongan en marcha adecuados cursos de acción,

desencadenando así en una mejora y en un aumento muy significativo de la productividad (Fiallo y Revelo, 2002).

Se han realizado varios análisis y estudios en el mundo acerca de este sistema de planificación, en los cuales se han abordado tanto el desempeño del sistema en el tiempo de duración de los proyectos, así como el nivel de satisfacción alcanzado por este en todos los niveles laborales y de gestión. En la **Tabla 1** se muestra una recopilación de los casos de estudio de implementación de LPS en el mundo, de manera de tener una perspectiva muy amplia del trabajo que ha sido realizado.

En la **Tabla 1** se podrá observar como el LPS ha tenido éxito en muchos países en múltiples y distintos proyectos. En los mismos, se han determinado como principales ventajas y beneficios de su utilización que: mejora la planificación y control del proyecto, reduce la incertidumbre, genera un incremento en la productividad, mejora el rendimiento del proyecto, aumenta el PPC, ahorra costos de producción, reduce los tiempos y plazos del proyecto, permite realizar una predicción precisa de los recursos, reduce el inventario, aminora los reprocesos y promueve el trabajo colaborativo entre los actores del proyecto a través de un proceso integral y transparente. Por otro lado, también se encontraron barreras en la implementación del sistema, entre las cuales se destacan: existencia de una excesiva intervención de subcontratistas, un demorado proceso de aprobación de parte del cliente y consultor, falta de compromiso y actitud en cuanto al tiempo y plazos del proyecto, limitaciones culturales y una visión a corto plazo.

Aunque este sistema LPS demuestra una mejora en la gestión y producción, el mismo no es aceptado a gran escala por el sector de la construcción (Johansen & Walter, 2007; Jørgensen, Emmitt, & Bonke, 2004; Mossman & Iyer, 2005), debido a: la naturaleza fragmentada y compleja de la industria (Fernández-Solís, 2008; Mossman & Iyer, 2005), la mano de obra y procesos de baja tecnología, falta de formación e información respecto al sistema y falta de conocimientos informáticos entre los profesionales (Fernandez-Solis et al., 2013).

Independientemente de las ventajas de la implementación del LPS para "aumentar la confiabilidad de la planificación, aumentar el rendimiento de producción y mejorar el flujo de trabajo en las operaciones de diseño y construcción" (Hamzeh & Bergstrom, 2010), este sistema de planificación y control necesita de una "implementación integral" (Perez & Ghosh, 2018). Esto se debe a que el mismo no es una "herramienta independiente" para poner en funcionamiento cuando sea necesario (Hamzeh & Bergstrom, 2010), sino que es un sistema de partes interconectadas y "la omisión de una parte destruye la capacidad del sistema para cumplir sus funciones" (G. Ballard & Tommelein, 2016). Durante la implementación del sistema se necesita una gran disciplina y compromiso por parte de todos los participantes del equipo (Tiwari & Sarathy, 2012) y es importante que estos "compren el proceso" (Koskenvesa & Koskela, 2005). Es así ya que, debido al énfasis en el trabajo en equipo y la integración, algunos miembros podrían experimentar pérdida de independencia y sentirse amenazadas por los cambios que conlleva implementar el sistema (Perez & Ghosh, 2018).

Se han realizado algunas críticas al LPS, debido a que el método utilizado para el desarrollo de la planificación de fases, ha sido tomado del sistema tradicional elaborado con el

diagrama de Gantt (Koskela, Stratton, & Koskenvesa, 2010). (S. C. Kim, Kim, Park, & Yoo, 2015) expresaron que el excesivo enfoque de LPS en el PPC, sería un factor de influencia crítico para la modificación de datos por parte de los subcontratistas. Por otro lado, este sistema de gestión LPS capacita a las partes que trabajan en el proceso de planificación de fases para desarrollar un plan confiable, lo cual lo distingue del enfoque tradicional de gestión de proyectos (Daniel et al., 2019).

4.2 Recopilación de datos

Para estudiar la aplicación del LPS se tomó una recopilación de publicaciones alrededor del mundo, las mismas cuyos: autores, descripción del proyecto, año de publicación, duración, tipología de obra, mejoras obtenidas y principales conclusiones se presentan en la **Tabla 1**. Las tipologías de obra mostradas se seleccionaron a partir de la funcionalidad que cada proyecto recopilado tendría en su vida útil, clasificándolas en cuatro: Residencial, cuya finalidad es exclusiva para la vivienda de personas; Industrial, cuya finalidad es ser utilizada para fines de fabricación, producción o desarrollo de productos y materiales para las comunidades; Edificaciones Terciarias, cuya finalidad es la de brindar servicios hospitalarios y comerciales a las personas; y por último Infraestructuras de Transporte, cuya finalidad es la circulación segura de vehículos de transporte ferroviarios, por carretera o por vía navegable. Hay que señalar que a nivel de países existe una gran diferencia en: el desarrollo de los sistemas constructivos, las normas o leyes que rigen cada lugar, el sistema de contratación pública y privada, el desarrollo tecnológico y en temas de índole cultural, con lo cual las conclusiones se realizaron tomando en cuenta todos estos factores influyentes para la implementación de LPS.

#	Nombre del artículo	Autor y Año	País	Tipología de Obra	Proyecto	Duración	Mejoras	Conclusión
1	Last planner control system applied to a chemical plant construction.	(Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2012)	España	Industrial	Construcción de una planta Química	6 semanas	1. Cuanto más se vuelve a aplicar el cronograma de anticipación y los procesos del plan de trabajo semanal, mayor es el porcentaje de actividades completadas. 2. Todos los líderes, supervisores y contratistas del proyecto tienen un papel proactivo en el control del desarrollo del proyecto. 3. El número de razones para no completar el trabajo planificado se puede reducir considerablemente cada semana. 4. El análisis de las restricciones permite detectar la naturaleza de las causas más importantes que limitan la forma en que se realiza una actividad, por lo que los esfuerzos se concentran en resolverlas.	Los resultados afirmaron que LPS es una herramienta efectiva para mejorar el rendimiento del proyecto.

#	Nombre del articulo	Autor y A1o	Pa1s	Tipolog1a de Obra	Proyecto	Duraci3n	Mejoras	Conclusi3n
2	Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time	(Issa, 2013)	Egipto	Industrial	Construcci3n de t1neles en una f1brica de molienda de harina para conducir arena a sus almacenamientos	72 d1as	1. Mejora en la toma de decisiones. 2. Mejora en la entrega de materiales.	En base a observaciones y an1lisis de resultados, se recomend3 aplicar t1cnicas Lean en proyectos de construcci3n en los pa1ses en desarrollo debido a su simplicidad y alta eficiencia.
3	Investigating the relationship between planning reliability and project performance	(Gonz1lez, Alarc3n, & Mundaca, 2008)	Chile	Residencial	Construcci3n de 53 casas en las que se estudi3 45 casas	12 meses	Se tuvo un mejor control y se estabiliz3 la producci3n en los proyectos.	Este estudio define la relaci3n entre el PPC y los niveles de productividad laboral, como una relaci3n lineal, en donde, mientras mayor es el PPC, mejor es la productividad laboral.
4	Reducing plan variations in delivering sustainable building projects	(Ochoa, 2014)	China	Residencial	Construcci3n de dos torres con 69 pisos cada una y un total de 275 pisos en Hong Kong.	12 semanas	1. Incremento en la confiabilidad del flujo de trabajo. 2. Aumento de la productividad. 3. Disminuci3n de reprocesos. 4. Reducci3n de la duraci3n del proyecto	La implementaci3n de LPS mejor3 efectivamente el rendimiento de producci3n, lo que condujo a planes de producci3n m1s confiables.
5	Last Planner en subcontrato de empresa constructora	(Andrade & Arrieta, 2010)	Chile	Residencial	Subcontratistas de colocaci3n de cer1micas y porcelanatos	32 semanas	Se redujo en su totalidad las causas de no cumplimiento por parte del subcontratista	Los resultados obtenidos no son concluyentes a nivel global, pero si se puede decir que aplicando LPS a nivel de todos los subcontratistas de la obra puede aumentar notablemente el PPC. Se demostr3 que el nivel de compromiso del subcontrata aument3 notablemente.

#	Nombre del artculo	Autor y A1o	Pa1s	Tipolog1a de Obra	Proyecto	Duraci3n	Mejoras	Conclusi3n
6	Last Planner, un avance en la planificaci3n y control de proyectos de construcci3n	(Botero Botero & Alvarez Villa, 2005)	Colombia	Residencial	12 obras diferentes de edificios y casas realizadas por 8 empresas diferentes.	-	En este estudio se muestra un incremento del PPC en lo planificado desde el 65% en la primera semana hasta el 85% en la semana 25 de implementaci3n.	Mejor3 la comunicaci3n y el compromiso, y se cre3 una cultura de medici3n que sirve para tener referencias de desempe1o y un mejoramiento continuo.
7	Applying Last Planner in the Nigerian Construction Industry	(Adamu & Howell, 2012)	Nigeria	Residencial	Construcci3n de 50 casas prefabricadas de bloque	70 d1as	1. Se consigui3 tener un flujo de trabajo muy poco variable al haber alcanzado PPC semanales superiores al 70% en la totalidad de la obra y con una distribuci3n estable en el tiempo. 2. Reducci3n de la incertidumbre del flujo laboral.	El enfoque de este nuevo sistema de gesti3n y planificaci3n reducir3 el desperdicio y mejorar3 las ganancias en la industria de la construcci3n nigeriana.
8	Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow	(Hamzeh, Ballard, & Tommelein, 2012)	Estados Unidos	Edificaciones Terciarias	Hospital de 555 camas	12 meses	Mejor3 en el entendimiento de que cuando la planificaci3n lookahead no se implementa de forma correcta, los planes de trabajo semanales no se vinculan adecuadamente con los planes a largo plazo.	Este estudio demuestra que el PPC no se puede relacionar directamente con el avance de los plazos.
9	Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow	(Hamzeh et al., 2012)	Estados Unidos	Residencial	Rehabilitaci3n de 23 edificios y construcci3n de 14 edificios nuevos	15 meses	Mejor3 en el entendimiento de que cuando la planificaci3n lookahead no se implementa de forma correcta, los planes de trabajo semanales no se vinculan adecuadamente con los planes a largo plazo.	Este estudio demuestra que el PPC no se puede relacionar directamente con el avance de los plazos.
10	A case study Last Planner System implementation in Nigeria	(Ahiakwo, Oloke, Suresh, & Khatib, 2013)	Nigeria	Edificaciones Terciarias	Establecimiento de hoteler1a de baja categor1a	21 semanas	1. Mejoras significativas en la finalizaci3n oportuna del proyecto 2. Ahorro de costos del 30% en comparaci3n con proyectos similares. 3. Se logr3 un PPC promedio del 80%.	El LPS anticip3 la detecci3n de errores y restricciones, permitiendo solucionarlos antes de que se convirtieran en problemas.

#	Nombre del art3culo	Autor y A1o	Pa3s	Tipolog3a de Obra	Proyecto	Duraci3n	Mejoras	Conclusi3n
11	Assessing the impacts of implementig lean construction	(Luis F. Alarc3n, Diethelm, Rojo, & Calder3n, 2008)	Chile	Residencial/ Industrial	77 proyectos divididos en: 39 de construcci3n de baja altura, 15 de construcci3n de gran altura, 11 industriales pesados y 12 industriales ligeros	33 semanas	1. Incremento en la productividad de la mano de obra. 2. Mejoras en factores de costo 3. Mejoras en la velocidad de construcci3n 4. Reducciones de cronograma del proyecto. 5. Mejoras en la participaci3n de la gerencia media 6. Reducci3n de las solicitudes de adquisici3n urgentes.	Trabajar en un enfoque colaborativo, con diferentes acciones de capacitaci3n y compartir experiencias e informaci3n entre las empresas produce una serie de beneficios como: desarrollo de habilidades para la implementaci3n, desarrollo de una competencia saludable entre empresas que trabajan juntas y aprendizaje r3pido de 3xitos y fracasos.
12	Applying the last planner control system to a construction project: A case study in Quito, Ecuador	(Fiallo & Revelo, 2002)	Ecuador	Infraestructura transporte	Proyecto de 102 viviendas familiares	193 d3as	1. Aument3 el nivel de compromiso de cada unidad de producci3n. 2. Mejor3 el control del contratista sobre todos los procesos de los subcontratistas	En este proyecto confirman que la aplicaci3n de LPS mejor3 notablemente la gesti3n en los procesos y el control en cada etapa de la obra
13	Last planner system: Experiences from pilot implementation inthe middle east	(AlSehaimi, Tzortopoulos, & Koskela, 2009)	Arabia Saudita	Edificaciones Terciarias	Construcci3n de una Facultad de Ciencias Empresariales y Administrativa	17 meses	1. Permiti3 a los supervisores del sitio planificar su carga de trabajo. 2. Mejor3 la planificaci3n y la pr3ctica de control. 3. Permiti3 una predicci3n precisa de los recursos. 4. Redujo la incertidumbre	El proceso de implementaci3n fue exitoso y sirvi3 para mejorar la pr3ctica de gesti3n de proyectos en las empresas estudiadas y como una contribuci3n a la pr3ctica de gesti3n de la construcci3n en Arabia Saudita.

#	Nombre del artículo	Autor y Añio	País	Tipología de Obra	Proyecto	Duraci3n	Mejoras	Conclusi3n
14	Last planner system: Experiences from pilot implementation in the middle east	(AlSehaimi, Tzortopoulos, & Koskela, 2009)	Arabia Saudita	Edificaciones Terciarias	Construcci3n de aulas generales y laboratorios	17 meses	1. Permitió una predicci3n precisa de los recursos. 2. Mejor3 la planificaci3n y el control. 3. Mejor3 la gesti3n del sitio. 4. Redujo la incertidumbre. 5. Mejor3 la productividad.	El proceso de implementaci3n fue exitoso y sirvi3 para mejorar la pr3ctica de gesti3n de proyectos en las empresas estudiadas y como una contribuci3n a la pr3ctica de gesti3n de la construcci3n en Arabia Saudita.
15	Case study: An application of Last Planner to heavy civil construction in Korea	(Y. W. Kim & Jang, 2005)	Corea	Infraestructura transporte	Primera fase constructiva Metro en Seul	12 semanas	1. Mejor3 la confiabilidad del flujo de trabajo (es decir, mejor3 el PPC) en proyectos de tñneles.	Se recomienda: - Eliminar la informaci3n de costos de los planes de trabajo semanales. - Combinar equipos generadores de planes con ingenieros de campo y capataces. - Superar la mentalidad de decir "SÍ" al jefe todo el tiempo. - Capacitaci3n de capataces para planificar.
16	Case study: An application of Last Planner to heavy civil construction in Korea	(Y. W. Kim & Jang, 2005)	Corea	Infraestructura transporte	Primera fase constructiva Metro en Busan	12 semanas	1. Mejor3 la confiabilidad del flujo de trabajo (es decir, mejor3 el PPC) en proyectos de tñneles.	Se recomienda: - Eliminar la informaci3n de costos de los planes de trabajo semanales. - Combinar equipos generadores de planes con ingenieros de campo y capataces. - Superar la mentalidad de decir "SÍ" al jefe todo el tiempo. - Capacitaci3n de capataces para planificar.

#	Nombre del artículo	Autor y Añu	País	Tipología de Obra	Proyecto	Duraci3n	Mejoras	Conclusi3n
17	The first extensive implementation of lean and lps in Lebanon: results and reflections	(Hamzeh, Kallassy, Lahoud, & Azar, 2016)	Líbano	Edificaciones Terciarias	Centro Comercial (Mall)	8 semanas	1. Mejor3 la visualizaci3n. 2. Mejor3 la colaboraci3n y la coordinaci3n entre los participantes del equipo 3. Se identificaron las causas fundamentales de los retrasos. 4. Se actualizaron los indicadores clave con respecto a la seguridad, la calidad, el tiempo y el costo.	A pesar de los desafíos de implementaci3n encontrados en el proyecto, se logr3 mejorar la confiabilidad del flujo de trabajo, la integraci3n entre los distintos actores del proyecto y la detecci3n de problemas. La empresa constructora implementará LPS en todos sus proyectos y ya ha comenzado esta iniciativa con otros dos proyectos en dos países diferentes en el Medio Oriente.
18	Phase schedule implementatuin and the impact for subcontractors	(Ribeiro, Costa, & Magalhães, 2017)	Brasil	Edificaciones terciarias	Construcci3n de una clínic	8 meses	1. Mejor3 el compromiso entre el personal. 2. Cada reuni3n semanal di3 experiencia para mejorar para las siguientes reuniones 3. Aument3 el trabajo interactivo entre los equipos de trabajo	Basado en los resultados, la mejora del trabajo en equipo y el sentido de colaboraci3n entre los subcontratistas se identific3 durante la implementaci3n, lo cual fue corroborado por la percepci3n de los entrevistados.
19	Constraint removal and work plan reliability: A bridge project case study	(Javanmardi, Alireza Abbasian-Hosseini, Hsiang, & Liu, 2018)	Estados Unidos	Infraestructura transporte	Construcci3n de un puente	11 semanas	1. Mostr3 c3mo los gerentes de proyecto pueden mejorar su efectividad en las reuniones semanales al priorizar la lista de la agenda de la reuni3n y garantizar que se eliminen las restricciones más importantes.	Los resultados de este documento mostraron que las reuniones de planificaci3n semanales funcionan mejor para resolver problemas relacionados con la secuencia, mientras que otros tipos de reuniones pueden ser necesarios para asuntos más t3cnicos.

#	Nombre del artculo	Autor y A1o	Pa1s	Tipolog1a de Obra	Proyecto	Duraci3n	Mejoras	Conclusi3n
20	Efficient Project Delivery Using Lean Principles - An Indian Case Study	(Kovvuri, Sawhney, Ahuja, & Sreekumar, 2016)	India	Edificaciones terciarias	Proyecto de construcci3n industrial	7 semanas	1. Este estudio identific3 y prob3 la efectividad de LPS para mejorar el PPC.	La identificaci3n de restricciones y el an1lisis de fallas durante la etapa de planificaci3n y ejecuci3n del proyecto pueden manifestar el 3xito en los sitios de construcci3n en India

Tabla 1: An1lisis de LPS alrededor del mundo

Para comparar los diferentes casos de estudio, se estandariz3 los datos obtenidos, ya que en cada publicaci3n los autores presentan resultados de diferentes maneras. Los principales datos que se encontraron en com3n en la mayor1a de publicaciones fueron: el PPC, CNC y ciertas mejoras.

4.2.1 Porcentaje de Plan Completado (PPC)

Para analizar el PPC, debido a que cada proyecto tiene un tiempo de duraci3n distinto, se decidi3 tomar valores cada 10% de la duraci3n total de la obra. Esto se muestra en la **Tabla 2** y en las **Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 y Fig. 10**. Posteriormente, con estos datos se realizaron gr1ficos estad1sticos que analizaron el comportamiento del PPC a lo largo de las obras.

Porcentaje de Plan Completado (PPC)										
# de artculo	Porcentaje de avance del estudio									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	40	54	63	71	75	76	71	84	84	87
2	78	80	85	88	86	91	92	93	96	98
3	62	58	60	52	54	41	40	39	50	49
4	65	49	61	71	73	73	76	76	77	72
5	70	62	66	75	69	76	80	75	70	85
6	63	71	73	74	75	77	74	81	83	79
7	70	98	100	83	82	90	92	90	100	98
8	70	72	73	80	60	80	72	80	72	75
9	70	72	73	80	60	80	72	80	72	75
10	50	57	80	86	97	82	80	82	80	80
11	71	60	63	60	63	67	95	71	80	80
12	45	85	75	70	70	46	47	60	65	50
13	80	70	100	80	85	80	90	85	80	85
14	45	70	78	75	83	80	81	80	80	81
15	60	70	75	85	80	90	92	93	92	95
16	70	65	80	75	80	83	87	86	89	88
17	54	60	83	56	65	72	68	67	49	76
18	58	73	56	75	68	69	82	72	80	82
19	0	0	13	43	5	45	22	0	67	67
20	66	65	60	71	72	79	85	86	93	95

Tabla 2: Porcentaje de Plan Completado en artculos analizados.

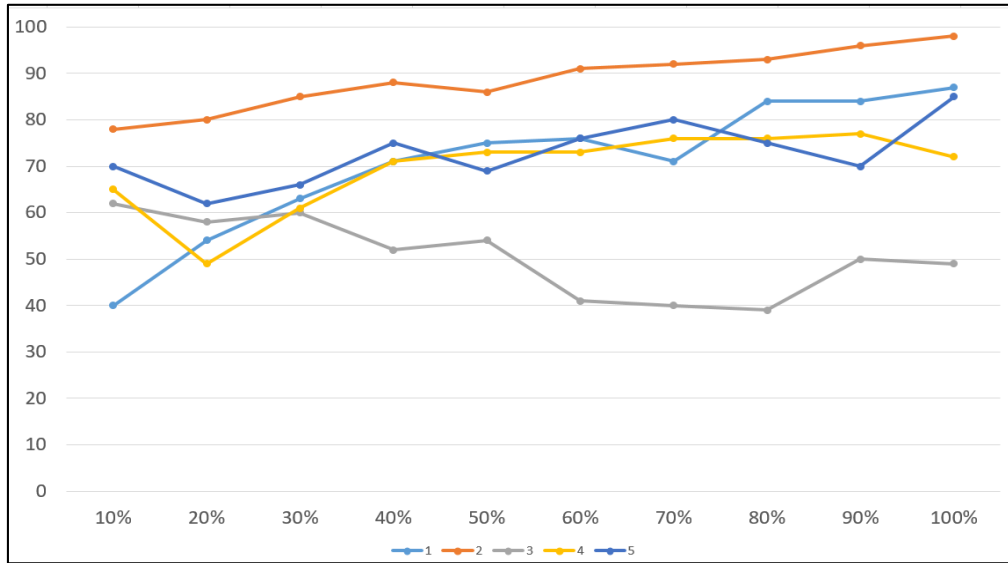


Fig. 7: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 1-5.

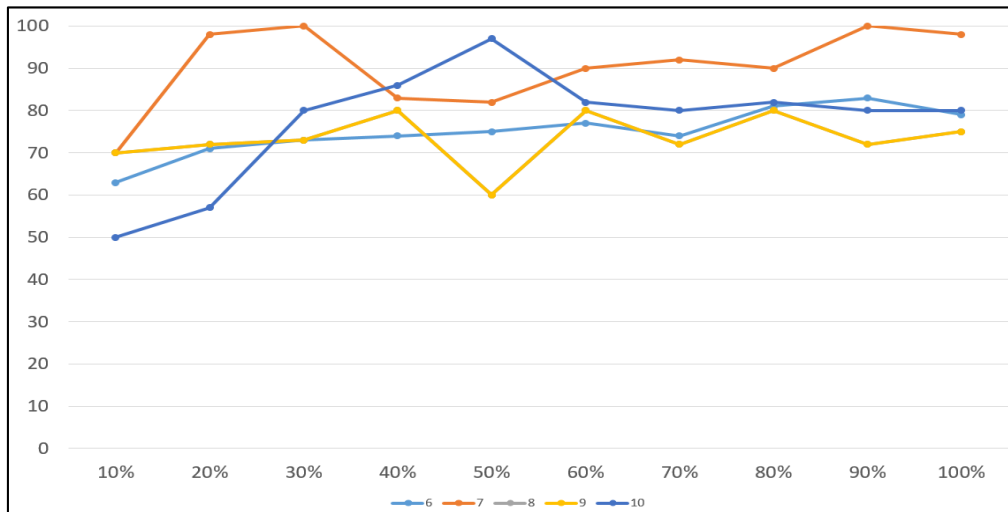


Fig. 8: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 6-10.

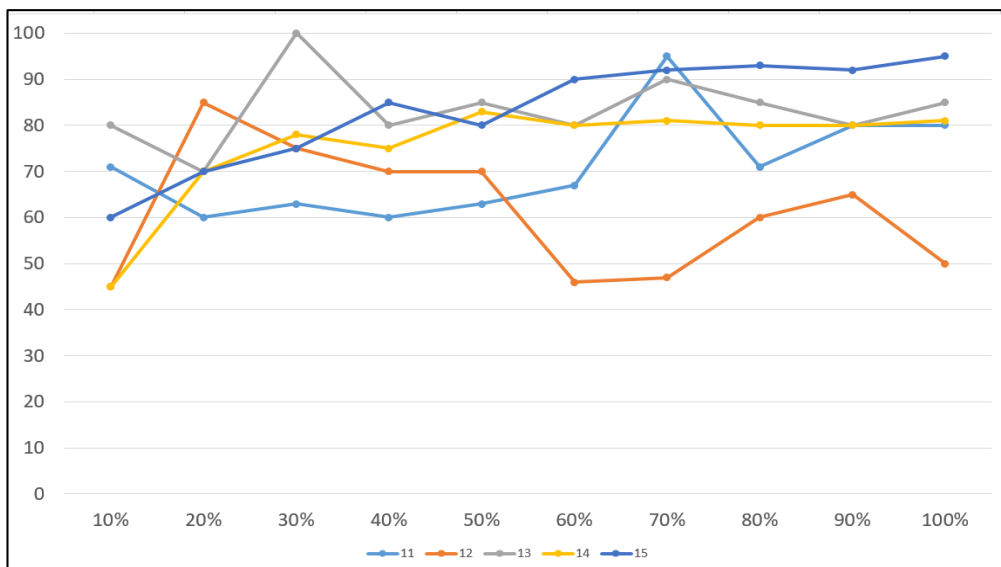


Fig. 9: Diagrama Lineal, evolución del PPC artículos 11-15.

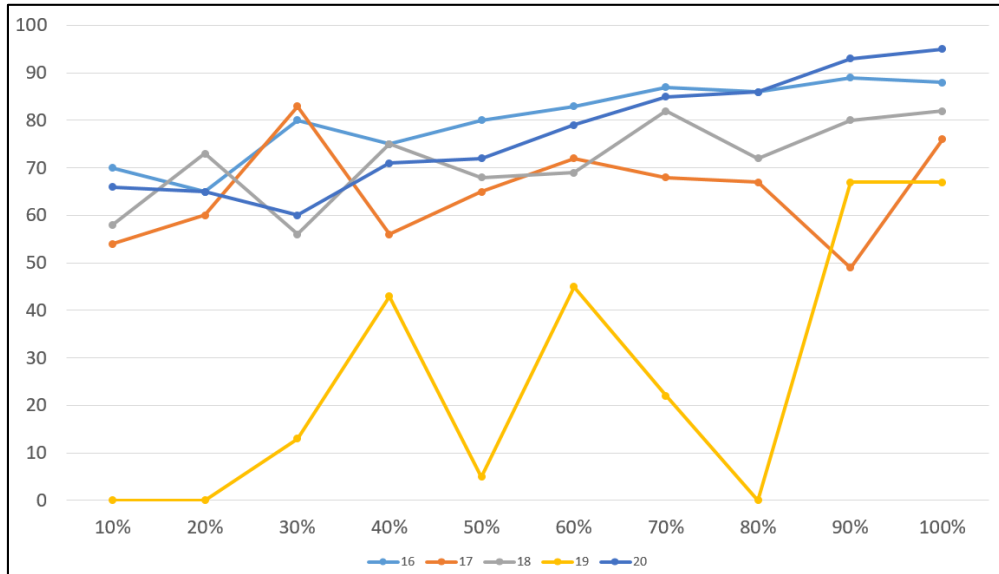


Fig. 10: Diagrama Lineal, evolució del PPC artícles 16-20.

4.2.2 Principales Causas de No Cumplimiento (CNC)

Se estandarizaron los datos clasificando todas las CNC encontradas en los casos de estudio en solamente 11 que parecieron ser las más relevantes y las que engloban a todas las que se presentan en el sector de la construcción. Se llegó a esta clasificación estudiando todos los artículos recopilados aquí y muchos más, adquiriendo una visión general de las CNC más comunes. Se interpretó la raíz de origen de cada una comparando similitudes, de manera de poder definir las y estandarizarlas para todo tipo de obra. Las 11 CNC propuestas fueron las siguientes:

- Falta de recursos: Cualquier error debido a la no disponibilidad de insumos, servicios y mano de obra.
- Abastecimiento/Calidad de materiales: Errores debido a la falta de suministro de materiales o a problemas con su calidad.
- Prerrequisitos no completados: Errores debido a la falta de liberación de tareas necesarias para continuar con la obra.
- Fallo de equipos y herramientas de trabajo: Errores debido a falencias en las maquinarias utilizadas.
- Mala planeación: Errores debido a un mal cálculo de los plazos del proyecto, una mala asignación de tareas y un indebido sistema de detección de problemas.
- Reprocesos: Errores debido a la consecución de una actividad mediante varias repeticiones.
- Contratiempos y mala coordinación con proveedores: Errores debido a situaciones inesperadas surgidas en el día a día de la obra y por mala comunicación con las personas encargadas de suministrar la obra.
- Falta de formación de los trabajadores: Errores debido a la falta o a la mala educación del personal respecto al sistema.
- Mal clima: Errores debidos a las condiciones atmosféricas del lugar.
- Retrasos de terceros: Errores debido a subcontratistas o a instituciones encargadas de aprobar permisos.

- Cambios en el proyecto: Errores en cuanto al dise1o del proyecto, retrasos en la ejecuci3n de la obra o debidos a cambios en decisiones del cliente.

Hemos agrupado estas 11 CNC propuestas de acuerdo a (Hoyos & Botero, 2018) que se1alan que las mismas se pueden clasificar en tres grandes grupos seg1n su origen: aspectos organizacionales, es decir debido a factores referentes a la planificaci3n del proyecto, suministro de insumos o disponibilidad de recursos; factores humanos, que hace referencia a errores propios de los operarios o por falta de formaci3n brindada; y agentes externos, que engloba cualquier causa ajena al control propio de la direcci3n de obra. En la **Tabla 3** podemos observar esta clasificaci3n y dentro de estos tres grupos se contienen las 11 CNC mencionadas anteriormente.

Se marc3 con una "x" a las CNC que fueron identificadas dentro de cada caso de estudio, con lo cual, se realiz3 un an1lisis estadisticos de estos datos.

Causas de No Cumplimiento (CNC)											
# de artculo	Aspectos organizacionales							Factores humanos	Agentes externos		
	Falta de recursos	Abastecimiento/ Calidad de materiales	Prerrequisitos no completados	Fallo de equipos y herramientas de trabajo	Mala planeaci3n	Reprocesos	Contratamientos y mala coordinaci3n con proveedores	Falta de formaci3n de trabajadores	Mal clima	Retrasos de terceros	Cambios en el proyecto
1		X					X			X	X
2		X				X		X			X
3											
4	X	X	X	X		X	X				X
5											X
6			X				X		X	X	
7								X			
8											
9											
10	X	X	X	X		X			X		X
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	X				X		X			X	X
13		X	X	X		X	X	X		X	X
14		X	X	X	X			X			X
15		X	X	X							X
16		X	X	X							X
17		X	X	X				X			X
18		X						X		X	X
19		X	X	X				X			X
20		X	X	X				X	X		X

Tabla 3: Principales Causas de No Cumplimiento en artculos analizados

4.2.3 Mejoras implementadas por el sistema LPS

Al igual como se estandarizaron las principales CNC mostradas previamente, se escogieron 6 mejoras principales que parecieron ser las más relevantes y las que engloban a todas las demás que se pudieron observar en los casos de estudio analizados. Las mejoras fueron las siguientes:

- Aumento del PPC: Incremento en la consecución de actividades semanales.
- Involucrados más comprometidos y motivados: Mayor información acerca del proyecto a todos los participantes y una mejor integración entre las partes.
- Detección de las CNC más importantes: Mejora a través de la cual se pueden concentrar los esfuerzos en reducirlas.
- Incremento de productividad: Mejor ejecución de los procesos en el proyecto.
- Reducción de plazos y sobrecostos: Minimización de tiempos en la realización de actividades y ahorro en la utilización del capital.
- Mejor planificación y control de obra: Optimización de la organización, planeación, inspección y sistema de registro del proyecto.

En la **Tabla 4** podemos observar esta recopilación con la que se realizó el análisis.

Mejoras						
# de artículo	Aumento del PPC	Involucrados más comprometidos y motivados	Detección de las CNC más importantes.	Incremento de productividad	Reducción de plazos y sobrecostos	Mejor planificación y control de obra
1	X	X	X			X
2			X	X		
3		X		X		X
4	X			X	X	
5			X			
6		X	X			
7	X		X			
8						
9						
10	X				X	
11		X		X	X	X
12		X	X			X
13	X	X	X		X	X
14	X	X	X	X	X	X
15	X					
16	X					
17		X	X			X
18		X	X			X
19		X	X			X
20	X					

Tabla 4: Mejoras obtenidas por la implementación de LPS

4.3 Resultados y discusiones

Los datos recopilados anteriormente se analizaron utilizando el software SPSS, el mismo que permitió realizar gráficos y análisis estadísticos útiles para este estudio.

4.3.1 Porcentaje de plan completado (PPC)

Los gráficos más indicados que se encontraron para analizar el PPC fueron los diagramas de cajas. Para realizarlos se optó por clasificar los artículos recopilados de dos maneras: la primera en 4 grupos, representando cada uno una tipología de estructura: edificaciones terciarias, industriales, infraestructura de transporte y edificaciones residenciales; y la segunda también en 4 grupos, representando cada uno un continente: África, Asia, Norteamérica y Sudamérica (no se tomó el continente Europeo al tener un solo artículo como muestra). Además se realizó el análisis del PPC a través de la correlación bivariada de Pearson.

Por tipo de Estructura:

En la **Fig. 11** se puede observar el comportamiento del PPC por tipo de estructura cada 10% de avance de la obra.

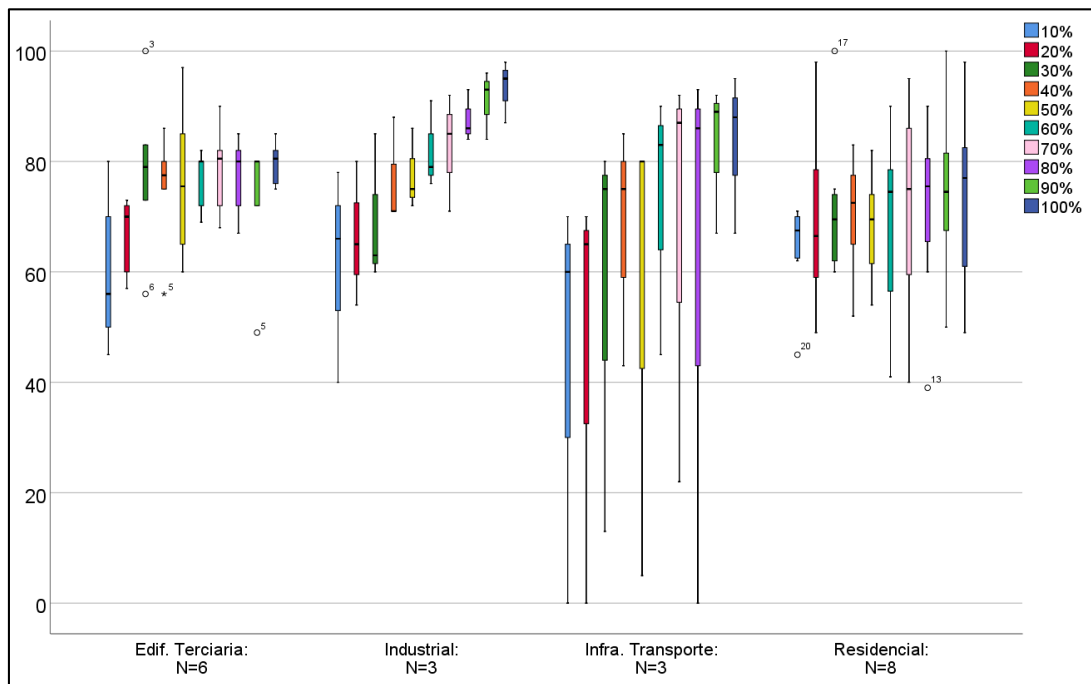


Fig. 11: Diagrama de cajas, PPC por tipo de obra.

En las obras de tipo industrial se observó que los datos tienen mucha dispersión comparando las fases iniciales con las finales. Si bien presentaron PPC mínimos cercanos al 60%, esta gran diferencia de valores refleja que, al ser tan distintas unas obras con otras, es difícil tener un conocimiento claro y conciso para realizar la planificación inicial y crear una automatización de procesos. Se pudo observar, que conforme la obra avanza, los valores tienden a ser más estables y su disposición es acercarse al 100%. Esto demuestra que, una vez superadas las fases iniciales y haber entendido bien los factores influyentes para cada obra, dotando a los operarios de los conocimientos necesarios, los procesos mejoran notablemente y el sistema alcanza resultados muy satisfactorios.

En cuanto a las edificaciones terciarias y residenciales, se vio que tuvieron comportamientos similares, debido a que sus procesos constructivos no son muy diferentes, y por lo general son obras con muchos equipos de trabajo en las mismas áreas. Los valores de PPC fueron relativamente altos, encontrándose por encima del 60%, sin embargo, no se nota un aumento conforme se avanza la obra. Esto se debe a que, contrariamente a las obras industriales, los procesos casi no se repiten y en cada fase intervienen otros equipos de trabajo, haciendo difícil tener una mejora continua.

Finalmente, para las obras de Infraestructura de Transporte, la **Fig. 11** mostró resultados que no fueron claros, ya que en la recopilación del estado del arte solo se tuvieron 3 obras de este tipo y una de estas (Javanmardi, Alireza, Hsiang, & Liu, 2018) presentó valores atípicos. Por eso se realizó un Gráfico Lineal en la **Fig. 12** para analizar estos datos.

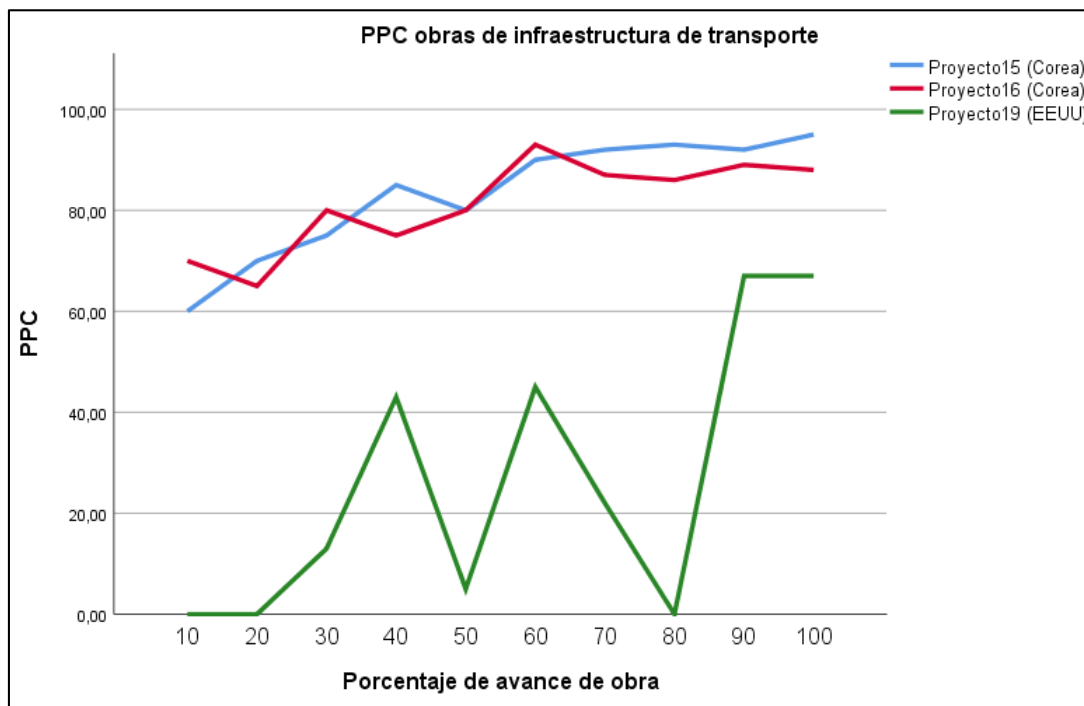


Fig. 12: Gráfico Lineal, PPC por avance de obra en Infraestructura de transporte

Se pudo observar claramente que en los proyectos 15 y 16 (Y. W. Kim & Jang, 2005) la tendencia del PPC fue bastante homogénea con similar tendencia, mientras que en el proyecto 19 (Javanmardi et al., 2018) existieron problemas atípicos debidos probablemente al bajo conocimiento de implementación del sistema para este tipo de obras en Estados Unidos por parte de la empresa constructora.

De acuerdo a los resultados obtenidos por tipología de obra, se concluye que, tiene mayor sentido la implementación del sistema para Edificaciones Terciarias y Residenciales, debido a la mejor homogenización de los valores de PPC a través de todo el transcurso de las obras. Además, estos valores oscilaron entre el 60-80%, estando en la categoría de aceptables, siendo propensos de ser incrementados considerablemente hasta llegar a valores óptimos cuyo mínimo esté en el 75%. Esto se logrará mediante la solución de los errores advertidos y la automatización de procesos.

Las obras de tipo Industrial y de infraestructura de transporte (obviando los resultados del proyecto 19 (Javanmardi et al., 2018)), si bien no tuvieron mayor dispersión en cuanto a los datos en cada fase de avance de la obra, si reflejaron una gran diferencia de porcentajes en el inicio y final de las obras. Esto se debe a que entre ellas son muy dispares y cuesta tiempo de proyecto lograr estabilizar los procesos y unificar conocimientos del sistema.

Por Continente:

Previamente al análisis, fue necesario conocer la situación actual de la industria de la construcción tanto de forma global como por área geográfica. Según (Deloitte, 2017) la inversión en infraestructura de la construcción global hasta 2040 se estima en USD 3,7 billones por año y se pronostica un ritmo de expansión promedio de 3.6% anual durante 2018-2022. Además, se generarán ingresos estimados de USD 15 billones para 2025. Las perspectivas para la industria global de la construcción son positivas y se incluye un análisis más profundo a continuación:

- Las perspectivas en la industria de la construcción para la región de Asia son sólidas, siendo el principal motor de crecimiento del mundo, con una tasa de crecimiento del PIB esperada del 5,4% para 2020. La región de Asia seguirá representando la mayor parte del industria de la construcción global dado que incluye mercados importantes como China, Japón e India (Deloitte, 2017).
- El sector de la construcción en África crecerá a una tasa promedio anual de 6.8% cada año hasta 2022, siendo este el ritmo más rápido a nivel mundial, a medida que los gobiernos regionales continúen invirtiendo en proyectos de infraestructura y reconstruyan áreas de conflicto (Deloitte, 2017).
- En Europa, después de la crisis financiera, la construcción se contrajo durante cinco años y comenzó a crecer una vez más en 2014. El panorama macroeconómico actual sugiere que el desempeño de la infraestructura debería mantenerse sólido en los próximos años, sin embargo, no recuperará los niveles de crecimiento anteriores a la crisis a corto y medio plazo (Deloitte, 2017).
- La construcción en EE. UU y Norteamérica se encuentra en auge y está impulsada por un fuerte repunte cíclico, con sólidas perspectivas de crecimiento hasta 2030 y con un impulso particularmente fuerte en la vivienda (Deloitte, 2017).
- En Sudamérica, las estimaciones de la brecha de financiamiento de infraestructura en la región varían, pero en general se acepta que si la brecha se va a cerrar, los niveles de inversión deben aumentar en los cinco países que representan más del 90% de la inversión en infraestructura en la región (Brasil, Perú, Argentina, Chile y Colombia). Según BMI Research, se espera que el crecimiento de la industria de la construcción en la región se acelere a un promedio anual de 2.6% hasta 2022 (Deloitte, 2017).

En la **Fig. 13** se puede apreciar el comportamiento del PPC por continente cada 10% de avance de la obra.

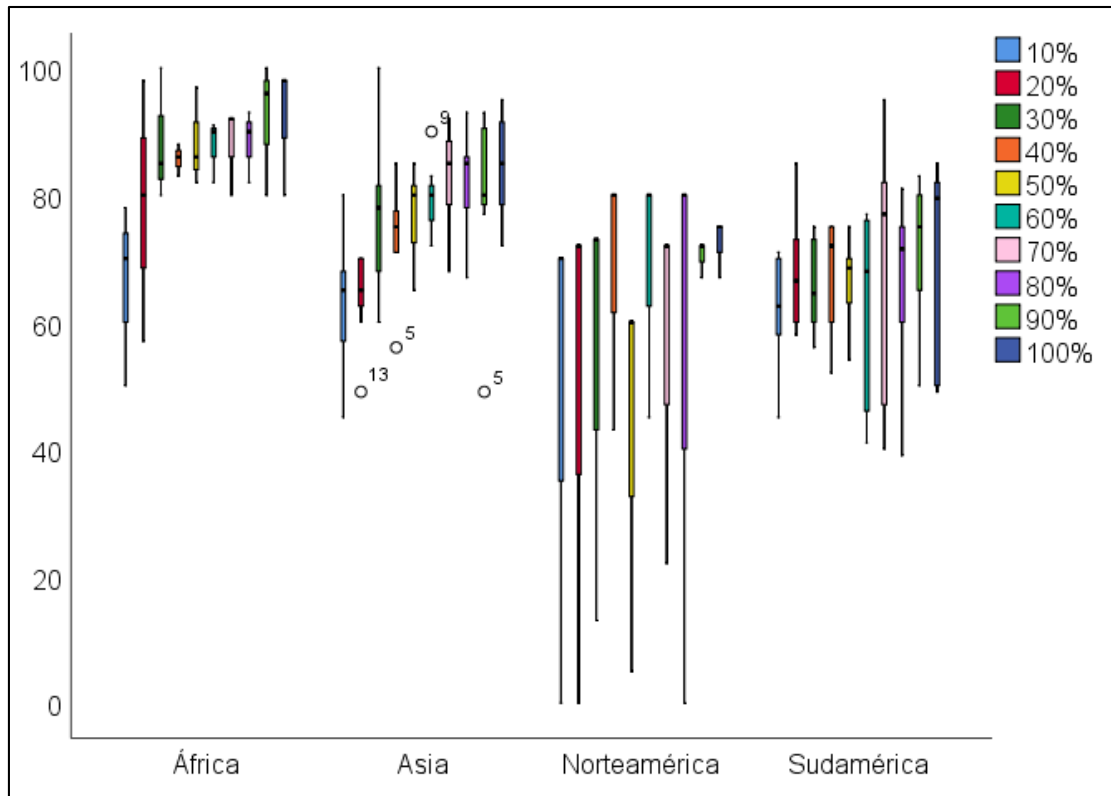


Fig. 13: Diagrama de cajas, PPC por continente.

En las obras realizadas en el continente Asiático, se observó que los datos no tuvieron mucha dispersión en cada una de las fases de la obra. Además, el valor más bajo que se obtuvo de PPC fue ligeramente inferior al 60% al inicio de las obras, lo cual refleja una avanzada eficiencia de implementación desde el inicio de las mismas. Conforme las obras avanzaron, los valores de PPC tendieron a acercarse más al 100%, aunque estos no se estabilizaron progresivamente. Este comportamiento reflejó que el LPS se encuentra bastante avanzado en este continente, en cuanto a conocimientos de las formas y procesos de implementación por parte de los participantes en los proyectos, resultando ser el más homogéneo y el de mejor desempeño con respecto a los demás.

En las obras realizadas en el continente Africano, se observó que los datos empezaron a tener muy poca dispersión a partir de que las obras llevaran un 40% de avance. Esto indicó que les resulta difícil tener una estabilización de los procesos de implementación al inicio de las obras, pero después logran un equilibrio y optimización en cada una de las fases. Se lograron al final alcanzar valores de PPC muy cercanos al 100%, siendo el continente que mayores porcentajes tuvo con respecto a los demás. También hay que decir que, a pesar de no tener una estabilización inicial en las obras, el valor mínimo alcanzado en estas fases fue del 60%, lo cual es altamente aceptado desde el punto de vista de la eficiencia y funcionalidad del sistema.

En las obras realizadas en el continente Sudamericano, se observó poca dispersión de los datos hasta que las obras alcanzaron un 50% de avance, fase a partir de la cual se apreció una dispersión enorme de los datos. Esto reflejó una implementación del sistema para nada eficiente y con mucha incertidumbre en las fases finales de las obras. Puede deberse a un cambio brusco en los operarios y subcontratistas en las obras al acabar las primeras fases

del proyecto. Hay que decir también, que los valores del PPC alcanzaron porcentajes apenas superiores al 80% en dos fases de las obras y tuvieron valores mínimos por debajo del 50%. Esta situación es muy poco conveniente, ya que refleja falta de conocimientos y una pobre eficiencia en cuanto a la implementación del sistema.

En el continente Norteamericano se encontró la mayor dispersión de los datos del PPC en las obras realizadas. Se pudo apreciar que no existió ningún tipo de estabilización, proyección, conexión ni certidumbre en ninguna de las fases de avance de las obras, siendo el continente de peor unificación de conceptos y eficiencia de procesos de implementación del sistema. Se podría decir que en este continente el éxito del sistema es una moneda al aire y dependerá mucho del tipo de obra que se realice y la empresa que esté involucrada, ya que existe mucha diferencia de conocimientos y formas de poner en funcionamiento el sistema. Este análisis estuvo influenciado debido al proyecto 19 (Javanmardi et al., 2018), el cual tuvo valores muy variables, pero fue necesario incluirlo debido a que representa un tercio de la muestra del continente.

Finalmente, en el continente Europeo no se pudieron sacar conclusiones de los datos ya que solo se pudo obtener información relevante a esta investigación de un proyecto realizado en España. Esto se debió a que apenas se está impulsando el uso de LPS en este continente y los pocos casos de implementación existentes no están registrados ni estudiados. Así se refleja la importancia del estudio de caso realizado en esta investigación de un proyecto real en Barcelona-España.

Análisis de la relación entre el PPC y la evolución de obra

Se realizó la Correlación Bivariada de Pearson determinando la media de los PPC en 4 etapas distintas de duración del proyecto: 25% de avance, 50% de avance, 75% de avance y 100% de obra completada.

En la *Tabla 5* se presentan las correlaciones de Pearson calculadas entre la duración de las obras y los PPC promedios en las 4 etapas mencionadas anteriormente. A través de estas se observó que no existe una correlación significativa entre estas dos variables, dado que las significancias alcanzaron valores superiores al valor de referencia de 0.05. Debido a esto se concluyó que no es posible encontrar un patrón de conducta que relacione el tiempo de duración de una obra con los PPC previstos a alcanzarse, sino que los mismos dependerán de: el tipo de obra, el grado de conocimiento y experiencia en la implementación del sistema por parte de los participantes del proyecto, y del lugar en donde se lo realice.

		PPC			
		25%	50%	75%	100%
Duración	Correlación de Pearson	0,224	0,026	-0,035	-0,312
	Sig. (2-tailed)	0,356	0,915	0,886	0,193
	N	20	20	20	20

Tabla 5: Correlación de Pearson, Duración vs PPC promedios de avance de obra.

En la *Tabla 6* se presenta la correlación de Person entre los PPC alcanzados en las 4 etapas mencionadas anteriormente. Los resultados de relación revelaron lo siguiente:

- Entre el 25 y 50% de avance: Existió una relación significativa y la correlación de Pearson mostró un valor de 0.746. Esto señaló que la relación es fuerte y que cuantos más altos son los valores del PPC en la primera etapa, mayores tienden a ser los mismos al completar el 50% del avance de las obras.
- Entre el 25 y 75% de avance: Existió una relación significativa y la correlación de Pearson mostró un valor de 0.763. Esto señaló que la relación es fuerte y que cuantos más altos son los valores del PPC en la primera etapa, mayores tienden a ser los mismos al completar el 75% del avance de las obras.
- Entre el 25 y 100% de avance: No existió una correlación significativa lo cual demostró que no existe relación alguna entre los PPC alcanzados al inicio de las obras con los que se alcanzan al finalizar las mismas.
- Entre el 50 y 75% de avance: Existió una relación significativa y la correlación de Pearson mostró un valor de 0.830. Esto señaló que la relación es fuerte y que cuantos más altos son los valores del PPC al completar la segunda etapa de las obras, mayores tienden a ser estos al completar el 75% de las mismas.
- Entre el 50 y 100% de avance: Existió una relación significativa y la correlación de Pearson mostró un valor de 0.488. Esto señaló que la relación es débil y que cuantos más altos son los valores del PPC en la segunda etapa, mayores tienden a ser los mismos al finalizar las obras.
- Entre el 75 y 100% de avance: Existió una relación significativa y la correlación de Pearson mostró un valor de 0.810. Esto señaló que la relación es fuerte y que cuantos más altos son los valores del PPC en la tercera etapa, mayores tienden a ser los mismos al finalizar las obras.

		PPC			
		25%	50%	75%	100%
PPC 25%	Correlación de Pearson	1	0,746	0,763	0,400
	Sig. (2-tailed)		0,000	0,000	0,081
	N	20	20	20	20
		25%	50%	75%	100%
PPC 50%	Correlación de Pearson		1	0,830	0,488
	Sig. (2-tailed)			0,000	0,029
	N		20	20	20
		25%	50%	75%	100%
PPC 75%	Correlación de Pearson			1	0,810
	Sig. (2-tailed)				0,000
	N			20	20
		25%	50%	75%	100%
PPC 100%	Correlación de Pearson				1
	Sig. (2-tailed)				
	N				20

Tabla 6: Correlación de Pearson, relación del PPC promedio entre las distintas etapas de avance de obra.

Los resultados antes mencionados mostraron que existe relación de significancia entre los valores de promedio de PPC obtenidos durante todas las etapas de avance de las obras, con la excepción de los valores obtenidos al 25 y al 100% de avance. Cabe decir que,

mientras más cerca se está del término de la obra, los valores del PPC tienen una relación más fuerte con los que se obtendrán al final de la misma.

4.3.2 Causas de no cumplimiento (CNC)

Realizar un análisis de las principales CNC es sumamente importante en la gestión del proyecto para el administrador, ya que puede evitar la recurrencia de situaciones que generan atrasos y baja productividad en la obra. Una buena gestión al respecto garantizará un cumplimiento más cercano al compromiso adquirido en los programas semanales, intermedios y finalmente repercutirá en el plan general. Además, podrán establecerse cuales causas son controlables y cuales no por parte de la administración de la obra, y hacen parte del riesgo característico de la actividad de construcción (Botero Botero & Alvarez Villa, 2005).

El gráfico que se encontró de mayor relevancia para analizar las CNC fue el Histograma de Frecuencias Acumuladas. Este gráfico se lo realizó clasificando los artículos por tipo de obra, al igual que se hizo en el análisis previo del PPC. En la **Fig. 14** se puede observar esta distribución de CNC y la comparación entre los tipos de obra.

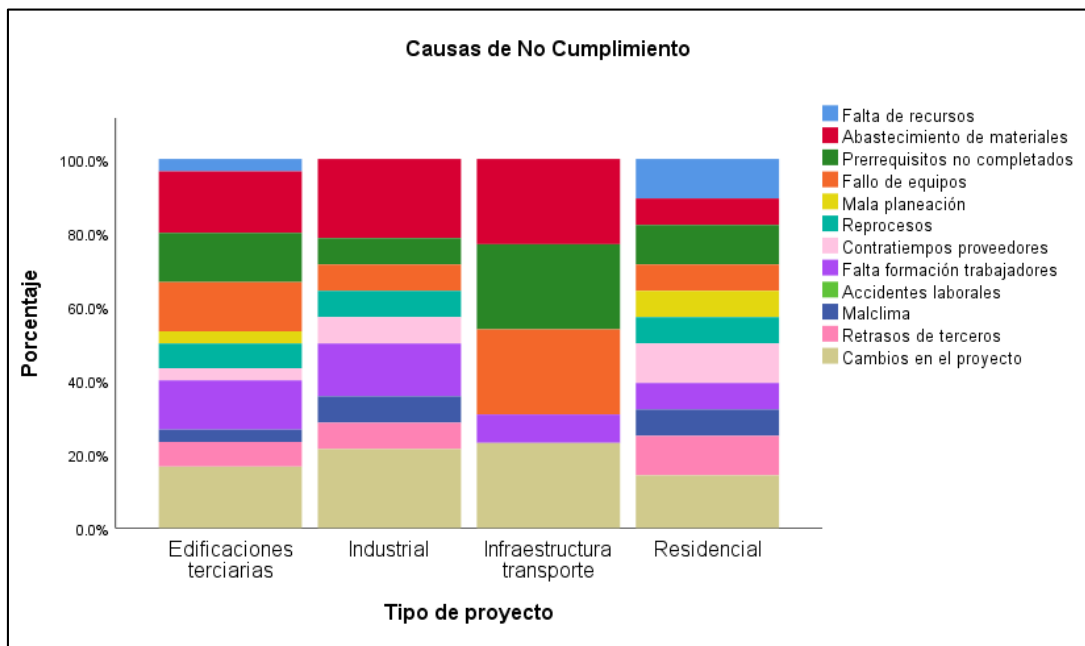


Fig. 14: Histograma de frecuencias acumulado, Principales CNC por tipo de obra.

En las obras Residenciales y de Edificaciones terciarias se observó que existe una distribución muy similar de las principales CNC, variando las frecuencias de las mismas muy poco entre estos tipos de obra. Esto resulta así ya que son obras de similar planificación y proceso constructivo, en las cuales se encuentran las mismas fases de producción. Estas también fueron las que tuvieron todas las 11 CNC planteadas en este estudio, siendo las obras en donde más razones de percances existieron. Esto se debe a la existencia de variaciones muy marcadas entre las fases constructivas y a que los actores intervinientes cambian de manera frecuente, complicando la repetición y estandarización de los procesos, y la capacitación del personal. Además, se pudo ver que la CNC con mayor frecuencia fue la de cambios en el

proyecto, debido a que el diseño realizado no es posible ejecutarlo en la fase constructiva en múltiples ocasiones, con lo cual surge la necesidad de realizar cambios en el mismo.

En las obras Industriales se observó que no existieron CNC que tengan que ver con una mala planeación de obra o existencia de falta de recursos. Esto es entendible ya que, al ser obras en las cuales es posible estandarizar procesos y los mismos se repiten continuamente a lo largo del avance de la obra, realizar una óptima planificación resulta sencillo. Además, es factible anticiparse adecuadamente a los problemas e inconvenientes que se presentarán durante su desarrollo, pudiendo prever de manera eficiente los recursos necesarios y los tiempos exactos en los que se los necesitarán. También se vio que, las mayores CNC en este tipo de obras son los cambios en el proyecto, al igual que en las obras Residenciales y de Edificaciones Terciarias, y el abastecimiento de materiales. La primera tiene una explicación similar a la desarrollada previamente y la segunda debido a que es muy frecuente que los subcontratistas a cargo de abastecer de material a la obra no cumplan con los plazos establecidos en la planificación del proyecto, desencadenando en esta causa.

Finalmente, se pudo apreciar que las obras de Infraestructura de Transporte son las que menos tipos de CNC tuvieron durante su desarrollo. Esto resulta así ya que, al ser obras de carácter lineal y con repetición de procesos, es sencillo realizar una buena planificación, evitar contratiempos con los proveedores y eliminar los reprocesos. También, debido a ser obras en las que casi no existe participación de terceros, esta CNC se eliminó. Se pudo visualizar que las CNC que más afectaron a este tipo de obras fueron: cambios en el proyecto, prerequisites no completados y abastecimiento de materiales. La primera causa se debe igualmente a inconsistencias entre el diseño y la fase constructiva. La segunda causa se debe a que, es muy posible que algunos equipos de trabajo del proyecto avancen más rápido que otros, lo cual conlleva a que cuando un equipo quiera seguir avanzando no tenga disponibilidad, ya que no se han cumplido los requisitos necesarios por parte de otros equipos. Por último, la tercera causa se debe al incumplimiento de los subcontratistas con los plazos del proyecto, de manera similar a lo que sucede en obras Industriales.

4.3.3 Mejoras implementadas por el sistema LPS

Analizar las mejoras obtenidas alrededor del mundo mediante la aplicación del LPS es importante ya que permite visualizar, cuantificar y percibir los beneficios reales que el sistema puede producir en mayor o menor nivel de acuerdo a la eficiencia de su implementación y del tipo de proyecto a realizarse. Estas conforman una cadena de situaciones que le producirán valor a la empresa constructora, el mismo que se verá reflejado en la competitividad de esta en el mercado (Botero Botero & Alvarez Villa, 2005).

Para el análisis de las mejoras, de igual manera que las CNC, se realizaron histogramas acumulados clasificados por tipo de estructuras como se observa en la *Fig. 15*.

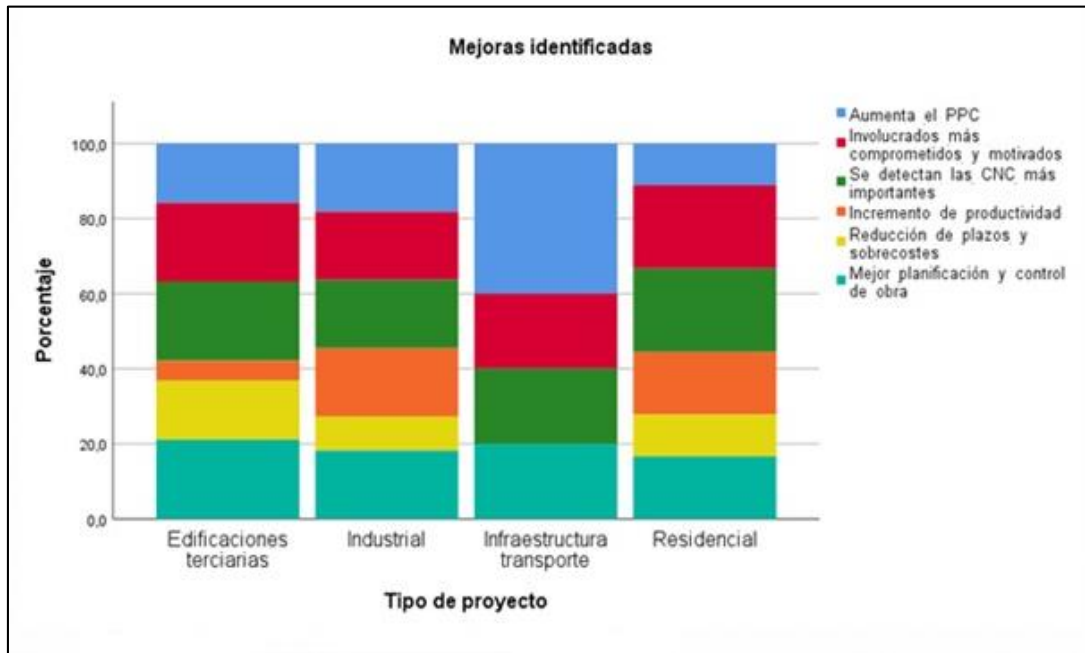


Fig. 15: Histograma de frecuencias acumulado, Mejoras implementadas por LPS por tipo de obra.

Los datos de mejoras se identificaron dentro de las conclusiones y comentarios en los artículos analizados. Lo que se pudo concluir según la Fig. 15 es que, las mejoras producidas por el sistema son similares sin importar el tipo de obra, con la excepción de las de Infraestructura de Transporte, en las que no se registraron reducción de plazos y sobrecostos, ni incremento de productividad. Si bien algunas mejoras, como el aumento de PPC, son cuantificables; otras, tales como, que los operarios estén más comprometidos con la obra depende de la percepción de las personas que se encargan de dirigir las mismas. Con esto podemos decir, de cierta manera, que el sistema LPS cumplió con su objetivo, aunque todavía no es muy cuantificable o no es muy fácil demostrar su validez.

5. Caso de estudio

En esta investigación, el enfoque de estudio de caso se adoptó para facilitar la comprensión y el análisis de la implementación del sistema LPS en un proyecto real. Se lo realizó obteniendo evidencia del proyecto y del entorno físico en donde se lo implementó, y además de los actores del proyecto. Se analizó un proyecto en ejecución, siendo el mismo de infraestructura residencial en altura, el cual fue nombrado como "Proyecto 1".

(Bryman, 2012) enfatizó que el muestreo intencional le permite al investigador seleccionar un caso para responder a la/as preguntas de investigación. Por esto el proyecto se seleccionó asegurando que el mismo fuera de infraestructura residencial en altura, de manera que con los datos obtenidos pudiera realizarse un análisis comparativo y asociativo.

5.1 Descripción

El Proyecto 1 consistió en la construcción de un edificio plurifamiliar y se realizó a partir de la rehabilitación de un edificio existente para cambiar su uso a vivienda. El proyecto comprendió instalaciones para apartamentos residenciales, locales comerciales y aparcamientos. En las **Fig. 16** y **Fig. 17** se presentan fotos del mismo.



Fig. 16: Fotografía en obra del Proyecto 1, ángulo 1.



Fig. 17: Fotografía en obra del Proyecto 1, ángulo 2.

La implementación de LPS en el Proyecto 1 se lo hizo distribuyendo la obra en tres fases que fueron: Fase de Estructura y Demolición, Fase de Cerramientos y Divisorias, y Fase de Revestimientos y Acabados. Se lo realizó así ya que la empresa, debido a implementaciones del sistema en otros proyectos, concluyó que el LPS no fue eficiente y resultó muy laborioso y pesado realizarlo de la obra completa en una sola fase. Sus razones fueron que: se perdía el interés por parte de los operarios y subcontratistas que participarían avanzadamente en la obra, el hacer compromisos con mucho tiempo vista desencadenaba en muchísimos incumplimientos y además que el tiempo necesario para realizarlo era excesivo.

La Fase 1 tuvo una duración de 6 meses, iniciando en Septiembre de 2018 y acabando en Marzo de 2019, esta comprendió: la demolición completa de la estructura existente y la construcción de la estructura completa. La Fase 2 tuvo una duración de 4 meses, iniciando al término de la Fase 1 y acabando en Julio de 2019, esta comprendió: la impermeabilización de la estructura, realización de la fachada, disposición de las instalaciones y realización de las divisiones interiores. Finalmente, la Fase 3 inició al término de la Fase 2 y se acabó en Octubre de 2019, siendo en tiempo la más corta de todas con una duración de 3 meses, esta comprendió: la realización de los revestimientos de la obra, equipamiento interior, acabados y urbanización del proyecto.

Ubicación

Se encuentra ubicado en Carrer de Murcia nº12-18 en la ciudad de Barcelona-España. En la **Fig. 18** y **Fig. 19** se muestra su ubicación satelital tanto en planta como en 3D respectivamente.

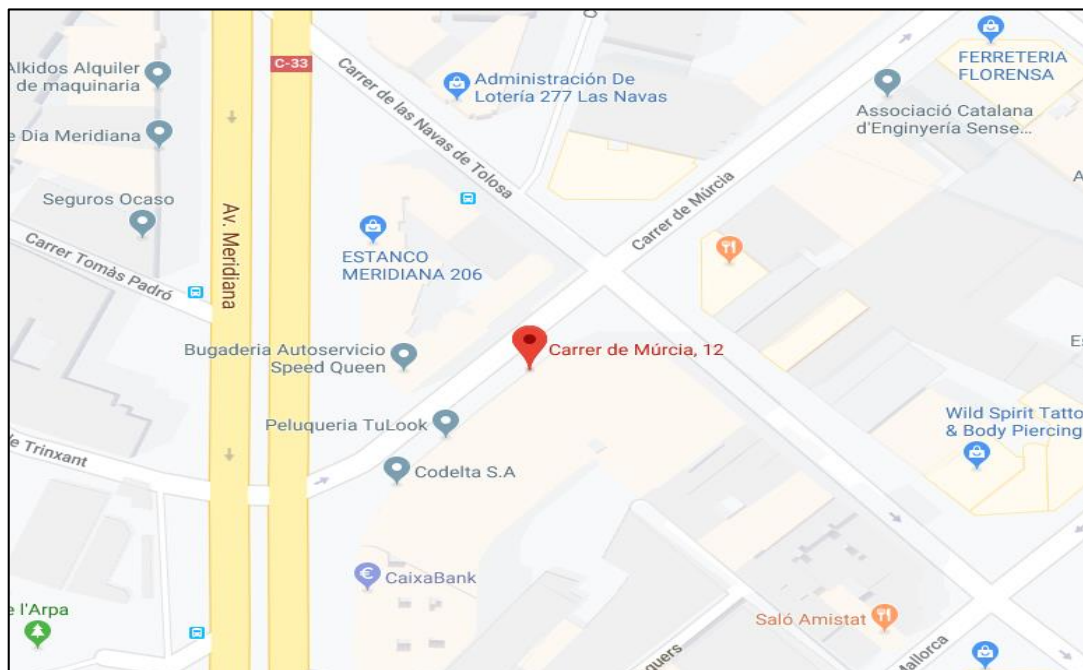


Fig. 18: Ubicación satelital Proyecto 1 en planta



Fig. 19: Ubicació satelital Projecto 1 en 3D

Datos generales

- Número de pisos: 9 pisos y 2 subterráneos
- Plazo total obra : 13 meses
- Superficie construida por planta:
 - Planta sótano -2: 1425m²
 - Planta sótano -1: 1425m²
 - Planta baja: 1144m²
 - Planta altillo: 668m²
 - Planta 1: 803m²
 - Planta 2: 790m²
 - Planta 3: 790m²
 - Planta 4: 790m²
 - Planta 5: 790m²
 - Planta 6: 692m²
 - Planta cubierta: 126m²
- Total superficie de construida: 9443m²

5.2 Entrevistas con los Participantes del Proyecto

Para tener un entendimiento a profundidad acerca de: cómo se llevó a cabo la implementación de LPS en el proyecto, el desarrollo que tuvo en todas sus fases de planificación y puesta en obra, los beneficios que se obtuvieron en cada etapa, las barreras a las que se enfrentaron los operarios y dirigentes, y los puntos principales que se trataron en el transcurso de la obra; durante esta investigación, se realizó una entrevista a los principales actores del proyecto, para que ellos nos contaran de primera mano todos los temas expuestos anteriormente. A continuación se ponen de manifiesto estas entrevistas.

5.2.1 Consultor

El Consultor de LPS en la empresa constructora en la cual se analizó el proyecto de esta investigación trabaja hace un poco más de un año en la misma. **La función que ha desempeñado** durante este tiempo ha sido la de dar formación a todos los actores de la empresa acerca de la aplicación e implementación de LPS. **Esta empresa empezó la implementación** del sistema con una prueba piloto en una obra residencial y a continuación la extendió a varias obras más. En la actualidad, el Consultor ayuda a implantar el sistema ya a nivel de empresa en todos sus procesos productivos en todas las obras en las que se está aplicando LPS.

Este Consultor tiene **una experiencia** de más de 20 años de trabajo en construcción en todo tipo de obras. **Empezó con LPS** desde el año 2011, implementando el sistema por primera vez en un proyecto de construcción residencial, ocupando en el mismo el cargo de jefe de obra. A lo largo de este tiempo ha podido trabajar y formar parte en la implementación de LPS en aproximadamente 12 obras en España.

La ventaja principal del sistema LPS que el Consultor encuentra es que el mismo permite formar un equipo que está vinculado a la obra, impulsando la colaboración entre todos los actores del proyecto, lo cual en otros entornos no se da. **Otra ventaja que el halla muy valiosa** es que al tener este sistema de planificación y gestión, se genera una disciplina, es decir, siempre se sabe lo que se tiene que hacer cada día, permitiendo de esta manera tener un control permanente de la obra.

La barrera que el encuentra del sistema es que resulta difícil ayudar a descubrir a los principales líderes del proyecto las ventajas que tiene la implementación del mismo, ya que lo primero que piensan es que su implementación solo representa un incremento en la carga de trabajo. Entonces, **la parte complicada** es hacerles entender, que en realidad esto no es otro trabajo, sino que realmente significa dejar de trabajar de una determinada manera para hacerlo de una forma más eficiente.

En cuanto a **las barreras que se tienen con los subcontratistas**, el menciona que esto depende mucho de las personas, pero en general se tiene que lograr algo muy similar que con el resto del equipo de trabajo. Los subcontratistas deben entender que en LPS no deben cumplir solo porque el que les paga las facturas lo pide, sino más bien, ellos tienen que darse cuenta de las ventajas personales que les traerá la aplicación del sistema. Hay personas que entienden este concepto enseguida y colaboran muy bien, sin embargo, hay otras que se cierran y complican la aplicación del sistema por falta de colaboración.

En su opinión, **la aplicación de LPS no depende de la edad ni de la experiencia**. El comenta que, si bien a la gente joven le interesa aprender algo nuevo, la gente con más experiencia ha sufrido los problemas que se presentan en determinadas situaciones, con lo cual, también les parece interesante adoptar un nuevo sistema que les permita evitar esos inconvenientes.

En todos los proyectos en los que ha implementado LPS, el menciona que **el principal indicador del rendimiento del sistema** en los mismos es el PPC, el cual sirve para observar

el nivel de trabajabilidad del equipo. Por lo general, cuando existe una obra con problemas, es muy difícil que se tenga un PPC estable y alto, entonces con este indicador se puede saber cómo está funcionando la obra. Otra manera de entender si está funcionando LPS tiene que ver con la disciplina con la que se está llevando a cabo la obra, como se sabe, el LPS tiene tres diferentes cronogramas: uno a largo plazo, otro a mediano plazo y finalmente uno semanal. Se puede ir analizando si son coherentes o no los avances semanales con respecto a los planes a mediano y largo plazo, y de la misma manera se puede observar si se están calculando los indicadores en las reuniones semanales. En cuanto al **nivel de implicación de las personas** con el sistema, esto se puede analizar indirectamente con su asistencia a las reuniones, su puntualidad y su cumplimiento con las obligaciones.

Con respecto a **las CNC de tareas en los proyectos**, él menciona que estas dependen de los tipos de obra, ya que se pueden encontrar obras especialmente singulares y dependiendo del equipo de dirección de obra pueden existir muchas restricciones. En tipos de obra que son más comunes, no suelen haber muchos problemas de restricciones, sin embargo hay otros problemas, como por ejemplo, los suministros o la mano de obra, ya que a veces resulta un gran inconveniente conseguir suficiente personal.

En cuanto a **los niveles de programación que tiene LPS**, él expresa que la Pull session se puede abordar para la planificación de la obra entera y se podrían planificar hasta 18 meses de obra dependiendo de las características de la misma, con lo cual se obtiene como gran ventaja el conseguir una visión completa de toda la obra y así no perder nada de vista. Sin embargo, **no siempre es posible planificar toda la obra**, ya sea por su complejidad o por no tener todos los proveedores identificados, con lo cual en estos casos él recomienda dividir la obra en fases, como por ejemplo: una fase estructural, una fase de paletería y una fase de acabados. En realidad cada obra puede dividirse de cualquier manera, ajustándose a las características de cada una de forma que resulte óptima y conveniente en cada caso.

Además, el Consultor también comentó acerca de **las reuniones semanales**, de las cuales, dijo que son mucho más fáciles de realizarlas que **las sesiones Pull**. Esto debido a que son más cortas y es mucho más sencillo conversar acerca de lo que se va a producir con los últimos planificadores, es decir, con la gente que se encuentra a pie de obra, en comparación con las personas que no participan directamente de esta producción. Menciona que estos últimos planificadores saben con certeza que es lo que han hecho durante la semana, los problemas con los que se han encontrado, las razones de no cumplimiento de las tareas, la planificación prevista para la semana siguiente, las restricciones que son necesarias liberar y también son capaces de tener una negociación valiosa con otros operarios.

En lo que respecta a **la percepción y colaboración de las personas en la implementación de LPS**, él dice que en general la gente es participativa y colaborativa. Sin embargo, recalca que, evidentemente la actitud puede cambiar de una persona a otra, ya que puedes encontrarte con gente que: no le interesa colaborar en absoluto, no se expresa en las reuniones, no dice la verdad o se inventan situaciones, esconden problemas y asumen compromisos irreales.

También habló acerca de **la presión que puede generarse en los últimos planificadores** debido a la evaluación semanal a la que se los somete y mencionó que esto depende de cómo se lleve el tema pero, de acuerdo a lo que él ha visto en las reuniones en las que ha participado, concluye que estas personas tienen muy claro que esa evaluación no es

directamente una evaluaci3n personal, sino de equipo. Por otro lado dijo que se les deja muy claro que la misma no es un examen que se aprueba o falla, o que conlleva un castigo en absoluto. Sin embargo, expresa que es evidente que si hay una persona o un equipo que falla sistem3ticamente eso se va a ver reflejado y se va a tener muy claro cu3les fueron los problemas presentados para poder abordarlos posteriormente. Finalmente, quiso dejar muy en claro que **no existe una presi3n en general**, si no que la misma puede que se manifieste en el grupo de trabajo a nivel social, pero no de parte del jefe de obra por medio de castigos o algo por el estilo.

En lo referente a si el **LPS una vez implementado incrementa de manera notable la colaboraci3n entre los operarios y encargados**, 3l dice que en las situaciones en las que ha colaborado en obra y el LPS ha funcionado, si se evidencia que a medida que pasa el tiempo, se genera un nivel de confianza alto entre los trabajadores y es m3s f3cil que aprendan a resolver sus propios problemas y sean capaces de negociar, no solo en la reuni3n, sino a lo largo de toda la semana. El Consultor hace hincapi3 en que es muy importante durante el transcurso de la obra, realizar reuniones diarias, ya que aunque sean muy cortas, las mismas ayudan a que el equipo se cohesione. En la empresa constructora de la que es part3cipe expresa que **una dificultad importante** es que los encargados de obra no est3n realizando estas reuniones diarias, y que si bien se les podr3a imponer, los jefes de obra tampoco quieren forzar el asunto ya que hay algunos que lo ven de forma positiva y otros al contrario. Esta situaci3n 3l la ve de manera muy cr3tica ya que le parece que estas reuniones son de suma importancia ya que al no realizarlas se pierde una buena parte del retorno del sistema.

Tambi3n se le pregunt3 acerca de si en alguna de sus obras ha existido alg3n **caso en las que el sistema ha fracasado o no ha sido posible implementarlo**, a lo que 3l respondi3 que se ha encontrado con obras en las que se mutila al sistema. Esto debido a que, llevar el sistema al d3a significa hacer una actualizaci3n semanal del Master Plan, y en la franja de tiempo en la que se encuentre es necesario: realizar revisiones, cambiar dependencias, alargar, recortar o a3adir tareas, etc. Esto resulta ser, para algunos t3cnicos, un proceso muy engorroso, los cuales a su vez suelen tener: deficiencias en el manejo de la herramienta computacional para llevarlo a cabo, ignorancia debido a que no lo han hecho nunca o b3sicamente evidencian falta formaci3n. Es entonces, cuando se encuentran estas dificultades, que el Master Plan se pierde y ya no se sabe en qu3 direcci3n se dirige la obra, las razones de incumplimiento no se controlan y no se calculan los PPC semanales, lo que desencadena en el colapso del sistema.

Finalmente, se concluy3 cuestion3ndole acerca de su pensamiento de si **el LPS puede implementarse en cualquier tipo de obra**, a lo que respondi3 que a su parecer el mismo puede funcionar siempre. Argument3 que en obras peque3as, de cuatro semanas, es diferente la gesti3n, ya que no hay planificaciones semanales sino diarias, y ya no se tienen ventanas de seis semanas sino solamente de una semana, lo cual es una situaci3n un poco distinta, pero el sistema s3 que funciona muy bien. Por otro lado en obras muy grandes, el comenta que se necesitar3 dividir y sectorizar por bloques la obra, las reuniones, los procesos, etc., pero siempre ser3 posible aplicar el sistema.

5.2.2 Jefe de Obra

El Jefe de Obra del proyecto analizado en esta investigación lleva trabajando un año para la empresa constructora. Él tiene **una experiencia** de 13 años de trabajo en construcción en todo tipo de obras en distintos cargos, de los cuales desempeña el papel concreto de Jefe de Obra alrededor de 7 años. Esta persona **inició con la aplicación del sistema LPS** en este proyecto, con lo cual no tenía ninguna experiencia previa de este tipo de planificación hasta la realización de esta obra. Al llegar a la obra él recibió la asesoría de un tutor de la empresa, el cual se encargó de darle una sesión introductoria de LPS y una capacitación del funcionamiento y desarrollo del mismo.

La ventaja principal del LPS que este Jefe de Obra encuentra es que el mismo le permite realizar la detección de problemas e inconvenientes de la obra previamente, es decir con un buen margen de tiempo de antelación a que estos sucedan. Ocurre así, según su opinión, ya que en esta planificación se implican mediante compromisos a todos los operarios y subcontratistas. Esto crea una relación de equipo entre las personas y hace que salgan a relucir: las formas en las que realizarán las actividades, los tiempos necesarios y las restricciones que se tendrán en cada una. Así se genera ya una información del proceso a seguir en entendimiento de todos, permitiéndoles anticiparse a los problemas.

Él piensa que LPS es un sistema que madurará y triunfará en el tiempo en el ámbito de la construcción. Sin embargo, encuentra que **la barrera existente** es que los subcontratistas o industriales aún no compran o creen en el sistema. Esto se debe a que para ellos resulta tedioso, una pérdida de productividad y una complejidad en el manejo de su tiempo el acudir semanalmente a las reuniones que demanda la implementación del mismo. Esto se da a día de hoy, según él, debido a que aún **no existe una interiorización del beneficio productivo** que el sistema representa en sus trabajos, con lo cual lo que debe producirse es un cambio en la mentalidad de parte de los involucrados.

En cuanto al **nivel de aceptación, confort y presión en los operarios** debido a las evaluaciones que el sistema demanda durante su implementación, él opina que son muy positivas para el desarrollo eficiente de la obra. Sin embargo, se ha encontrado con **dos tipos de personal** en esta obra: el uno al que le da igual, no demuestra ningún tipo de interés ni implicación y tiene una dejadez total en cuanto a cumplir satisfactoriamente las evaluaciones; y el otro tipo completamente contrario de gente, que se implica a un nivel muy elevado con el desarrollo de la obra y el cumplimiento de sus actividades en los plazos fijados, y que se sienten motivados completamente a tener un rendimiento óptimo en todas las evaluaciones.

En esta obra, él comenta que se llevó un **registro y seguimiento del PPC semanalmente** y tuvieron casos en los que ha llegado a niveles muy altos, cercanos al 100% y otros en los que ha estado por debajo del 40%. Esto para él, muy aparte de ser un **indicador de rendimiento**, es un indicador del grado de ambición que han tenido en cada semana. Es decir, que cuando evalúan un PPC muy alto piensan que no han sido lo suficientemente ambiciosos con las actividades previstas, y al contrario, cuando han obtenido valores bajos sienten que han sido demasiado optimistas. Esto puede resultar un punto de vista interesante, pero debe ser contrastado con las CNC registradas. Sin embargo, menciona que durante todo el desarrollo de la obra se ha tenido un rendimiento positivo, registrando un PPC promedio sobre el 70%.

Finalmente, se concluyó preguntándole respecto a **las CNC de las tareas en el proyecto**, a lo que mencionó que las principales causas que se registraron fueron por falla de equipos y falta de personal cualificado/disponibilidad de mano de obra. También añadió, que estas CNC pudieron ser controladas y disminuidas a través del transcurso del tiempo, debido a que se tuvo capacidad de anticipación gracias al sistema.

5.2.3 Encargado de Obra

El Encargado de Obra del proyecto analizado en esta investigación lleva alrededor de diez meses trabajando en la empresa constructora. Él tiene **una experiencia** de 33 años de trabajo en construcción en todo tipo de obras en diferentes cargos, pero ya específicamente el cargo de Encargado de Obra lo lleva desempeñando 29 años. Esta persona **inició en LPS** en este proyecto, dado lo cual, no tenía ninguna experiencia previa de este tipo de planificación hasta la realización de esta obra. Al llegar a la obra, él recibió la asesoría por parte del Consultor de LPS a nivel general de capacitación y en el diario por parte del Jefe de Obra.

La ventaja principal del sistema LPS que este Encargado de Obra encuentra es que mediante el mismo se crean compromisos entre los responsables y operarios de obra, con lo cual la planificación es más fluida, y se eliminan una gran cantidad de problemas e incertidumbres que con otras formas de planificación no se consiguen.

La barrera más llamativa que él encuentra durante la implementación de LPS es que los subcontratistas e industriales se comprometen poco y no se toman en serio el sistema, lo cual concuerda con la opinión expresada por parte del Jefe de Obra. **Una posible solución** que él sugiere es que se imponga algún tipo de sanciones ante inasistencias en las reuniones planificadas, incumplimientos laborales y de participación, y faltas de los compromisos adquiridos durante la planificación.

Finalmente, él terminó mencionando que en **lo que más le ayudó el sistema durante el desempeño de sus funciones** es cuando la obra se encontraba en la fase Estructural. Esto debido a que, al ser una obra realizada con Hormigón Estructural, él pudo saber con gran antelación fechas precisas de término de colocación de encofrados y de acero para poder solicitar el Hormigón a la planta de hormigonado y planificar el día exacto de colocación del mismo en obra. Esta fue una situación que le generó grandes problemas en las obras en las que había participado anteriormente.

5.3 Recopilación de datos

Los datos y la información del proyecto se obtuvieron a partir de los registros del: plan general, el cual incluyó las tres fases constructivas nombradas en la descripción del proyecto; plan intermedio o lookahead program y planes semanales, brindados por parte de los participantes de la obra. Esta información la entregaron en forma de plantillas.

En el plan general detallaban el total de las actividades a realizar en la obra junto con el cronograma a cumplir, en la **Fig. 20** se presenta esta plantilla. La información del proyecto,

el responsable de obra y clasificación de incidencias las presentaron tal como se muestra en la **Fig. 21**. En los planes intermedios, realizados en intervalos de tiempo de 6 semanas, describieron las actividades generales hechas en las mismas, los responsables y el grado de cumplimiento que se obtuvo de estas al final, en la **Fig. 22** se visualiza una de estas plantillas. En los planes semanales describieron las actividades específicas a realizar en cada uno de los días de la semana en cuestión, los responsables de realizarlas, el área de trabajo al que pertenece cada actividad, las principales CNC registradas y el PPC final promedio alcanzado en la semana, en la **Fig. 23** se presenta una de estas plantillas.

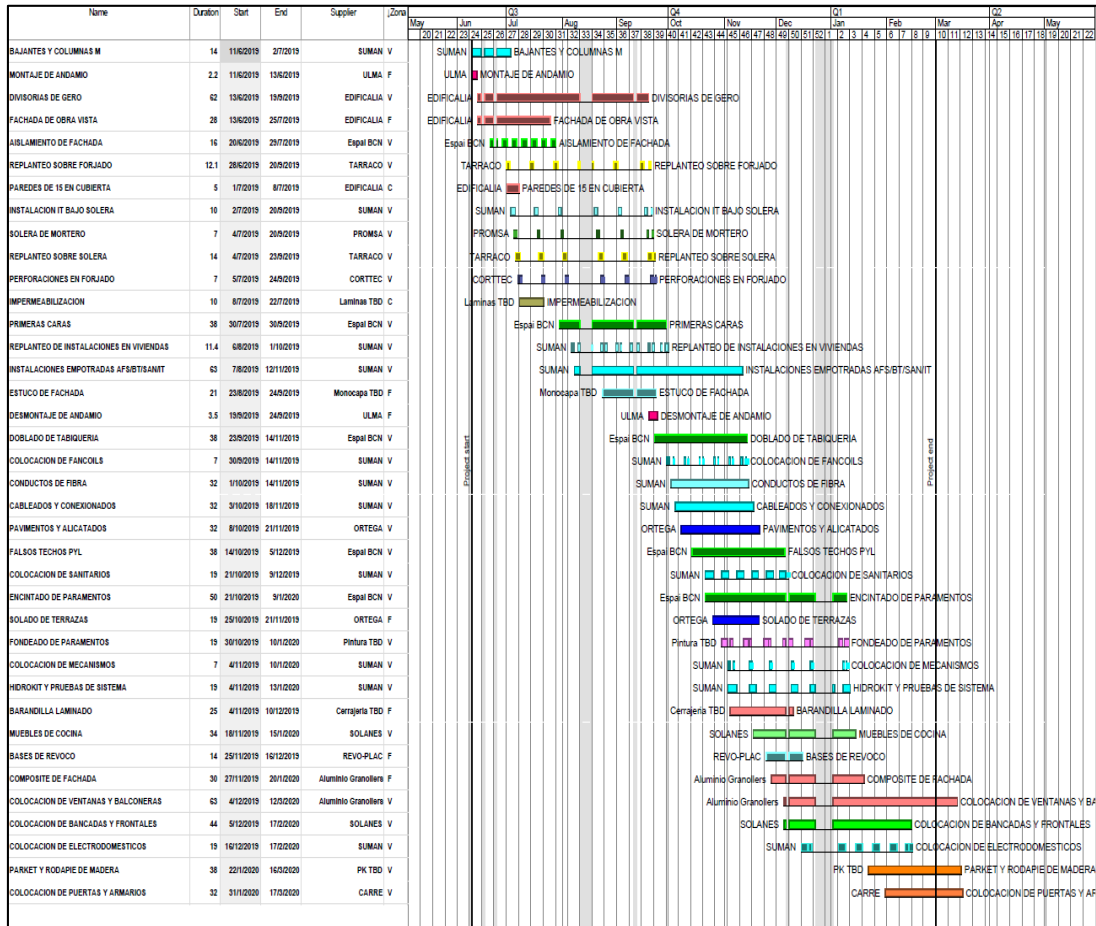


Fig. 20: Plantilla de programación general

5.3.1 Porcentaje de Plan Completado (PPC)

Los datos de evolución del PPC se recopilaron durante todas las semanas de duración de la obra, tal como se muestra en la **Tabla 7** y en la **Fig. 24**. Posteriormente se analizó estadísticamente el comportamiento del PPC a lo largo de la obra.

Porcentaje de Plan Completado					
# de Semana de desarrollo del Proyecto	PPC	# de Semana de desarrollo del Proyecto	PPC	# de Semana de desarrollo del Proyecto	PPC
	%		%		%
1	77	20	89	39	92
2	79	21	80	40	63
3	64	22	67	41	29
4	83	23	44	42	38
5	55	24	100	43	100
6	57	25	80	44	88
7	67	26	25	45	45
8	67	27	77	46	75
9	50	28	79	47	75
10	50	29	91	48	44
11	100	30	100	49	89
12	100	31	100	50	94
13	33	32	100	51	71
14	100	33	67	52	75
15	67	34	78	53	67
16	100	35	80	54	39
17	71	36	100	55	64
18	67	37	67		
19	78	38	69		

Tabla 7: Porcentaje de Plan Completado en el Proyecto 1.

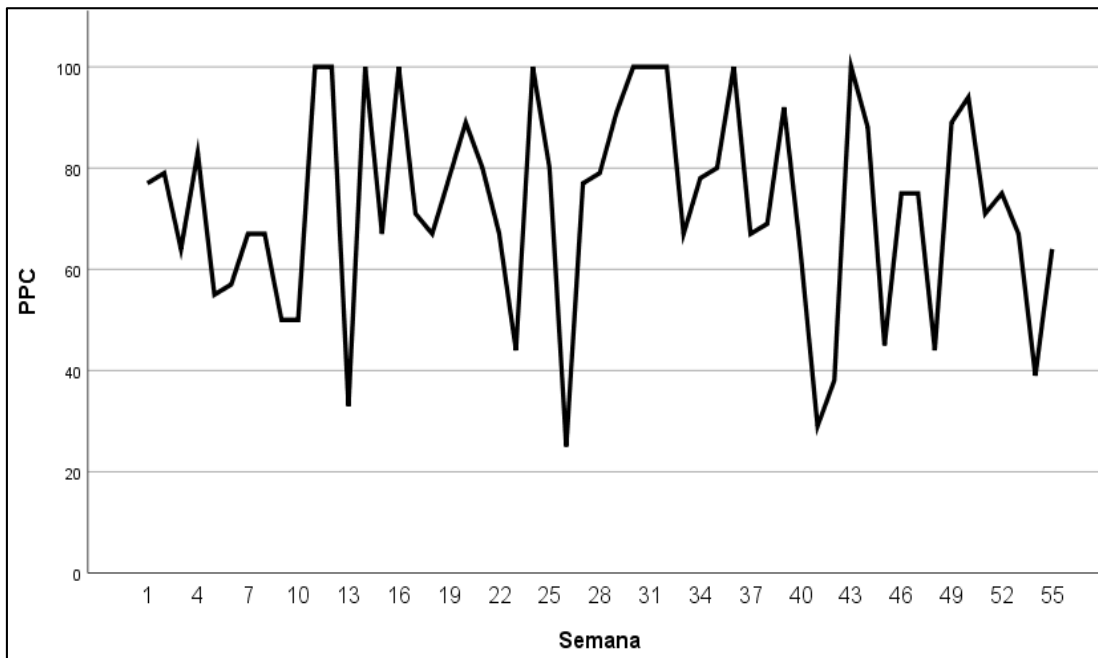


Fig. 24: Diagrama Lineal, Evolución del PPC en Proyecto 1

5.3.2 Causas de No Cumplimiento (CNC)

De la misma forma como se hizo con los datos de PPC, se recopilaron las CNC durante toda la duración de la obra, y las veces que estas se repitieron, tal y como se muestra en la **Tabla 8**. Posteriormente se realizó un análisis estadístico de estos datos.

Causas de No Cumplimiento	
Tarea fuera de contrato	2
Protocolo no aprobado	7
Finalización tarea previa-otro	17
Finalización tarea previa-propio	9
Falta información para puesta en obra	2
Disponibilidad para mano de obra	17
Disponibilidad de material	5
Falta o escasez de medios auxiliares	2
Tarea no conforme	3
Error en la secuencia acordada	21
Error en la estimación de tiempo	45
Imprevistos ajenos al proyecto	3
Meteorología	1
Decisiones de la propiedad	1

Tabla 8: Causas de No Cumplimiento en el Proyecto 1

5.3.3 Variación sobre el objetivo temporal de la obra

Los datos de la variación sobre el objetivo temporal del Proyecto 1 se recopilaron durante la mayor parte de su duración, tal como se muestra en la **Fig. 25**. Posteriormente se analizó estadísticamente este comportamiento.

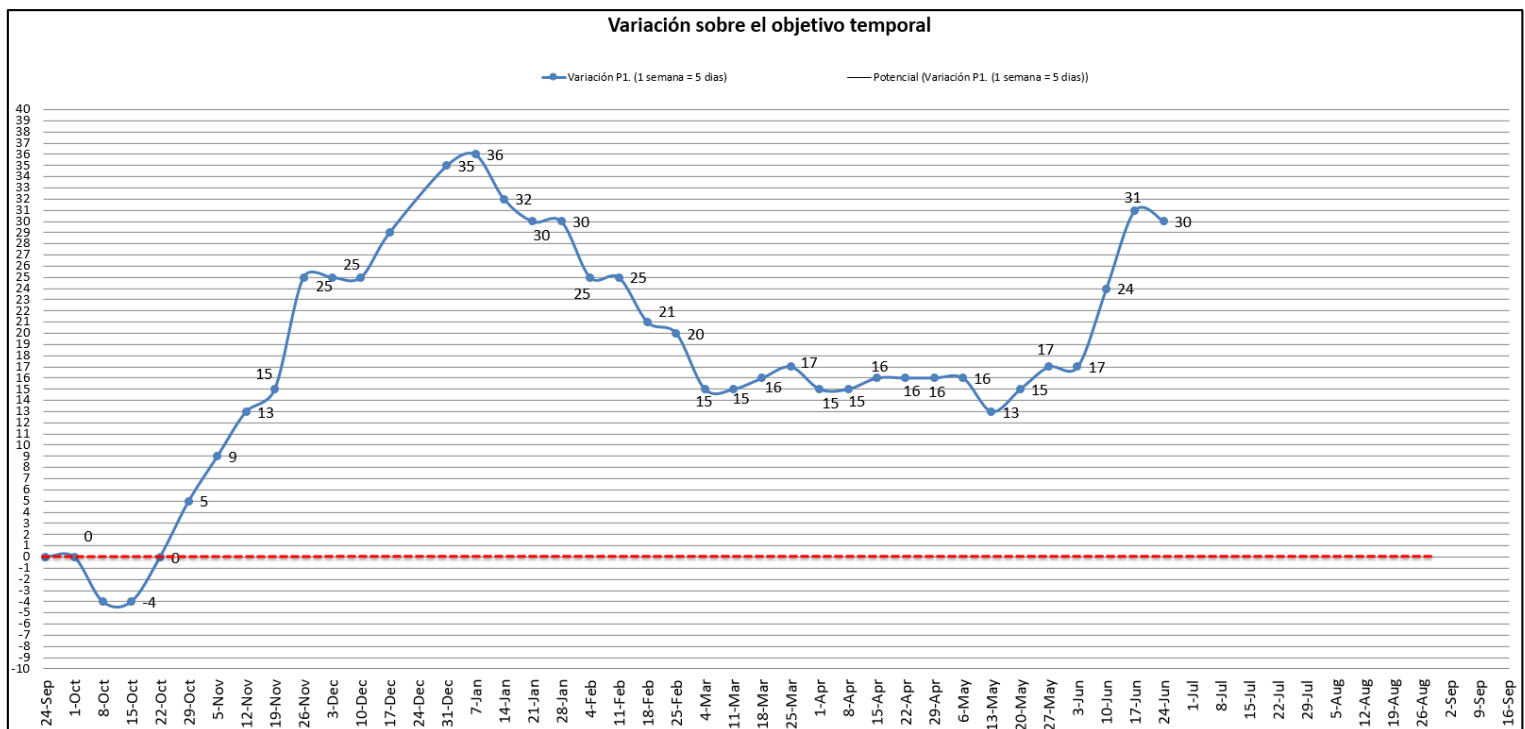


Fig. 25: Diagrama Lineal, Variación sobre el objetivo temporal del Proyecto 1.

5.4 Resultados y Discusiones

Con los datos recopilados anteriormente se procedió a analizarlos, para lo cual, se utilizó el software SPSS, el mismo que permitió realizar gráficos y análisis estadísticos útiles para este estudio.

5.4.1 Porcentaje de plan completado (PPC)

Los gráficos más indicados que se encontraron para analizar el comportamiento del PPC durante el desarrollo del Proyecto 1 fueron: un Histograma de Frecuencias y un Diagrama Lineal. El primero se lo realizó a partir de clasificar los PPC de acuerdo a rangos de porcentajes, tal y como se muestra en la *Tabla 9*, de manera de poder cuantificar cuantas semanas se tuvo ciertos valores de PPC y así ordenarlos para un análisis adecuado. El segundo gráfico se lo realizó con el objetivo de exponer el desarrollo del PPC semana tras semana, tal como se muestra en la *Fig. 27*, de manera de realizar un análisis a fondo del mismo.

PPC (Agrupado)			
Rango	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
<= 36	3	5.5	5.5
37 - 47	5	9.1	14.5
48 - 58	4	7.3	21.8
59 - 68	11	20	41.8
69 - 79	12	21.8	63.6
80 - 90	7	12.7	76.4
91 +	13	23.6	100
Total	55	100	

Tabla 9: Frecuencias del PPC en el desarrollo del Proyecto 1.

En la teoría se expresa que, un indicador del adecuado funcionamiento de una obra es cuando en la implementación de LPS se logran valores de PPC superiores al 75%. Como se puede observar en la *Tabla 9*, se obtuvieron valores de PPC mayores al 91% en 13 de las 55 semanas de duración de la obra, lo cual significa una excelente eficiencia del sistema en el 24% del total de la obra. Esto evidenció un gran cumplimiento de los compromisos por parte de los actores del proyecto.

El segundo rango de PPC de mayor frecuencia durante el desarrollo de la obra fue entre 69-79%, ver *Fig. 26*. Lo cual, si bien algunos valores están por debajo del indicador óptimo del 75%, representó un eficiente funcionamiento del sistema, ya que se lo obtuvo en 12 de las 55 semanas de duración del proyecto. Esto, junto con los porcentajes obtenidos en los rangos de 91%+ y de 80-90% (7 semanas), mostró que la obra tuvo un flujo de trabajo muy elevado en el 58% del total de la misma. Significando así, que en más de la mitad del tiempo de duración del proyecto, este se desarrolló con altos niveles de eficiencia, compromiso y organización por parte de los actores y operarios del mismo.

Además, en la **Fig. 26**, se pudo mirar que en 15 semanas el PPC estuvo dentro del rango de 48-68%, estando mayormente cerca del valor más alto del mismo. Lo cual, si bien no entra dentro de lo óptimo, si se puede considerar como aceptable desde el punto de vista de la eficiencia. Esto debido a que, al ser una obra residencial y contar con gran variabilidad de operarios y subcontratistas, es muy probable que los valores del PPC tiendan a estos niveles en este tipo de obras.

Finalmente, también se evidenciaron valores muy críticos y alarmantes del PPC inferiores al 47% en 8 semanas, tal como se muestra en la **Fig. 26**, significando un porcentaje del 14.5% del total de la obra. Esto, si bien no resultó ser determinante en el desarrollo del el proyecto, si es importante tomarlo en cuenta, ya que en futuras implementaciones se deberán corregir atacando a las CNC que desencadenaron en estos valores de PPC. Hay que acotar que, según la entrevista con el Jefe de Obra, estos valores procedieron de semanas en las que se sentían muy optimistas. Según él, al haber tenido un desenvolvimiento bastante alto en algunas semanas, pusieron objetivos muy elevados en otras, resultando en esta clara disminución de la eficiencia del sistema.

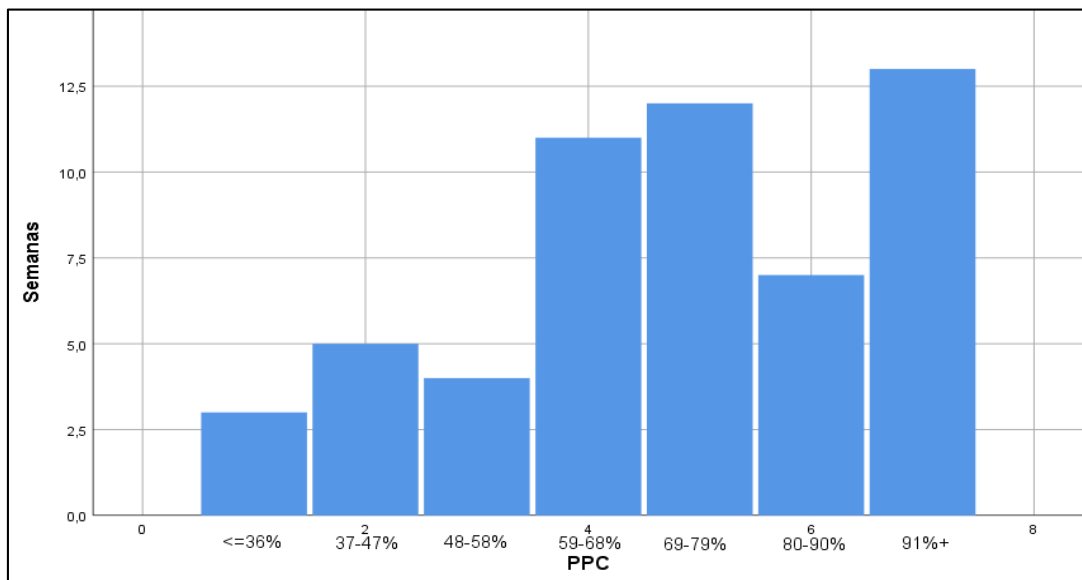


Fig. 26: Histograma de Frecuencias, PPC en el desarrollo del Proyecto 1.

En la **Fig. 27** se observó que, a pesar que el proyecto se mantuvo en valores muy elevados del PPC, demostrando así gran eficiencia del sistema, la obra en sí no tuvo una estabilidad en el flujo de trabajo. Esto debido a que se evidenció muchísimas variaciones del comportamiento del PPC y gran cantidad de picos altos y bajos del mismo, lo cual no es para nada óptimo desde ningún punto de vista de aplicación del sistema. Dado que el mismo, entre uno de sus grandes objetivos, pretende estabilizar el flujo de trabajo al máximo posible, aunque no se alcancen valores tan elevados del PPC, cosa que en este proyecto no se logró. Si bien esto se puede intentar justificar con la explicación obtenida por el Jefe de Obra, mencionada anteriormente, no es un motivo aceptable que excuse este desarrollo de la obra. Se debieron tomar las medidas adecuadas durante el inicio de la implementación, al ver que el flujo era demasiado inestable, y corregirlo de manera que el mismo se estabilice, aunque se tuviera que renunciar en algunos casos a valores muy altos del PPC. Estos valores altos no sirven de mucho si el flujo de trabajo posee tanta incertidumbre.

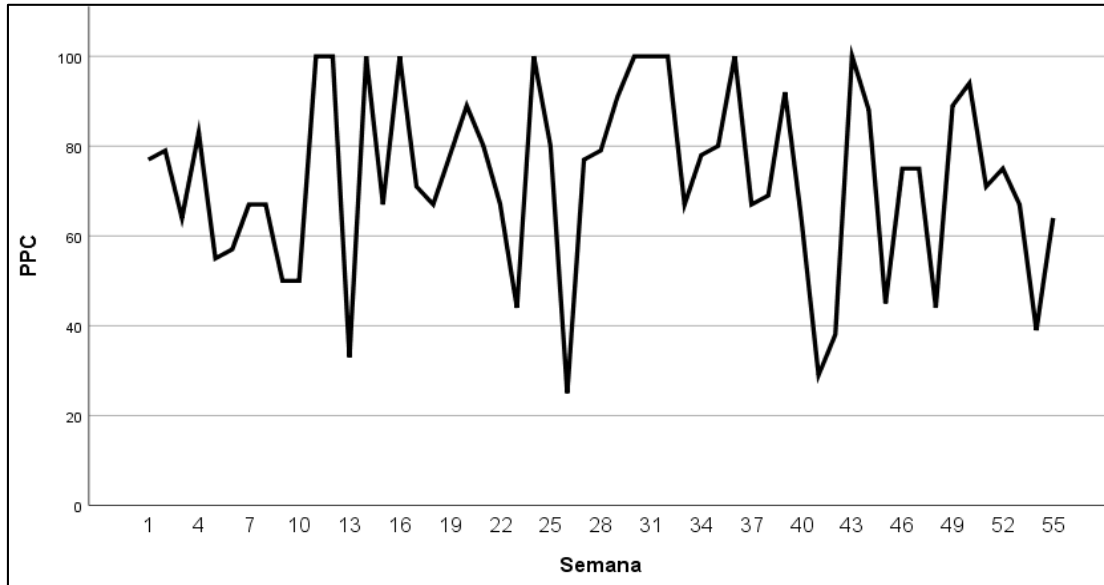


Fig. 27: Diagrama Lineal, Evolución del PPC en Proyecto 1

5.4.2 Causas de No Cumplimiento (CNC)

El gráfico que aportó mayores datos de interés para analizar las CNC fue el Diagrama de Pareto, el cual se muestra en la **Fig. 28**. Este diagrama permitió: asignar un orden de prioridades en las CNC, representar el principio de Pareto (pocos elementos relevantes, muchos elementos poco significativos) e identificar los temas que deben atacarse para mejorar el funcionamiento del sistema.

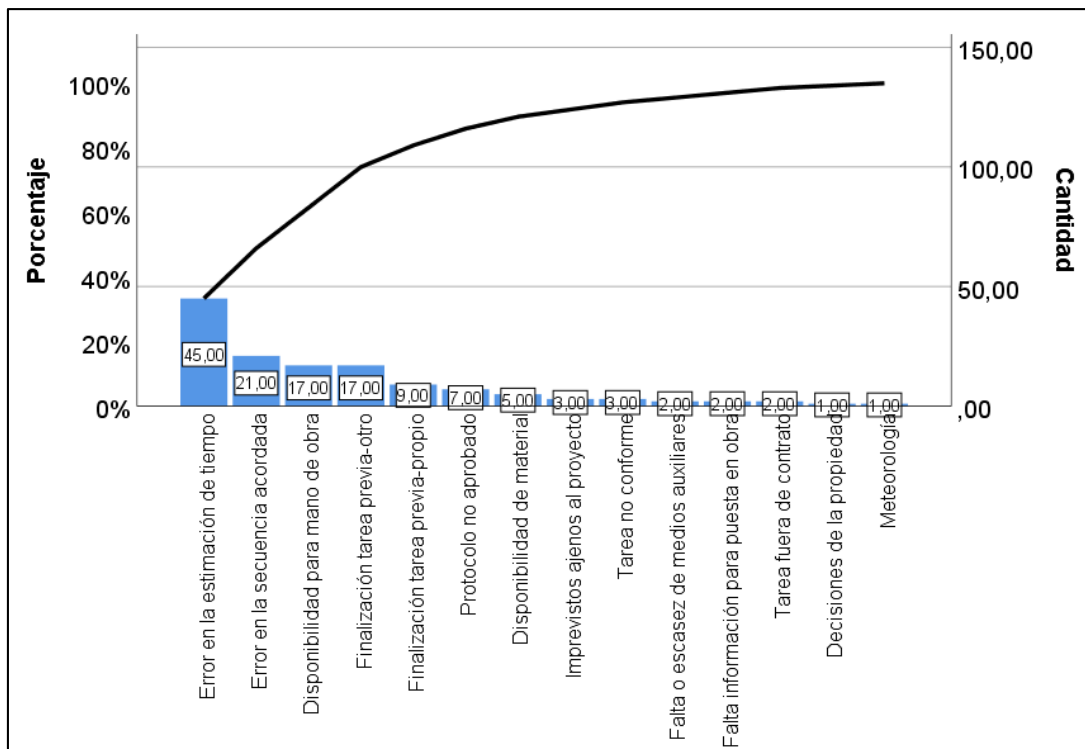


Fig. 28: Diagrama de Pareto, CNC en Proyecto 1

En la **Fig. 28** se apreciaron 14 CNC, ordenadas de forma descendente de acuerdo al n3mero de ocurrencias de las mismas, obtenidas durante el desarrollo del proyecto. Con esto se pudo observar que el 80% de todas las CNC las comprendieron: errores en la estimaci3n de tiempo, errores en la secuencia acordada, disponibilidad para mano de obra y finalizaci3n de tarea previa por otros agentes. Esto nos dej3 3nicamente 4 CNC que fueron muy relevantes y cr3ticas, y 10 CNC cuya influencia en el total de la obra no result3 significativa. Este gr3fico al compararlo con lo dicho por parte del Jefe de Obra, qu3n expres3 que las principales CNC que 3l percibi3 eran acerca de: falla de equipos, falta de personal cualificado y disponibilidad de mano de obra; nos dej3 ver que en realidad dos de las causas por 3l expresadas no se encontraron tipificadas en las CNC del proyecto. Por esto, se procedi3 a intuir que estas causas pertenec3an a la finalizaci3n de tareas previas por otros agentes y a errores en la estimaci3n del tiempo, ya que como 3l nos explic3, cuando surg3an problemas no tipificados se sol3an destinar a estos dos grupos de causas.

De las 4 CNC relevantes result3 que, errores en la estimaci3n del tiempo, tuvo una frecuencia m3s de dos veces mayor al resto de causas, siendo por lejos la causa que deber3a solucionarse por todos los medios para futuras implementaciones. Las razones para que se haya dado con tanta repetitividad esta causa pudieron ser: debido a no tener una capacitaci3n muy grande acerca de LPS, los encargados de la planificaci3n fueron muy optimistas en las proyecciones de plazos de actividades, los subcontratistas no se implicaron convenientemente con el sistema y se salieron de los plazos establecidos, o debido a que los operarios, en su af3n de cumplir con las metas semanales fijadas, se precipitaron en el cometimiento de sus actividades. Esta 3ltima suele generar que se dejen de lado cierto factores en la obra como: calidad, confort y seguridad; produciendo que actividades siguientes no puedan realizarse, teniendo as3 un error en la estimaci3n del tiempo determinado.

Las otras 3 CNC relevantes tuvieron frecuencias muy similares. La primera pudo ser causada por descuidos en las reuniones semanales y en el cronograma de planificaci3n pactado, realizando actividades que no correspond3an o en un orden no establecido. La segunda pudo deberse a que, al no poseer la empresa mano de obra propia, sino toda a cargo de subcontratos, la misma no fue posible conseguirla en los momentos requeridos. Finalmente, la tercera pudo darse debido a que en toda obra siempre se necesitan de agentes externos, como por ejemplo: de la agencia que tramita los permisos de construcci3n a lo largo del desarrollo del proyecto o de seguridad en la obra, o de subcontratistas que alquilan los equipos y maquinarias necesarias para llevarla a cabo; con lo cual es com3n que en este tipo de casos se produzca esta causa.

Finalmente, las 10 CNC restantes al tener frecuencias muy bajas no se abordaron cada una por separado, ni se tomaron muy en cuenta para determinar conclusiones relevantes en cuanto al funcionamiento que tuvo el proyecto. Sin embargo, su explicaci3n ser3a que, en toda obra no siempre los procesos pueden ser planificados con 100% de exactitud, por lo tanto es razonable que existan contratiempos y problemas, siendo los mismos reflejados en estas causas.

5.4.3 Variación sobre el objetivo temporal de la obra

El gráfico que aportó mayores datos de interés para analizar la variación sobre el objetivo temporal de la obra fue un Diagrama Lineal, el cual se muestra en la *Fig. 29*. Este diagrama permitió visualizar los días de retraso que se tuvo en el Proyecto 1, durante la evolución de la obra semana a semana, en la Fase 1 y Fase 2. No se encontró información registrada por la empresa referente a la Fase 3.

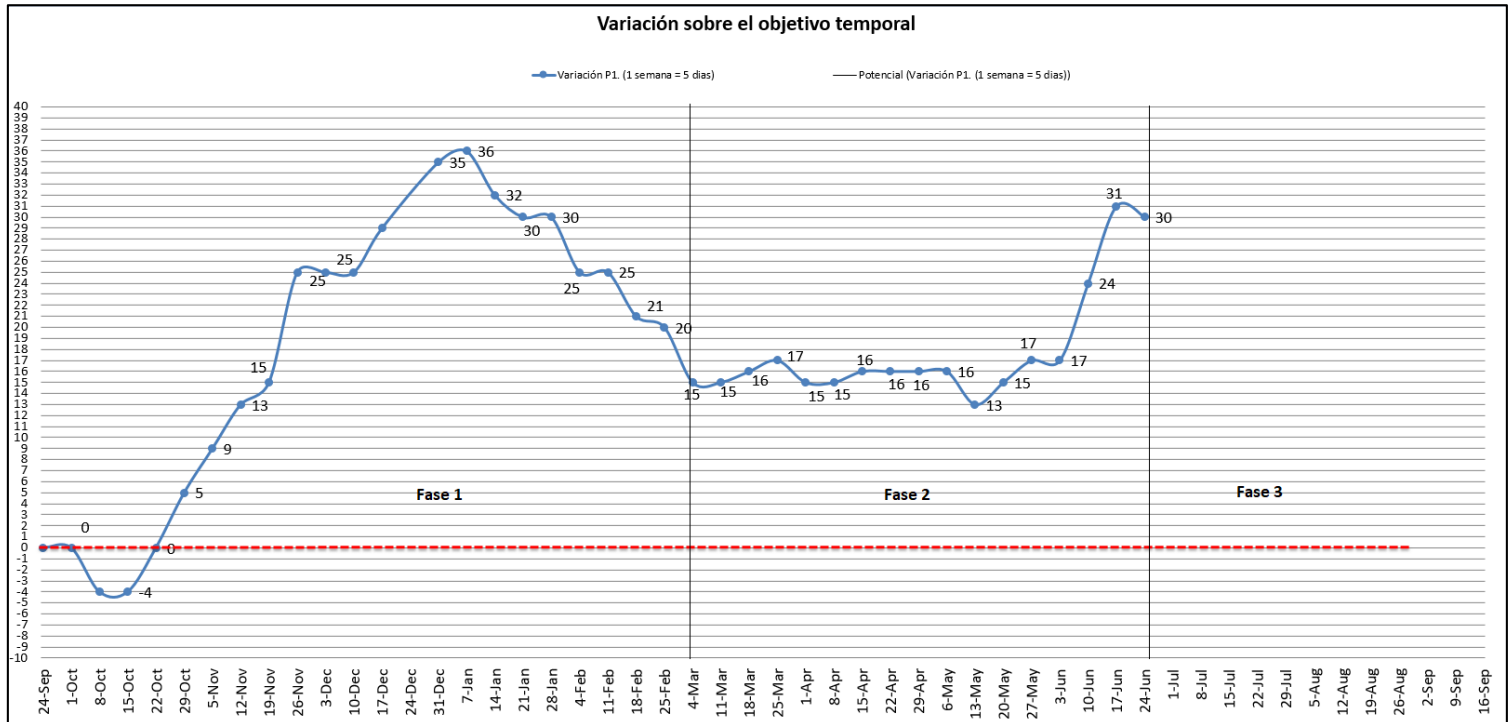


Fig. 29: Diagrama Lineal, Variación sobre el objetivo temporal del Proyecto 1.

En la *Fig. 29*, se vio claramente que los mayores retrasos se produjeron en la Fase 1 del proyecto, la cual comprendía la demolición de la estructura antigua y la construcción de la estructura nueva. Es muy común que en este tipo de obras la mayor parte de los atrasos resulten en esta fase. La causa es que, al ser una obra hecha de Hormigón, se depende mucho en esta fase del abastecimiento del material por parte de las plantas de hormigonado. Esto provoca que exista una dependencia y descoordinación en cuanto a las fechas de suministro, reflejándose en días de retraso en la obra.

En la Fase 2, de impermeabilización de la estructura, realización de la fachada, disposición de las instalaciones y realización de las divisiones interiores, se notó una disminución significativa de los días de retraso y una homogenización en el tiempo. Solamente, hacia el término de esta etapa, se registraron nuevamente valores altos de retraso, lo cual se puede deber a un cambio brusco de la mano de obra y de los subcontratistas participantes en estas nuevas actividades. El LPS tiene un periodo de automatización de procesos por parte de los participantes del proyecto, por lo cuál, si se producen cambios bruscos del personal, se tienden a producir retrasos hasta que los nuevos operarios interioricen el sistema de trabajo.

No se tuvieron datos de la Fase 3, de realización de los revestimientos de la obra, equipamiento interior, acabados y urbanización del proyecto. Sin embargo, se intuyó que estos días de retraso debieron disminuir, ya que es la etapa más sencilla en cuanto a procesos constructivos y planificación de obra.

Finalmente, hay que decir que estos retrasos producidos en la obra no significan que la aplicación de LPS no haya sido eficiente. Esto tiene su razón en que, al no contar con datos de variación sobre el objetivo temporal en proyectos similares realizados por la empresa, no se pudo establecer una comparación entre estos datos. Sin embargo, de acuerdo a los otros factores de rendimiento antes analizados, se intuye que el sistema si debió producir una gran mejora en esta variación temporal del proyecto, en comparación a si se hubiese gestionado de la forma tradicional.

6. Comparación del caso de estudio con el estado del arte

A continuación, se realizó un análisis comparativo del caso de estudio particular realizado en Barcelona, con los casos de estudio existentes en obras Residenciales recopilados a nivel mundial y luego únicamente con la obra recopilada en España. Esto se hizo para establecer puntos positivos y negativos de la aplicación del sistema en el Proyecto 1. Así se logró entender si los valores obtenidos en este caso particular tuvieron correspondencia con lo realizado a nivel mundial y nacional, los inconvenientes que se suscitaron y las mejoras que se deberían realizar en futuras implementaciones.

6.1 Porcentaje de Plan Completado (PPC)

El gráfico más indicado que se encontró para analizar y comparar el comportamiento del PPC, durante el desarrollo del Proyecto 1 con respecto a los datos de los artículos recopilados en obras de tipo Residencial, fue un Diagrama de cajas. Este reflejó el comportamiento del PPC durante el transcurso de las obras. Para la comparativa entre el Proyecto 1 y el artículo recopilado en España, se realizó un Gráfico Lineal, en el cuál se observó la evolución y tendencia de los datos en ambos proyectos. Ya que en el Proyecto 1 se tuvieron datos semanales, se realizó un promedio de los datos dividiéndoles por etapas del proyecto para un 10,20,30,40,50,60,70,80,90,100% de avance de obra. Así se logró tener datos de igual medida que los obtenidos para los casos de estudio recopilados, de forma que pudieron ser relacionables y comparables. En las *Fig. 30* y *Fig. 31* se presentan estos gráficos junto con los datos del PPC del Proyecto 1 mostrados en la *Tabla 10*, y se procedió al análisis de los mismos.

PPC Proyecto 1	
10%	72
20%	65
30%	80
40%	75
50%	65
60%	90
70%	79
80%	68
90%	66
100%	73

Tabla 10: Evolución PPC en Proyecto 1.

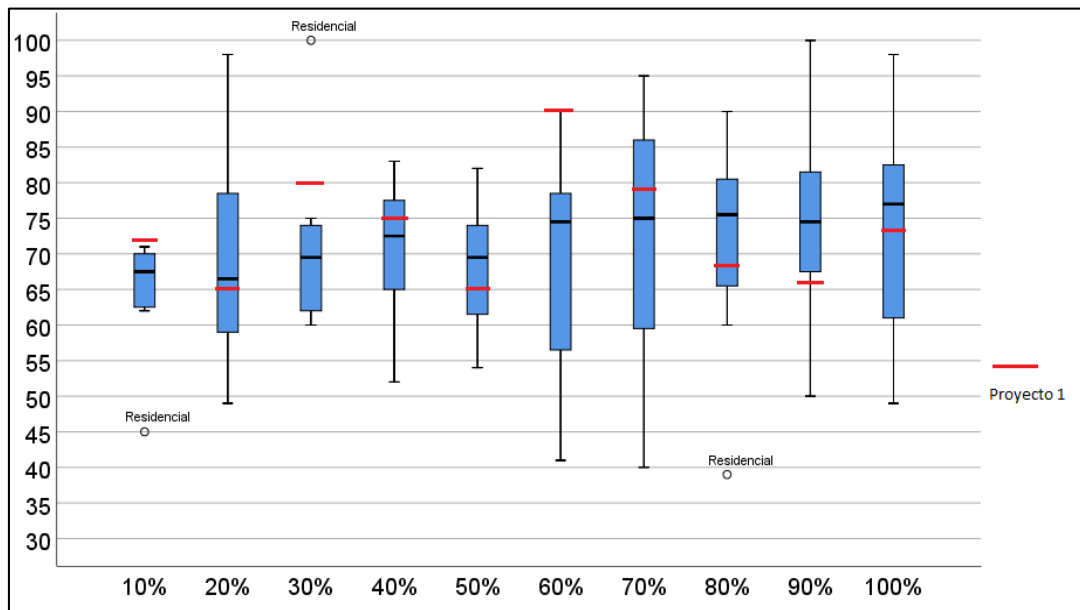


Fig. 30: Diagrama de Cajas, Comportamiento del PPC en Proyectos Residenciales recopilados y en el Proyecto 1

Como se vio en la Fig. 30, los valores de PPC del Proyecto 1 tuvieron una evolución muy similar a los datos recopilados de proyectos Residenciales, con un rango de valores que oscilaron la mayoría entre el 60-80% aproximadamente. Se observó que los datos de casi todas las fases de avance de obra se correspondieron con la distribución normal obtenida en Obras Residenciales. Se presentaron diferencias únicamente en cuatro etapas, de las cuáles solo dos variaron muy notablemente de la distribución, con valores muy altos en el 30 y 60% de avance, considerándolos como sucesos atípicos. Dicho esto, se apreció que, a pesar de que en Barcelona no existen muchos proyectos que han impulsado el LPS, en esta obra la implementación del sistema sí tuvo gran relación con lo realizado a nivel mundial. Esto permitió visualizar, que la manera de utilización del sistema fue eficiente y congruente con la bibliografía recopilada.

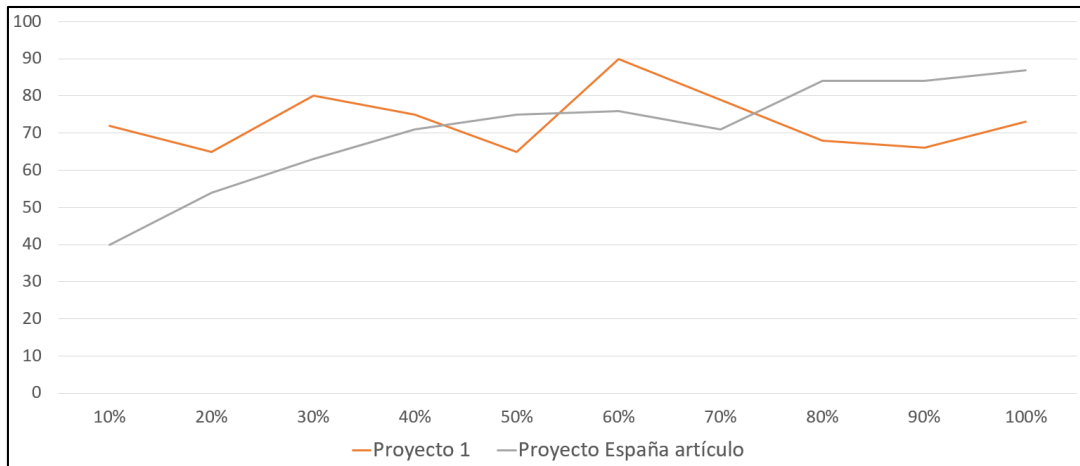


Fig. 31: Gráfico Lineal, Comparación de evolución de PPC entre Proyecto 1 y proyecto recopilado en España.

Con la **Fig. 31**, se pudo ver que, la evolución y tendencia de los PPC entre el Proyecto 1 y el proyecto del artículo recopilado de España, fueron muy diferentes en el inicio de las obras. El primero empezó con un valor por encima del 70%, mientras que el segundo apenas alcanzó el 40%. Esto se debió a que el proyecto recopilado de España fue de tipología Industrial, y como se mencionó en el análisis de esta tipología, es difícil tener un conocimiento claro y conciso acerca de la implementación de LPS, para realizar una óptima planificación inicial y automatizar procesos de entrada. Esto tiene su razón en la variabilidad e incertidumbres que presentan este tipo de estructuras, con lo cual, resultó entendible la marcada diferencia entre estos dos proyectos. Conforme avanzó la obra, las tendencias entre ambos proyectos se asemejaron más, debido a la optimización continua de la planificación que se produce en los proyectos industriales. Al final de la obra, se vio claramente que la tendencia del proyecto industrial fue superior al residencial. Esto significó, que las obras industriales tienen una mejor proyección en el tiempo que las residenciales, a pesar de que las segundas presenten una distribución más homogénea de resultados.

6.2 Causas de No Cumplimiento (CNC):

Debido a que el Proyecto 1 tuvo CNC particulares para esta obra, se realizó una clasificación de las mismas, en las 11 CNC determinadas en el análisis previo de los artículos recopilados. De esta manera, los datos pudieron ser comparables y su clasificación se presenta en la **Tabla 11**.

CNC del Proyecto 1	CNC Generales
Tarea fuera de contrato	Cambios en el proyecto
Protocolo no aprobado	Prerrequisitos no completados
Finalización tarea previa-otro	Retrasos de terceros
Finalización tarea previa-propio	Prerrequisitos no completados
Falta información para puesta en obra	Falta de recursos
Disponibilidad para mano de obra	Falta de recursos
Disponibilidad de material	Abastecimiento de materiales
Falta o escasez de medios auxiliares	Falta de recursos
Tarea no conforme	Reprocesos
Error en la secuencia acordada	Mala planeacion
Error en la estimación de tiempo	Mala planeacion
Imprevistos ajenos al proyecto	Cambios en el Proyecto
Meteorología	Malclima
Decisiones de la propiedad	Cambios en el proyecto

Tabla 11: Clasificación de CNC del Proyecto 1 en CNC generales.

Para analizar y comparar el comportamiento de las CNC durante el desarrollo del Proyecto 1, con respecto a los datos de los artículos recopilados, se realizaron dos Gráficos Circulares y un Diagrama de Pareto. Estos reflejaron las CNC del Proyecto 1 en porcentajes tanto de perteneciente a cada tipo de causa, como de ocurrencia en el proyecto.

El primer Gráfico Circular, mostrado en la Fig. 32, se relacionó con un Histograma acumulado y un Diagrama de Pareto. Estos últimos se obtuvieron para los casos de estudio recopilados de proyectos Residenciales y son presentados en las Fig. 33 y Fig. 34 respectivamente.

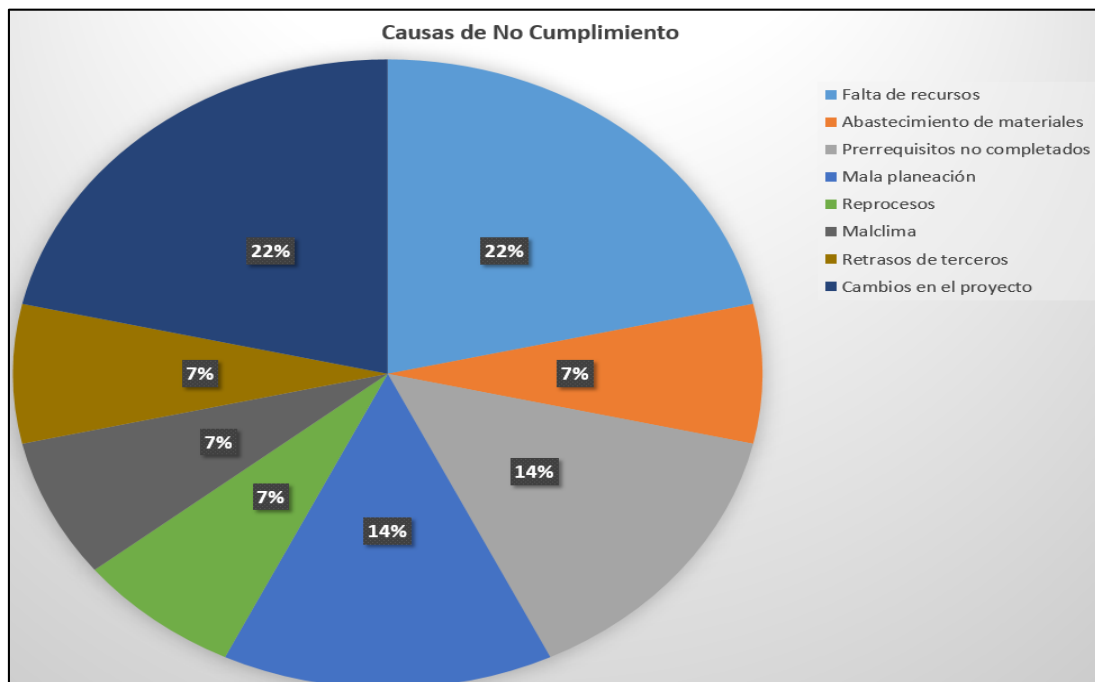


Fig. 32: Gráfico Circular, CNC obtenidas del Proyecto 1 en porcentajes de pertenencia.

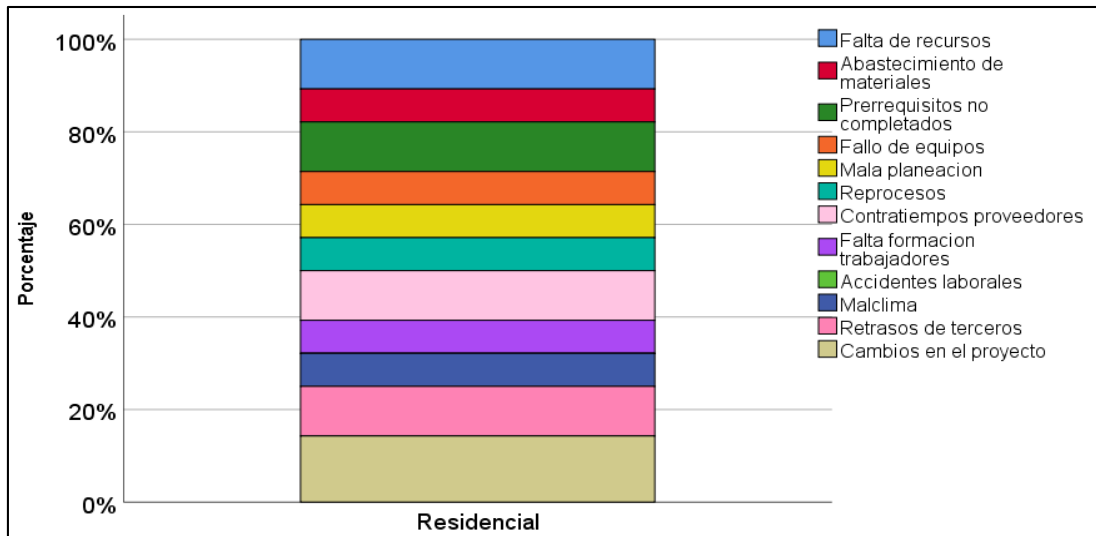


Fig. 33: Histograma acumulado, CNC de artículos recopilados en proyectos Residenciales.

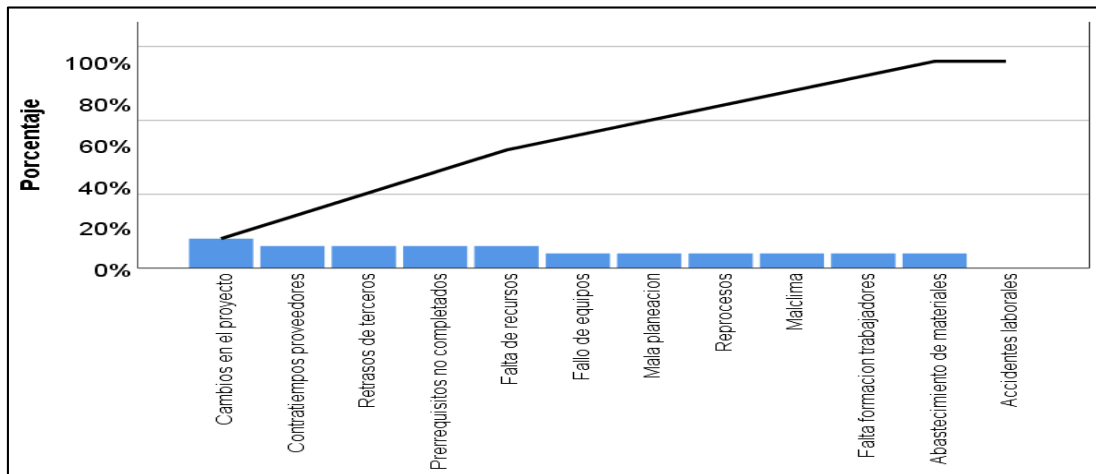


Fig. 34: Diagrama de Pareto, CNC de artículos recopilados en proyectos Residenciales.

Al visualizar las Fig. 32, Fig. 33 y Fig. 34, se notó que, si bien el Proyecto 1 es una obra de tipo residencial, no se encontraron CNC debidas a contratiempos con proveedores ni a falta de formación de los trabajadores. Sin embargo, estas causas si se presentaron en el cúmulo de los casos de estudio recopilados para esta tipología de obra. Esto significó, que los actores del Proyecto 1, supieron manejar muy bien estos apartados anticipándose adecuadamente a los problemas, hasta conseguir suprimir estos incumplimientos. Hay que decir, que tampoco se presentó en la gráfica CNC debidas a fallo de equipos, pero se intuyó en la sección 5.4.2, que fueron destinadas a retrasos de terceros en el Proyecto 1. Esto se hizo de acuerdo con la entrevista al Jefe de Obra, de ahí que no se visualicen directamente, al no conocer su frecuencia.

Las CNC más recurrentes en el Proyecto 1 fueron del tipo de cambios en el proyecto y falta de recursos, con un 22% de ocurrencia para ambas. Lo cual, se encontró por encima de los porcentajes obtenidos en los casos de estudio recopilados en obras Residenciales, en donde se observaron valores alrededor del 17 y 14% respectivamente. Esto demostró, que estas CNC son frecuentes en este tipo de obras y lo fueron mucho más en el Proyecto 1, en el cual, si bien se suprimieron problemas debidos a otras CNC, se tuvo mayores problemas en la gestión de este tipo de causas.

Para combatir la primera causa es necesario trabajar de forma conjunta con el cliente y con el dise1ador del proyecto. De esta manera, se podr3an anticipar futuros cambios por preferencia del cliente, y alertar en fases tempranas de posibles problemas en la fase constructiva que requieran modificaciones de dise1o.

Para la segunda causa se podr3a: gestionar de manera m3s inteligente los recursos disponibles y ser m3s precisos en la cantidad de estos a necesitarse en la obra durante la planificaci3n inicial. Mejorando la primera situaci3n, se ocupar3an los m3nimos recursos necesarios para cada actividad, reduciendo as3 los desperdicios. La segunda situaci3n deber3a llevarse a las situaciones m3s cr3ticas posibles, de forma que nunca llegue a existir escasez de recursos.

Las siguientes causas de mayor ocurrencia en el Proyecto 1 fueron las del tipo de prerrequisitos no completados y mala planeaci3n, con un valor del 14% para ambas. Esto, para la primera causa, tuvo igual correspondencia con el valor del 14% obtenido de los casos de estudio en obras Residenciales. Sin embargo, la segunda causa result3 muy elevada, ya que en los casos de estudio este porcentaje estuvo alrededor del 9%. Pudo deberse, a que la clasificaci3n de este tipo de fallas suelen ser equivocadas en cuanto a su procedencia, en el momento de la identificaci3n de las mismas. Se tienden a confundir errores del tipo de mala planeaci3n con errores debidos a cambios del proyecto, explicando as3 la existencia de esta variaci3n porcentual. Un ejemplo de esto podr3a ser, la confusi3n entre errores debido a retrasos en la ejecuci3n de la obra con errores debido a un mal c3lculo de los plazos del proyecto, o como tantos otros que podr3an ocurrir y tienden a ser clasificados err3neamente.

Finalmente, las CNC restantes encontradas en el Proyecto 1, como fueron: mal clima, reprocesos, abastecimiento de materiales y retrasos de terceros, tuvieron una ocurrencia 3nicamente del 7% en esta obra. Esto, tuvo una relaci3n directa con los datos obtenidos en obras Residenciales en los casos de estudio recopilados, en donde estos porcentajes fueron igualmente del 7%, deb3ndose los mismos a factores propios de cada obra.

Con todos los resultados obtenidos, se concluy3 que existe una gran semejanza y correspondencia del comportamiento que tuvo este proyecto particular en Barcelona con los casos de estudio de obras Residenciales en el mundo. Esto nos indic3 que, a pesar de que la implementaci3n en esta zona es bastante nueva en comparaci3n a otros lugares, el proceso y metodolog3a de implementaci3n utilizada sigui3 los conceptos planteados por los te3ricos. Esto se consigue, realizando un an3lisis de los errores y aciertos m3s frecuentes obtenidos en el mundo, para ponerlos en pr3ctica en el proyecto. Hay que decir que, si bien los resultados fueron prometedores, a3n existen muchas modificaciones y mejoras a realizar. En la fase de planeaci3n se podr3a: mejorar el c3lculo de plazos, el inventario de tareas a realizar y el manejo de restricciones. En la fase de puesta en obra se podr3a: controlar mejor a los subcontratistas existentes, y llevar un mejor registro e inspecci3n en cuanto al accionar de los operarios, en tiempo y calidad de resoluci3n de la obra.

El segundo Gr3fico Circular, mostrado en la *Fig. 35*, y el Diagrama de Pareto, mostrado en la *Fig. 36*, se analizaron a partir del primer Gr3fico Circular, en la *Fig. 32*.

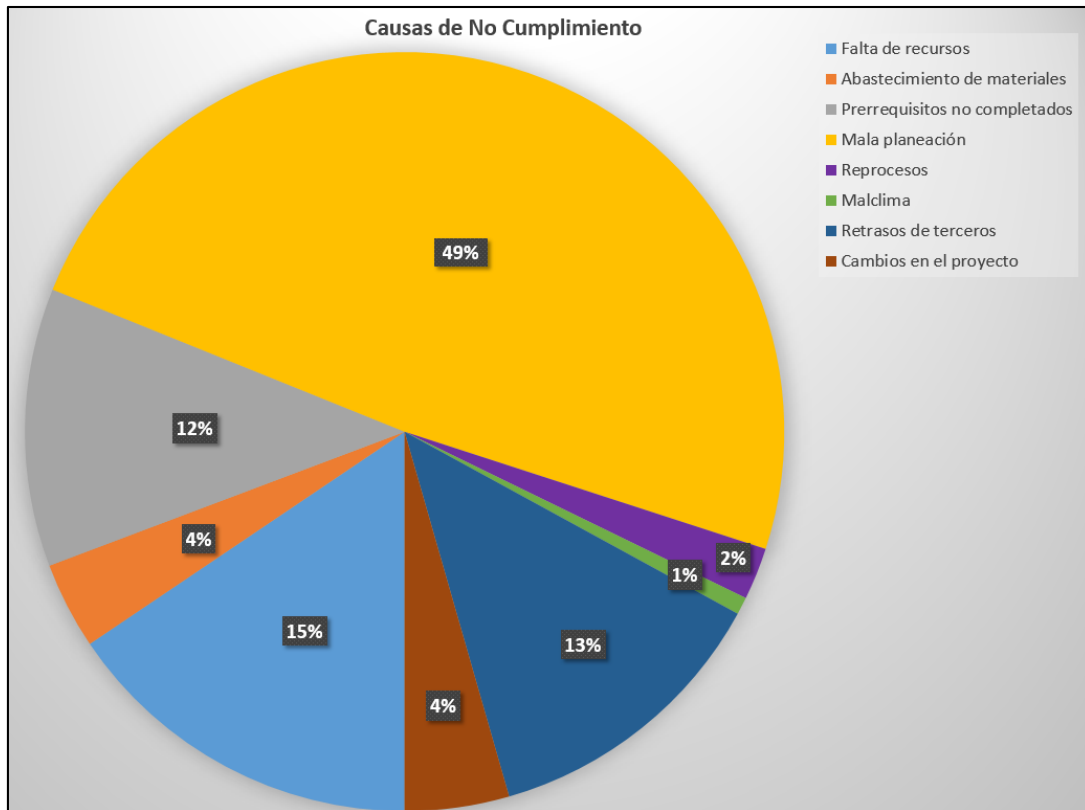


Fig. 35: Gráfico Circular, CNC obtenidas del Proyecto 1 en porcentajes de ocurrencia.

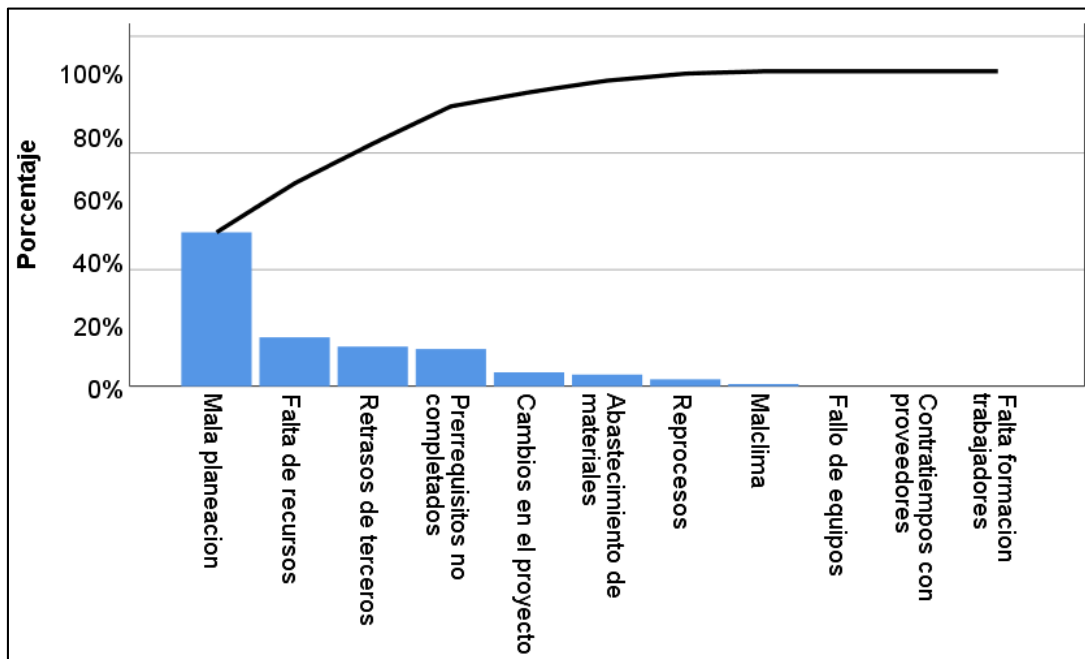


Fig. 36: Diagrama de Pareto, CNC obtenidas del Proyecto 1 en porcentajes de ocurrencia.

Si bien, la distribución de CNC debidas a la mala planeación fue de un 14% en cuanto a problemas provenientes de ese tipo, resultó interesante observar que, debido a estas causas, en el Proyecto 1, la ocurrencia de errores rozó el 50%. Es decir, esta CNC fue la principal responsable de problemas durante el desarrollo del proyecto. Si bien esta causa representó un grave problema, se debió a que el Jefe de Obra no tenía ninguna experiencia previa en cuanto a la implementación de este sistema, siendo esta su prueba piloto. Sin

embargo, esto es perfectamente manejable y corregible. Se deberá seguir implementando el sistema en obras siguientes y así el Jefe de obra se nutrirá de experiencia en la: planificación y control de los tiempos, gestión y acuerdos con los subcontratistas, y administración de recursos del proyecto.

Las otras tres CNC de mayor ocurrencia fueron provenientes de falta de recursos, retrasos de terceros y prerrequisitos no completados, alcanzando valores de 15, 13 y 12% respectivamente. La primera y tercera causa se deben a: una mala gestión de los insumos o mano de obra, una deficiente asignación de actividades y control de los operarios, una falta de cumplimiento de compromisos y a un lento avance de obra. Esto se podría mejorar, realizando reuniones diarias entre el Encargado de Obra y los operarios, e implementando incentivos en caso de cumplir adecuadamente con las actividades, tanto en tiempo como en calidad. Así se tendrá un mayor control del avance de obra y de los problemas suscitados. Hay que decir que este sistema de reuniones diarias si está contemplado en LPS, pero en esta obra no ha sido ejecutado, según se pudo saber a través de las entrevistas realizadas. La segunda causa es de responsabilidad ajena al gestor del proyecto. Por esto, solo se aconseja, tramitar de manera más temprana permisos y tiempos de entrega con organismos externos.

El resto de CNC ocurridas en el Proyecto 1, no mostraron mucha significancia en el desarrollo del mismo, ya que no alcanzaron valores ni del 5%. Dicho lo cual, se asumieron como esperables, ya que en toda obra de construcción es imposible planificar perfectamente todos los procesos. Esto se debe a que es un sector muy variable y con gran incertidumbre en su producción.

7. Discusión de resultados y Conclusiones

Los resultados del PPC obtenidos por tipología de obra en los artículos recopilados, permitieron concluir que la implementación del LPS es viable para cualquier tipo. Esto debido a que sus valores reflejaron un funcionamiento aceptable del sistema. Sin embargo, es necesario realizar mejoras en su implementación como: automatizar en la medida de lo posible los procesos constructivos con los actores del proyecto y los operarios, trabajar con mano de obra que se mantenga estable en el tiempo y no hayan variaciones drásticas de personal, y tener subcontratistas de confianza que se mantengan en diferentes proyectos de implementación de LPS, de manera de ganar en conocimientos y experiencia. Hay que decir que, clasificar los casos de estudio recopilados por tipología de obra en el análisis de la implementación del sistema, si resultó conveniente. Permitted observar los diferentes comportamientos que tuvo el LPS, de acuerdo a la secuencia y la finalidad constructiva de las obras.

Los resultados del análisis del PPC por continente en los artículos recopilados, reflejaron amplias diferencias en cuanto a: dispersión de datos, desempeño del sistema y unificación de conocimientos entre uno y otro sitio. Esto demostró, que el sistema es propenso a sufrir gran variabilidad dependiendo a las características propias de cada lugar como: las normas constructivas, el manejo del personal, las leyes de trabajo, el sistema de subcontratos, el acceso a la información y la posibilidad de formación a los operarios.

De acuerdo a los resultados de la correlación de Pearson, entre la duración y los valores de PPC en las obras de los artículos recopilados, se concluyó que, no es posible encontrar un patrón de conducta que relacione el tiempo de duración de una obra con los PPC alcanzados. Los mismos dependerán de: el tipo de obra, el grado de conocimiento y experiencia en la implementación del sistema por parte de los actores del proyecto y los operarios, y del lugar en donde se lo realice.

Los resultados de la correlación de Pearson, entre los PPC en las distintas etapas de avance de obra en los artículos recopilados, demostraron que, si existe una relación de significancia entre los valores de PPC obtenidos durante todas estas, a excepción de la fase inicial con la final. Cabe decir que, mientras más cerca se está del término de la obra, los valores alcanzados del PPC guardan una relación más fuerte con los valores a obtenerse al final de esta.

En cuanto a las principales CNC en los artículos recopilados, estas tuvieron una distribución muy parecida en obras Residenciales y de Edificaciones Terciarias, debido a su similar planificación y proceso constructivo. Estas fueron las obras con más CNC, debido a que: existen variaciones muy marcadas entre las fases constructivas y los actores intervinientes cambian de manera frecuente. Así, se complica la repetición y estandarización de los procesos, y la capacitación del personal. En las obras Industriales se observó que no existen CNC que tengan que ver con una mala planeación de obra o existencia de falta de recursos. Se concluyó que, al ser obras en las cuales es posible estandarizar procesos y los mismos se repiten continuamente a lo largo del avance de la obra, realizar una óptima planificación resulta sencillo. De esta manera, es posible anticiparse adecuadamente a los problemas e inconvenientes que se presentarán durante su desarrollo, con lo cual, se prevén de manera eficiente los recursos necesarios y los tiempos exactos en los que se los necesitarán. Finalmente, se apreció que las obras de Infraestructura de Transporte son las que menos tipos de CNC tuvieron durante su desarrollo. Se concluyó que, al ser obras de carácter lineal y con repetición de procesos, resulta sencillo: realizar una buena planificación, evitar contratiempos con los proveedores y eliminar los reprocesos.

Las CNC deberían ser estandarizadas para todas las obras en las que se implemente LPS. Esto debido a que, al no obedecer a un orden establecido y tener tanta variabilidad de una obra a otra, hace difícil estudiar y profundizar eficientemente las CNC de raíz que tiene cada obra. Con lo cual, no es posible determinar la procedencia real de los problemas, para brindar propuestas de mejora, y que las mismas sean comparadas a futuro, teniendo parámetros fiables de referencia. En esta investigación, se propusieron 11 CNC que parecieron ser las más comunes y las que engloban a todas las encontradas en la recopilación bibliográfica realizada, y se espera que sirvan como una estandarización general.

En cuanto a las Mejoras producidas por LPS en los artículos recopilados a nivel mundial, se concluyó que, estas son similares sin importar el tipo de obra, con la excepción de las de Infraestructura de Transporte, en las que no se registraron reducción de plazos y sobrecostes, ni incremento de productividad.

De acuerdo a los resultados del PPC durante todas las semanas de duración del Proyecto 1, se concluyó que, la obra tuvo un flujo de trabajo muy elevado en el 58% del total de la misma. Esto significó que, en más de la mitad del tiempo de duración del proyecto, este se

desarroll3 con altos niveles de eficiencia, compromiso y organizaci3n por parte de sus actores y operarios. Únicamente se observaron valores cr3ticos en un 14.5% del total de la obra. Esto, si bien no result3 determinante en el desarrollo del proyecto, si es importante tomarlo en cuenta, ya que, en futuras implementaciones se deber3n corregir atacando a las principales CNC obtenidas. Sin embargo, a pesar que el proyecto se mantuvo en valores muy elevados del PPC, la obra en s3 no tuvo una estabilidad en el flujo de trabajo. Se evidenciaron muchas variaciones del comportamiento del PPC y gran cantidad de picos altos y bajos del mismo, lo cual no es 3ptimo desde ning3n punto de vista. Dado que, uno de los grandes objetivos del LPS es estabilizar el flujo de trabajo al m3ximo posible, aunque no se alcancen valores tan elevados del PPC, cosa que en este proyecto no fue satisfactorio.

De acuerdo a los resultados de las principales CNC registradas durante el desarrollo del Proyecto 1, se concluy3 que, el 80% de todas estas se debieron a: errores en la estimaci3n de tiempo, errores en la secuencia acordada, disponibilidad para mano de obra y finalizaci3n de tarea previa por otros agentes. De estas causas, errores en la estimaci3n del tiempo tuvo una frecuencia m3s de dos veces mayor al resto de causas, debi3ndose a: no tener una buena capacitaci3n acerca de LPS, los encargados de la planificaci3n fueron muy optimistas en las proyecciones de plazos de actividades, los subcontratistas no se implicaron convenientemente con el sistema y se salieron de los plazos establecidos, y debido a que los operarios en su af3n de cumplir con las metas semanales fijadas, se precipitaron en el cometimiento de sus actividades. Las otras 3 CNC relevantes tuvieron frecuencias muy similares. La primera pudo ser causada por descuidos en las reuniones semanales y en el cronograma de planificaci3n pactado, realizando actividades que no correspond3an o en un orden no establecido. La segunda pudo deberse a que, al no poseer la empresa mano de obra propia, sino toda a cargo de subcontratos, la misma no fue posible conseguirla en los momentos requeridos. Finalmente, la tercera pudo darse debido a que en toda obra siempre se necesitan de agentes externos, como por ejemplo: de la agencia que tramita los permisos de construcci3n a lo largo del desarrollo del proyecto o de seguridad en la obra, o de subcontratistas que alquilan los equipos y maquinarias necesarias para llevarla a cabo. Hay que decir que las CNC utilizadas en el Proyecto 1 fueron 3tiles, pero ser3n m3s eficientes al eliminar los errores de interpretaci3n, si se adoptaran las 11CNC propuestas en esta investigaci3n.

De acuerdo a los resultados de la variaci3n sobre el objetivo temporal, se concluy3 que, los mayores retrasos se produjeron en la Fase 1 del proyecto, la cual comprend3a la demolici3n de la estructura antigua y la construcci3n de la estructura nueva. La causa es que, al ser una obra hecha de Hormig3n, se depende mucho en esta fase del abastecimiento del material por parte de las plantas de hormigonado. Esto provoca que exista una dependencia y descoordinaci3n en cuanto a las fechas de suministro, reflej3ndose en d3as de retraso en la obra. En la Fase 2, de impermeabilizaci3n de la estructura, realizaci3n de la fachada, disposici3n de las instalaciones y realizaci3n de las divisiones interiores, se not3 una disminuci3n significativa de los d3as de retraso y una homogenizaci3n en el tiempo. Solamente, hacia el t3rmino de esta etapa, se registraron nuevamente valores altos de retraso, lo cual se puede deber a un cambio brusco de la mano de obra y de los subcontratistas participantes en estas nuevas actividades. No se tuvieron datos de la Fase 3, de realizaci3n de los revestimientos de la obra, equipamiento interior, acabados y urbanizaci3n del proyecto. Sin embargo, se intuy3 que estos d3as de retraso debieron disminuir, ya que es la etapa m3s sencilla en cuanto a procesos constructivos y planificaci3n

de obra. Finalmente, hay que decir que estos retrasos producidos en la obra no significan que la aplicación de LPS no haya sido eficiente. Esto tiene su razón en que, al no contar con datos de variación sobre el objetivo temporal en proyectos similares realizados por la empresa, no se pudo establecer una comparación entre estos datos. Sin embargo, de acuerdo a los otros factores de rendimiento antes analizados, se intuye que el sistema si debió producir una gran mejora en esta variación temporal del proyecto, en comparación a si se hubiese gestionado de la forma tradicional.

Las principales ventajas que se concluyeron a partir del análisis de datos y de las entrevistas realizadas en el Proyecto 1 durante la implementación del LPS fueron que:

1. El sistema permitió formar un equipo que está vinculado a la obra, impulsando la colaboración entre todos los actores del proyecto.
2. Se generó una disciplina, es decir, siempre se sabía lo que debía hacerse, permitiendo de esta manera tener un control permanente de la obra.
3. Permitted la detección de problemas e inconvenientes de la obra anticipadamente.
4. Se crearon compromisos entre los responsables y operarios de obra, con lo cual, la planificación resultó ser más fluida y se eliminaron una gran cantidad incertidumbres.

Las barreras que se concluyeron a partir del análisis de datos y de las entrevistas realizadas en el Proyecto 1 durante la implementación del LPS fueron que:

1. Resultó difícil ayudar a descubrir a los principales líderes del proyecto las ventajas que tiene la implementación del mismo, ya que lo primero que pensaron es que su implementación solo representaría un incremento en la carga de trabajo.
2. Los subcontratistas no compraron de todo el sistema, ya que no existe una interiorización del beneficio productivo que el mismo representa en sus trabajos.

El nivel de aceptación y confort de los participantes del Proyecto 1 resultó positivo. Esto debido a que, en general, la gente fue participativa y colaborativa, y no se sintieron presionados en ningún momento, a pesar de ser evaluados con mucha periodicidad en cuanto al cumplimiento de sus actividades.

Como propuestas para futuras implementaciones del sistema por parte de la empresa que desarrolló el Proyecto 1, se podrían realizar mejoras, tanto en la fase de planeación: optimizando el cálculo de plazos, el inventario de tareas a realizar, el manejo de restricciones y la capacitación del personal; así como en la fase de puesta en obra: controlando mejor a los subcontratistas existentes y llevando un mejor registro e inspección en cuanto al accionar de los operarios. Además, se podrían implementar incentivos por parte de la empresa para los operarios en caso de cumplir adecuadamente con sus actividades, tanto en plazo como en calidad. Sería muy importante la realización permanente de reuniones diarias, ya que las mismas ayudarían a: controlar mejor el avance de la obra, el cumplimiento de los compromisos pactados y la liberación de restricciones de actividades; y a su vez aportarían a que exista mejor relación y cohesión entre el equipo de trabajo.

En cuanto a la implementación de LPS en Europa, es necesario impulsar mucho más la utilización del sistema a través de conferencias y charlas. Así, se pondría de manifiesto el notable beneficio productivo que el mismo retribuye a las empresas que lo utilizan para gestionar sus proyectos. Este beneficio se refleja en: brindar una gran rentabilidad económica, facilitar el registro y control del proceso constructivo, anticipar la detección de

problemas, mejorar la productividad por parte de los operarios al sentirse más involucrados con la empresa y fomentar una buena relación profesional e interpersonal por parte de los participantes en la obra.

Finalmente, una conclusión que pudo obtenerse, al participar de una Pull Session con la empresa que realizó el Proyecto 1, fue que, las reuniones semanales es recomendable hacerse a pie de obra. Esto, para que la gente se aleje lo menos posible de su entorno de trabajo, consiguiendo que se sientan seguros y confiados, y participen de manera activa y sin temores de las mismas.

8. Referencias

- Adamu, I., & Howell, G. (2012). Applying lean construction technique in Nigerian construction industry. *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 1–25.
- Ahiakwo, O., Oloke, D., Suresh, S., & Khatib, J. (2013). A CASE STUDY OF LAST PLANNER SYSTEM IMPLEMENTATION IN NIGERIA. *44(0)*, 699–707.
- Alarcón, Luis F., Diethelm, S., Rojo, O., & Calderón, R. (2008). Assessing the impacts of implementing lean construction. *Revista Ingenieria de Construcción*, *23(1)*, 26–33. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732008000100003>
- Alarcón, Luis Fernando, & Pellicer, E. (2011). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de Obras Públicas*, *3496*, 7. Retrieved from http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4652/tesis_completa_.pdf?sequence=1
- Andrade, M., & Arrieta, B. (2010). Last planner en subcontrato de empresa constructora. *Revista de La Construcción*, *10(1)*, 36–52. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2011000100005>
- Ballard, G. (1993). *LEAN CONSTRUCTION AND EPC PERFORMANCE IMPROVEMENT b*.
- Ballard, G. (1994). *The Last Planner*. Retrieved from <http://www.leanconstruction.org>
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). *Shielding Production: An Essential Step in Production Control*.
- Ballard, G., & Howell, G. A. (2003). *Lean project management*. Retrieved from www.leanconstruction.org
- Ballard, G., & Tommelein, I. (2016). *Current process benchmark for the Last Planner System*. 1–42.
- Ballard, H. G. (2000). *THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL ACKNOWLEDGEMENTS*.
- Botero Botero, L., & Alvarez Villa, M. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: Estudio del caso de la ciudad de Medellín. *Ingeniería y Desarrollo: Revista de La División de Ingeniería de La Universidad Del Norte*, (17), 148–159.
- Bryman, A. (2012). The nature and process of social research. *Social Research Method*, 3–16.
- Daniel, E. I. (2017). *Exploratory Study into the Use of Last Planner® System and Collaborative Planning for Construction Process Improvement*. (May), 298. Retrieved from http://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/31057/1/Emmanuel_Daniel_2017.pdf
- Daniel, E. I., Pasquire, C., & Dickens, G. (2019). Development of Approach to Support

- Construction Stakeholders in Implementation of the Last Planner System. *Journal of Management in Engineering*, 35(5), 1–16.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000699](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000699)
- Deloitte. (2017). *GPoC 2017 Global Powers of Construction*. 116. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/real-estate/2017-global-powers-of-construction.pdf>
- Fernández-Solís, J. L. (2008). The systemic nature of the construction industry. *Architectural Engineering and Design Management*, 4(1), 31–46.
<https://doi.org/10.3763/aedm.2008.S807>
- Fernandez-Solis, J. L., Porwal, V., Lavy, S., Shafaat, A., Rybkowski, Z. K., Son, K., & Lagoo, N. (2013). Survey of motivations, benefits, and implementation challenges of last planner system users. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(4), 354–360. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000606](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000606)
- Fiallo, M., & Revelo, V. H. (2002). Applying the Last Planner Control System To a Construction Project : a Case Study in Quito , Ecuador. *International Group for Lean Construction*, 1–12.
- González, V., Alarcón, L. F., & Mundaca, F. (2008). Investigating the relationship between planning reliability and project performance: A case study. *Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC Conference*, (March), 98–108. <https://doi.org/10.1080/09537280802059023>
- Hamzeh, F., Ballard, G., & Tommelein, I. D. (2012). Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow. *Lean Construction Journal*, 2012(2012), 15–34.
- Hamzeh, F., & Bergstrom, E. (2010). The Lean Transformation : A Framework for Successful Implementation of the Last Planner TM System in Construction. *International Proceedings of the 46th Annual Conference. Associated Schools of Construction*, (January 2010), 8 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4590.8001>
- Hamzeh, F., Kallassy, J., Lahoud, M., & Azar, R. (2016). The first extensive implementation of lean and LPS in Lebanon: Results and reflections. *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July), 33–42. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1455.3847>
- Hoyos, M. F., & Botero, L. F. (2018). Evolution and global impact of the Last Planner System: a literature review. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 187–214.
<https://doi.org/10.14482/inde.36.1.10946>
- Issa, U. H. (2013). Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 697–704. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.003>
- James M. Morgan and Jeffrey K. Liker. (2006). *The Toyota Product Development System*.
- Javanmardi, A., Alireza Abbasian-Hosseini, S., Hsiang, S. M., & Liu, M. (2018). Constraint removal and work plan reliability: A bridge project case study. *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, 2(July), 807–817.
<https://doi.org/10.24928/2018/0510>
- Johansen, E., & Walter, L. (2007). Lean construction: Prospects for the German construction industry. *Lean Construction Journal*, 3(1), 19–32.
- Jørgensen, B., Emmitt, S., & Bonke, S. (2004). *INTEGRATING (LEAN) DESIGN AND CONSTRUCTION: UPSTREAM AND DOWNSTREAM VALUES* Bo Jørgensen, Stephen Emmitt, Ph.D., and Sten Bonke 1. 1–10.

- Kim, S. C., Kim, Y. W., Park, K. S., & Yoo, C. Y. (2015). Impact of measuring operational-level planning reliability on management-level project performance. *Journal of Management in Engineering*, 31(5), 1–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000326](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000326)
- Kim, Y. W., & Jang, J. W. (2005). Case study: An application of last planner to heavy civil construction in Korea. *13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings*, (September), 405–411.
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. *Center for Integrated Facility Engineering*, 1–81. <https://doi.org/Technical Report No. 72>
- Koskela, L. (2000). An exploration towards a production theory and its application to construction. *VTT Publications*, (408).
- Koskela, L., Stratton, R., & Koskenvesa, A. (2010). Last planner and critical chain in construction management: Comparative analysis. *Challenging Lean Construction Thinking: What Do We Think and What Do We Know? - 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 18*, 538–547.
- Koskenvesa, A., & Koskela, L. (2005). *Introducing last planner - Finnish experiences*.
- Kovvuri, P. R. R., Sawhney, A., Ahuja, R., & Sreekumar, A. (2016). Efficient Project Delivery Using Lean Principles - An Indian Case Study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 97(1), 19–26. <https://doi.org/10.1007/s40030-016-0142-6>
- Mossman, A., & Iyer, S. (2005). Why isn't the UK construction industry going lean with gusto? *Lean Construction Journal*, 24–36.
- Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2012). Last planner control system applied to a chemical plant construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(2), 287–293. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000415](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000415)
- Ochoa, J. J. (2014). Reducing plan variations in delivering sustainable building projects. *Journal of Cleaner Production*, 85, 276–288. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.024>
- Perez, A. M., & Ghosh, S. (2018). Barriers faced by new-adopter of Last Planner System®: a case study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(9), 1110–1126. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0162>
- Ribeiro, F. S., Costa, D. B., & Magalhães, P. A. (2017). Phase Schedule implementation and the impact for subcontractors. *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July), 687–694. <https://doi.org/10.24928/2017/0183>
- Rodríguez Fernández, A. D., Cárdenas, L. F. A., & Armiñana, E. P. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de Obras Publicas*, 158(3518), 35–44.
- Tiwari, S., & Sarathy, P. (2012). *Pull Planning As a Mechanism To*. (Icc).

9. Anexos

Información brindada por la empresa que desarrolló el Proyecto 1:

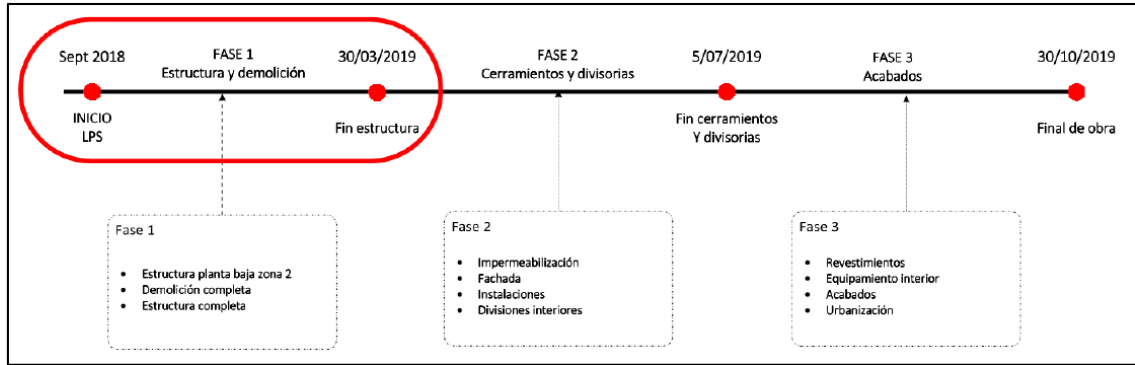


Fig. 37; Fases de estructuración del proyecto.

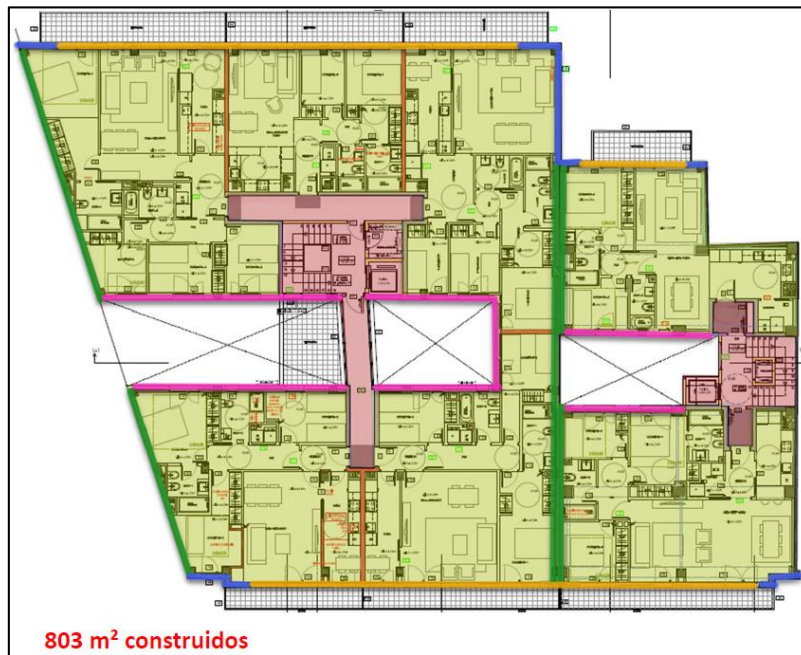


Fig. 38: Ejemplo de planos del Proyecto 1.



Fig. 39: Desarrollo de una Pull Sesion.

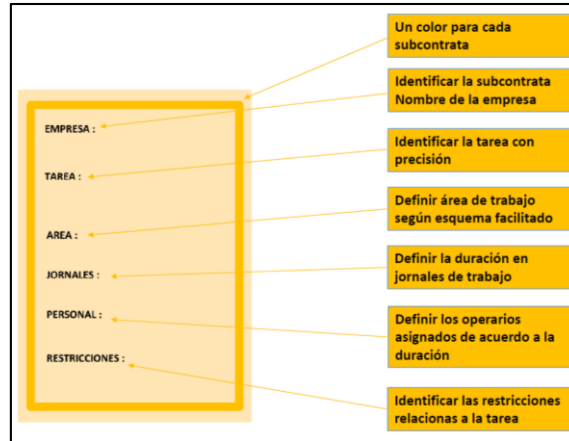


Fig. 40: Modelo de relleno de los post-it para Pull Sesions.

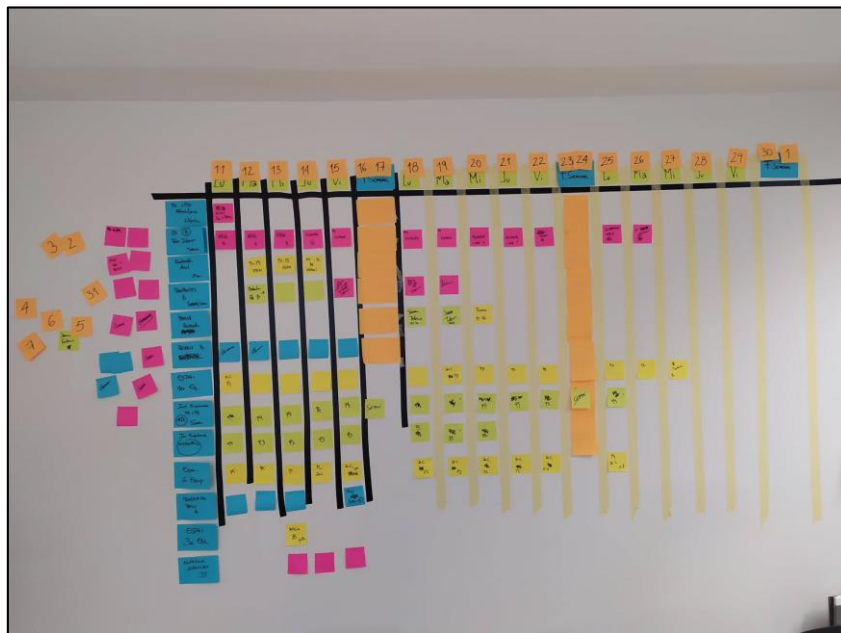


Fig. 41: Organigrama y Post-it de actividades de una Pull Sesion del Proyecto 1.

PLAN DE TRABAJO SEMANAL. V 1.0											PPC 81%		
ID PIEZ	ACTIVIDAD	P	AREA		1a	ma	mi	ju	vi	sa	do	TERMINADO ?	MOTIVO DE INCUMPLIMIENTO
					22-4-13	23-4-13	24-4-13	25-4-13	26-4-13	27-4-13	28-4-13	SI	NO / CAT.
T05901	Pasamanos de acero inoxidable en claustro	P1	A22.1	Aster	2	2	2	2	2				
T05902	Telas impermeables en terrazas	PC	A23/A24	Apittec	2	2	2	2	2				1
T11213	Plafuco liso en escalera terminado	E2	General	Calveras	2	2	2						
T01001	Pintura y selladora	P1	A18,11A17	Calveras	3	3	3	3	3				
T01001	Pintura plastica en techo y paredes	PB	A4.1	Calveras	2	2	2	2	2				
T10001	Demolicion de soado en claustro	PB	A11	CTVMA	3	3	3						
T09901	Formaci3n de pendientes de hormig3n (50%)	PB	A11	CTVMA				3	3				
T03602	Colocaci3n de vidrios muro cortina	P1	PM	Doster		3	3	2	2				11
T08711	Valvula de tres vias SEDICAL	PA	A14	Fareclima	2								
T11208	Desmontar andamio perimetral	E2	General	Foreseny				2	2				
T04305	Desmontaje de andamio terminado	PB	AS	Foreseny	4								
T01306	Montaje de barandillas y escaleras	P1	A16	Franch	3	3	3	3	3				7
N010	Codo FM200 y cierre de circuito	P1	A15	Mefisa	2								
T02403	Colocaci3n de luminarias interiores camies	P1	General	Mefisa	2								
T02403	Colocaci3n de luminarias interiores camies	PB	General	Mefisa	2	4	4	4	4				
T10202	Montaje de esquema de principio AFS PCI (80%)	PS	A01	Mefisa	2	2	2	2	2				
T08202	Rodapi3s y guardavivios	PA	A14/A13	Pernmor	2								
T03603	Cierres y guarnecidos de muro cortina	P1	PM	Pernmor					2				2
T04306	Remates de fachada salidas de humo	PB	AS	Rofer			4	4	4				2
T04306	Remates en parte baja fachada ventilada	PB	AS	Rofer			4	4	4				
T09206	Pintura al silicato parte alta	PB	A11	Rolg	2	2	2	2	2				
T09206	Remates y regladas de arcos nivel bajo	PB	A11	Rolg	2	2	2	2	2				
T02101	Montaje de puertas (8 ud)	P1	General	Servifuster	1	1	1						

Fig. 42: Programa de Trabajo Semanal.

