

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Aplicación de las Herramientas Lean Construction para la mejora de la Planificación en la Ejecución de la Obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno

Por:

Juan Diego Pérez Apaza

Asesor:

Ing. Rubén Fitzgerald Sosa Aquisé

Juliaca, marzo del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Rubén Fitzgerald Sosa Aquisé, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Aplicación de las Herramientas Lean Construction para la mejora de la Planificación en la Ejecución de la Obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno”** constituye la memoria que presenta el **Bachiller Juan Diego Pérez Apaza** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 03 días del mes de marzo del año 2020



Rubén Fitzgerald Sosa Aquisé



078

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 13 día(s) del mes de 03 del año 2020, siendo las 11.00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Herson Duberly Pari Cusi, el secretario: Ing. José Paori Paori y los demás miembros: Ing. David Quipe Aruhuanca

y el asesor Ing. Rubén Fitzgerald Sosa

Agüise con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Aplicación de las Herramientas Lean Construction para la Mejora de la Planificación en la Ejecución de la Obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno" de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Juan Diego Pérez Apaza

b) conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil

(Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Juan Diego Pérez Apaza

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.


 Presidente


 Asesor


 Candidato/a (a)


 Miembro


 Secretario

 Miembro

 Candidato/a (b)

DEDICATORIA

A mis padres, que gracias a sus consejos, esfuerzo y trabajo pude a completar esta meta en mi vida.

A mi hermano José Fernando, que sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

A mi hermano José Antonio, que me inspira a ser mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme y cuidarme en todo momento.

A la Universidad Peruana Unión y a los Docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por inculcar en mí, conocimientos y valores que me permitirán ejercer mi profesión con eficacia y tenacidad.

A mi asesor de tesis, Ing. Rubén Sosa, que me aconsejo, guio y dio recomendaciones durante la realización del presente trabajo de investigación.

Al consorcio SAN ANTONIO, por permitirme realizar esta investigación en la ejecución de una obra a su cargo.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS	II
ACTA DE SUSTENTACION DE INFORME DE TESIS	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XII
CAPITULO I: EL PROBLEMA	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.1.1. Problema general.....	15
1.1.2. Problemas específicos.....	15
1.2. Justificación.....	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes	17
2.1.1. Investigaciones Internacionales	17
2.1.2. Investigaciones Nacionales	19
2.2. La filosofía Lean Construction	21
2.2.1. Historia de la Filosofía Lean	21
2.2.2. Definición de Lean Construction.....	23
2.2.3. Conceptos de la filosofía Lean Construction.....	25
2.2.4. Principios Lean Construction.....	36
2.3. Herramientas Lean Construction.....	41
2.3.1. Buffer de tiempo.....	41
2.3.2. Sectorización.....	42
2.3.3. Tren de actividades.....	42
2.3.4. Last Planner System (LPS)	43
2.3.5. Nivel general de actividad.....	57
2.3.6. Los 5 ¿por qué?.....	58
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODO	60

3.1. Lugar de ejecución.....	60
3.1.1. Ubicación del proyecto	60
3.1.2. Descripción de la empresa	61
3.1.3. Descripción del proyecto	61
3.2. Población y muestra	62
3.2.1. Población	62
3.2.2. Muestra	65
3.3. Metodología de la investigación	67
3.3.1. Tipo de investigación	67
3.3.2. Nivel de la Investigación	67
3.3.3. Diseño de la Investigación.....	68
3.4. Formulación de hipótesis.....	68
3.4.1. Hipótesis general	68
3.4.2. Hipótesis específicas	68
3.5. Identificación de variables	69
3.6. Instrumentos de recolección de datos.....	69
3.7. Técnicas de recolección de datos, instrumentos y validación de instrumentos.....	70
3.8. Plan de procesamiento de datos	71
3.9. Prueba de hipótesis	78
3.10. Procedimiento estadístico.....	78
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
4.1. Aplicación de las Herramientas Lean Construction	80
4.1.1. Buffer de tiempo.....	80
4.1.2. Sectorización.....	81
4.1.3. Tren de actividades.....	84
4.1.4. Last Planner System.....	89
4.1.5. Los 5 ¿Por qué?	103
4.1.6. Nivel General de Actividad	106
4.2. Validación De Hipótesis	110
4.2.1. Validación Hipótesis General	110
4.2.2. Validación Hipótesis Secundarias	111
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS.....	122
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de confiabilidad en actividades predecesoras.....	34
Tabla 2. Principios Lean Construction en línea con el BIM (Building Information Modeling).....	40
Tabla 3. Obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud	62
Tabla 4. Estructuras	62
Tabla 5. Arquitectura.....	63
Tabla 6. Instalaciones sanitarias	63
Tabla 7. Instalaciones eléctricas y mecánicas	63
Tabla 8. Estructuras metálicas y cobertura	64
Tabla 9. Obras exteriores (Componente I).....	64
Tabla 10. Tipo, nivel y diseño de la investigación.....	68
Tabla 11. Variables en la investigación.....	69
Tabla 12. Principios y Herramientas Lean Construction usados en la Investigación.	70
Tabla 13. Codificación de las causas de no cumplimiento (CNC).....	101
Tabla 14. Descripción de actividades – Nivel general de actividad.....	106
Tabla 15. Estadísticas para una muestra (PPC).....	112
Tabla 16. Prueba T de Student para Porcentaje de Plan Cumplido (PPC).....	112
Tabla 17. PPC en semanas sin intervención	112
Tabla 18. PPC en semanas con intervención	113
Tabla 19. Estadísticas para Trabajo Productivo (TP)	114
Tabla 20. Prueba T de Student para Trabajo Productivo (TP)	114
Tabla 21. Estadísticas para Trabajos Contributorios (TC).....	115
Tabla 22. Prueba T de Student para Trabajos Contributorios (TC).....	115
Tabla 23. Estadísticas para Trabajos No Contributorios (TNC).	115
Tabla 24. Prueba T de Student para Trabajos No Contributivos (TNC).....	116
Tabla 25. Prueba T de Student para muestras emparejadas	116
Tabla 26. Nivel General de actividad sin intervención	117
Tabla 27. Nivel General de Actividad con intervención	117
Tabla 28. Estadística de las muestras emparejadas.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de conversión de procesos.	27
Figura 2. Modelo de flujo de procesos.	28
Figura 3. Los 8 Desperdicios Lean.	31
Figura 4. Sistema de empuje (Push System) tradicional de planificación.	35
Figura 5. Sistema de arrastre (Pull System) de planificación del Last Planner System.	35
Figura 6. Niveles o etapas de planificación en el Last Planner System para planificación y control de producción.	44
Figura 7. El Last Planner System.	46
Figura 8. Programación de desarrollo y estructuración de trabajo en LPS.	47
Figura 9. Desglosando tareas al nivel de operaciones y pasos.	48
Figura 10. La Planificación Maestra.	51
Figura 11. La Planificación por fases.	53
Figura 12. La Planificación anticipada.	54
Figura 13. Mapa de ubicación de proyecto. Fuente: Expediente Técnico del proyecto.	60
Figura 14. Ubicación Geográfica del proyecto. Fuente: Expediente Técnico del proyecto.	61
Figura 15. Representación de la muestra de estudio (elementos estructurales horizontales y verticales).	67
Figura 16. Procesamiento de datos – Buffer de tiempo.	72
Figura 17. Procesamiento de datos – Sectorización.	72
Figura 18. Procesamiento de datos – Tren de actividades.	73
Figura 19. Procesamiento de datos – Last Planner System (Planificación maestra).	74
Figura 20. Procesamiento de datos – Last Planner System (Planificación anticipada – Lookahead).	75
Figura 21. Procesamiento de datos – Last Planner System (Plan de trabajo semanal).	76
Figura 22. Procesamiento de datos – Los 5 ¿Por qué?.	77
Figura 23. Procesamiento de datos – Nivel general de actividad.	77
Figura 24. Cronograma contractual de obra.	80
Figura 25. Buffer de plazo del proyecto.	81
Figura 26. Se gunda alternativa de Sectorización.	82
Figura 27. Sectorización de la estructura.	83

Figura 28. Niveles de proyecto.....	84
Figura 29. Tren de actividades para cimentaciones.....	84
Figura 30. Tren de actividades para piso 1 y piso 2.....	85
Figura 31. Tren de actividades para piso 3.....	86
Figura 32. Tren de actividades para piso 0.....	87
Figura 33. Tren de actividades en Lookahead semana 46.....	87
Figura 34. Flujo inicial – nivel 1.....	88
Figura 35. Flujo balanceado – nivel 1.....	88
Figura 36. Cronograma contractual de obra – Hitos de segundo nivel.....	89
Figura 37. Formato de tarjeta Pull complejo.....	91
Imagen 38. Sesión pull semana N°45.....	91
Imagen 39. Fin de sesión pull semana N°45.....	92
Figura 40. Formato de tarjeta Pull. sencillo.....	93
Figura 41. Sesión Pull semana N°48.....	94
Figura 42. Lookahead semana N°51.....	95
Figura 43. Tablero Lookahead.....	96
Figura 44. Reunión semanal de Análisis de restricciones.....	96
Figura 45. Análisis de restricciones.....	97
Figura 46. Lista de restricciones semana N°51.....	98
Figura 47. Hoja de requerimiento de materiales semana anticipada 52.....	98
Figura 48. Reunión semanal.....	99
Figura 49. Plan de trabajo semana 51.....	99
Figura 50. Evolución semanal del indicador Porcentaje del Plan Cumplido (PPC).....	100
Figura 51. Evolución de liberación de restricciones (PCR).....	101
Figura 52. Porcentaje de ocurrencia de CNC.....	102
Figura 53. Aplicación de los 5 ¿Porque?.....	103
Figura 54. Análisis de los 5 ¿Por qué?.....	104
Figura 55. Aplicación de los 5 ¿Porque?.....	105
Figura 56. Análisis de los 5 ¿Por qué?.....	105
Figura 57. Nivel general de actividad – Semana 43.....	107
Figura 58. Distribución de trabajo contributorio (TC) – Semana 43.....	107
Figura 59. Distribución de trabajo no contributorio (TNC) – Semana 43.....	108
Figura 60. Diagrama de Pareto (TC y TNC) – Semana 43.....	109
Figura 61. Nivel general de actividad en el proyecto.....	110
Figura 62. Resultados de TP, TNC, TC para las semanas sin intervención.....	117
Figura 63. Resultados de TP, TNC, TC para las semanas con intervención.....	118

SÍMBOLOS Y/O NOMENCLATURA UTILIZADA

LPS : Last Planner System.

Phase Scheduling: Planificación por Fases.

Weekly Work Planning: Planes de Trabajo Semanales.

Lookahead Planning: Planificación Anticipada.

Master Scheduling: Planificación Maestra.

PPC : Porcentaje de plan cumplido.

PCR : Porcentaje de cumplimiento de restricciones.

TC : Trabajo Contributorio.

TNC: Trabajo No Contributorio.

TP : Trabajo Productivo.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo demostrar que la aplicación de las herramientas Lean Construction mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación coliseo cultural polideportivo de la ciudad de Putina- Puno. Esta investigación es de tipo cuantitativo, de nivel descriptivo, de diseño experimental con intervención. Además, para las unidades de estudio se considera como población 61 partidas del expediente técnico del proyecto, teniendo una unidad muestral de estudio de 24 partidas. Se aplicó las herramientas Lean Construction a la ejecución de los elementos estructurales verticales y horizontales en la fase de estructuras. Los instrumentos de recolección de datos se basan en las siguientes Herramientas Lean Construction: buffer de tiempo, sectorización, 5 ¿Por qué?, Tren de Actividades, Last Planner System y Nivel General de Actividad. Se realiza una prueba de hipótesis para el Last Planner System y para el nivel general de actividades, observando que existen diferencias significativas en el periodo de intervención en el proyecto en relación al periodo sin intervención del mismo, se concluye que la aplicación de las herramientas Lean Construction mejoraron la planificación en la ejecución del proyecto, habiéndose logrado un incremento en el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) de 17%, un incremento de 6% en el Trabajo Productivo (TP), un incremento del 3% en el Trabajo Contributorio (TC) y una disminución del 8% en el Trabajo No Contributorio (TNC) durante el periodo con intervención al proyecto respecto al periodo sin intervención en el proyecto. Con lo implementado en esta etapa de la ejecución del coliseo se da un antecedente a profesionales y empresas del ámbito de la construcción para que puedan aplicar estas herramientas en sus siguientes proyectos.

Palabras clave: Planificación, Productividad, Lean Construction, Last Planner System.

ABSTRACT

The purpose of this research is to demonstrate that the application of Lean Construction tools will improve planning in the execution of the work Creation of a sports coliseum in the city of Putina-Puno. This research is of a quantitative type, descriptive level, of experimental design with intervention. In addition, for the study units, 61 items from the technical file of the project are considered as population, having a sample study unit of 24 items. The Lean Construction tools were applied to the execution of the vertical and horizontal structural elements in the structure phase. The data collection instruments are based on the following Lean Construction Tools: time buffer, sectorization, 5 Why ?, Activity Train, Last Planner and General Activity Level. A hypothesis test is carried out for the last planning system and for the general level of activities, noting that there are differences in the period of intervention in the project in relation to the period without intervention of the same, it is concluded that the application of the Lean tools Construction improve planning in the execution of the project, achieve an increase in the Percentage of the Plan Fulfilled (PPC) of 17%, an increase of 6% in Productive Work (TP), an increase of 3% in Contributory Work (TC) and an 8% decrease in Non-Contributory Work (TNC) during the period with intervention to the project compared to the period without intervention in the project. With what was implemented in this stage of the coliseum execution, a background is given to professionals and companies in the construction field so that they can apply these tools in their next projects.

Keywords: Planning, Productivity, Lean Construction, Last Planner System.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La planificación ha sido uno de los problemas siempre presentes en casi todas las obras de edificación. Rodríguez y Valdez (2012), consideran que la planificación es la etapa donde se define el que hacer, como hacer y quienes hacer.

La industria de la construcción en el Perú siempre ha presentado altos niveles de variabilidad debido a la complejidad e incertidumbre propios de cada proyecto de construcción que pueden terminar afectando la producción y disminuir la productividad de los trabajos.

Hinostroza y Manosalva (2015), indican que “El sector de la construcción siempre ha sido asociado a un mal desempeño. En general la percepción es que la construcción es un sector de baja productividad (...).” (p.2), la variabilidad en la construcción muchas veces es predecible, algunos ejemplos son: la falla de los equipos debido a falta de mantenimiento, los retrabajos, la falta de materiales en el momento de ejecución de los trabajos, etc.

Sin embargo, a pesar de ser predecibles es común que se presenten durante la ejecución de los proyectos, muchas veces esto se debe a la mala planificación de los proyectos que terminan perjudicando a los clientes con los plazos de entrega de los mismos.

En el tema de planificación, lo tradicional y que generalmente se hace es encargar la elaboración de los mismos a una sola persona que planifica y programa la obra en base a cantidades (metrados) y supuestos (rendimientos, productividad) que generalmente no se cumplen en obra debido a la complejidad particular que presenta cada trabajo; por otro lado, no considera las restricciones que se puedan presentar a la hora de ejecutar los trabajos planificados. Esta forma de planificar no contempla contratiempos, demoras, ni errores; ve todo lo planificado como realizable sin problemas, por lo que podría considerarse utópica y al primer fallo en ella, se vuelve obsoleta.

En el tema de control, tradicionalmente se usa la metodología de la curva “S” tanto en horas-hombre como en montos, sin embargo, es poco fiable usarla en proyectos de construcción debido a la variabilidad que estos presentan; por ejemplo, si no se ejecutó una actividad programada y en reemplazo de esta se ejecutó otra con recursos similares en hora-hombre, al momento de realizar el control de la curva “S” en

hora-hombre no se podrá detectar que esté hecho, y si quizás la actividad reemplazada fuese indispensable de ejecución en los tiempos planificados se termine afectado el plazo de ejecución del proyecto.

Frente a los problemas antes mencionados, existe una nueva filosofía de construcción que tiene un conjunto de herramientas que permiten mejorar la planificación de los proyectos de edificación, esta filosofía se llama Lean Construction; sin embargo, su aplicación no está muy extendida en nuestra región.

El proyecto en estudio es la construcción de un coliseo polideportivo cultural en la región de Puno que viene siendo ejecutado por una empresa constructora. Dentro del proyecto se vienen presentando los problemas antes mencionados haciendo que la planificación, programación y control de los avances en el proyecto sean poco confiables y tengan retrasos en su tiempo de ejecución.

Ante esta situación problemática, se generan el problema general y específicos planteados en las siguientes interrogantes de investigación para el correspondiente estudio:

1.1.1. Problema general

¿Se puede demostrar que la aplicación de las herramientas Lean Construction mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno?

1.1.2. Problemas específicos

¿Es posible aplicar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System para mejorar la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno?

¿Es viable emplear la herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad para mejorar la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno?

1.2. Justificación

De acuerdo con el Reporte de Competitividad Global de Schwab (2018), de 140 países evaluados a nivel mundial en el año 2018, el Perú se posiciona en el puesto 85 en el Pilar de Infraestructura y en el puesto 89 en el Pilar de Capacidad de Innovación, estando en ambos pilares por debajo de la media de los países evaluados, de esta

evaluación notamos que como país tenemos oportunidades de mejorar en nuestros Pilares de Infraestructura y Capacidad de Innovación.

Por otro lado en los últimos años, algunas empresas constructoras en la región Puno están en busca de ser más competitivos en el mercado y de tener mayores márgenes de rentabilidad, han optado por el uso de nuevas herramientas de planificación, programación y control en la ejecución de sus proyectos, ya que pueden ofrecer mejores costos y plazos a los clientes; sin embargo, la mayoría de las empresas constructoras en la región sigue usando sistemas tradicionales de planificación que han demostrado ser insuficientes para la gestión de los proyectos de construcción.

De lo expuesto, la investigación planteada contribuirá a ver los efectos que tiene la aplicación de las herramientas Lean Construction en la planificación en un proyecto de edificación, también servirá como referencia para la aplicación de las herramientas Lean Construction en otros proyectos de construcción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Demostrar que la aplicación de las herramientas Lean Construction mejoran la planificación de la ejecución en la obra del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

1.3.2. Objetivos Específicos

Implementar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System para mejorar la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

Emplear la herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad para mejorar la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La aplicación de las herramientas Lean Construction para mejorar la planificación, programación y control de proyectos de construcción en la región de Puno, no está muy difundida entre los individuos y equipos que dirigen y gestionan proyectos de construcción, estando mayormente su aplicación restringida a empresas constructoras que buscan ser más competitivas en el mercado, logrando obtener una mayor rentabilidad.

No obstante, para comprender cada una de estas herramientas, es importante definir algunos conceptos claves en el tema de estudio. Entre los cuales se encuentran: La filosofía Lean Construction, Herramientas Lean Construction, Modelo de conversión de procesos y modelo de flujo de procesos.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Investigaciones Internacionales

Alpízar (2017), realizó la investigación “Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner a proyectos de vivienda social de FUPROV”, como tesis de pregrado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica de Costa Rica. Teniendo como objetivo la obtención de información biográfica acerca del Last Planner System para incrementar los conocimientos relacionados a él y realizar una aplicación piloto del Last Planner System en la construcción de un proyecto de FUPROVI. La metodología usada para esta investigación fue como punto inicial la recolección biográfica sobre Last Planner System, recolección de información de la situación actual de los proyectos del FUPROVI, luego se procedió a seleccionar y aplicar los conceptos del Last Planner System en dos proyectos de FUPROVI uno de ellos ejecutado por el modelo de contrato por mano de obra denominado La Colina y el otro por el modelo de contrato de llave en mano denominado La Reseda. Los resultados durante las 8 semanas en que se implementó el Last Planner System en el proyecto La Colina fueron un Porcentaje de Actividades Cumplidas (PAC) promedio del 45% debido en su totalidad a la falta de materiales, en el caso del proyecto La Reseda no se tuvo resultados por la falta de compromiso por parte del contratista a innovar en temas de planificación y producción. Como conclusiones de la investigación se tiene que la aplicación del Last Planner System fue positivo en el proyecto La Colina debido a que se pudo tener mayor participación en él y que el compromiso de los involucrados era bueno y mostraban predisposición al cambio, en el proyecto La Reseda no se pudo aplicar a cabalidad el

Last Planner System debido a que el contratista no presentaba interés en cambiar su manera de trabajar.

Villamizar y Ortiz (2016), realizaron la investigación “Implementación de los principios de Lean Construction en la constructora Colproyectos S.A.S. de un proyecto de vivienda en el Municipio de Villa del Rosario”, como proyecto de grado en la Universidad Industrial de Santander de Bucaramanga-Colombia. El objetivo de esta investigación fue implementar la metodología Lean Construction en la obra ARBORETTO que ejecutó la constructora Colproyectos S.A.S. aplicando el Last Planner System. Fue una investigación de tipo descriptiva, los instrumentos para la recolección de datos fueron: recopilación de información sobre la situación actual de la obra Arboretto, información sobre trabajos realizados por la empresa constructora respecto a otras obras y también se recopiló información de internet y trabajos de grado. La información obtenida se analizó mediante Líneas de Balance, Porcentaje de Actividades cumplidas (PAC), toma de tiempos en obra con el fin de mejorar la producción en la obra Arboretto. Como resultados se muestra que durante los 4 meses de implementación de los principios Lean y el Last Planner System se obtuvo un promedio de: Trabajo Productivo (TP) = 54.5%, Trabajo contributivo (TC) = 31.90% y Trabajo no contributivo (TNC) = 11.50%, respecto al Porcentaje de Actividades Cumplidas (PAC) los resultados fueron positivos mostrando en 8 de las 20 semanas de implementación un PAC de 100%, 11 de las 20 semanas un PAC entre valores de 84% a 99% de cumplimiento, y solo en 1 de las 20 semanas de implementación el PAC obtuvo un valor de 0%. La investigación concluye indicando que una buena coordinación de las actividades de todo el equipo de trabajo, y una continua comunicación entre ellos genera un ambiente positivo en la obra y consecuentemente mejora la productividad, concluye también indicando que dentro de la filosofía Lean Construction es importante realizar la retroalimentación con el fin de corregir problemas identificados, y que al reducir las actividades que no generan valor se puede mejorar las utilidades, indica también que llevar un control de los trabajos productivos, contributivos y no contributivos en las actividades nos permite detectar en cuál de ellas se está perjudicando a la obra para poder tomar medidas correctivas.

Castaño (2012), realizó la investigación “Implementación del Sistema de planeación y control “Last Planner” en el tramo 2b del Corredor Parcial de Envigado para mejorar la confiabilidad y reducir la incertidumbre en la construcción”, como tesis de postgrado en la Universidad EAFIT de Medellín-Colombia. El objetivo de esta investigación fue implementar el Last Planner System en una obra de infraestructura con el fin de reducir la incertidumbre y mejorar la confiabilidad de la planificación. La

investigación fue de tipo experimental y se consideró como instrumento de recolección de datos: la observación estructurada y como plan de procesamiento de datos: formatos elaborados, registro fotográfico y encuestas. Como resultados presenta que durante las 29 semanas de implementación se tuvo un promedio de Porcentaje de Actividades Cumplidas (PAC) del 61%, con picos de 94% y 11% de cumplimiento de las actividades semanales programadas, como causas de no cumplimiento indica que se debió mayormente a la mano de obra (relacionado directamente con las dificultades del proyecto) y eventos externos (oposición de la comunidad a la ejecución del proyecto, demora en la entrega de permisos por parte de la entidad contratante, tubería existente no indicada en planos que se evidencio en la excavación, vandalismo, etc.), ambos con una incidencia del 33%. La investigación concluyó indicando que, debido a los eventos externos y a la naturaleza del proyecto, el Last Planner System no tuvo impacto en tiempo ni efectividad en la ejecución del mismo, indica también que la oposición de un sector poblacional representando intereses colectivos pueden ser determinantes para el éxito o fracaso de un proyecto.

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Vilcapoma (2016) realizó la investigación Aplicación del sistema Last Planner y su influencia en la gestión operativa del proyecto “Mejoramiento y modificación de la línea de carga de concentrado en el patio ferroviario de la Sociedad Minera el Brocal”, como tesis de pregrado en la Universidad Continental de Huancayo-Perú. El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia en la aplicación del Last Planner System en la gestión operativa del proyecto mencionado en el título de la tesis; la investigación fue de tipo tecnológica, el nivel de investigación fue explicativo, el diseño de la investigación fue experimental, las técnicas de recolección de datos fueron: informes semanales de producción (ISP) y reportes de planificación diaria, las técnicas de análisis de datos fueron: Porcentaje de plan cumplido (PPC), Histogramas, Diagramas de Pareto, Curvas de productividad, análisis de correlación de Pearson. Los resultados mostrados en esta investigación son prometedores, en cuanto a plazos, la meta del proyecto era terminar la ejecución sin atrasos (39 días), con la utilización del Last Planner System se pudo terminar la obra con atraso por un 25.64% más de días de lo previsto (49 días en total), mientras que si no se hubiese aplicado el Last Planner System se hubiese terminado con un 54.00% más de días de atraso, en cuanto a los márgenes de utilidad, aplicando el Last Planner System la empresa tuvo una utilidad del 145.53% del margen ofertado, mientras que si no se hubiese aplicado el Last Planner System la utilidad representaría el 72.00% del margen ofertado, en cuanto a productividad lo esperado era que fuera superior o igual a 1.50, aplicando el Last Planner System se

obtuvo una productividad del 2.27, sin usar el sistema se hubiese adquirido una productividad de 1.33, el valor promedio del Porcentaje del Plan Cumplido fue de 58% con una línea de tendencia positiva. La investigación concluye indicando que la aplicación del Last Planner System influyó positiva y significativamente en la gestión operativa del proyecto, indica también que la aplicación del informe semanal de producción influyó positiva y significativamente ya que a lo largo del tiempo permitió disminuir hasta en un 20% el desperdicio de horas hombre.

De la Cruz y Neira (2015), realizaron la investigación “Aplicación de la metodología Last Planner System en la cadena de suministros para la disminución de costos operativos en obras de edificación de mediana altura en el Distrito de Trujillo 2015”, como tesis de pregrado en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo-Perú. El objetivo de esta investigación fue disminuir los costos operativos por lo menos un 5% en la construcción de edificios de mediana altura en Trujillo. El diseño de la investigación fue de una sola casilla por considerar que las variables tienen una relación causa efecto, los métodos usados fueron inductivo y deductivo, las técnicas usadas fueron entrevistas a profundidad, información documentaria y juicio de expertos, se recolectó los datos mediante entrevistas, encuestas y recolección en campo. La investigación presenta como resultados una mejora hasta del 23.70% en la disminución de costos operativos en la cadena de suministros; concluye indicando que para que los flujos no paren se debe garantizar que tengamos todos los recursos a tiempo.

Guzmán (2014), realizó la investigación “Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos”, como tesis de pregrado en la Pontificia Universidad Católica Del Perú. El objetivo de esta investigación fue la difusión de los conceptos de la filosofía Lean Construction a través de la implementación y aplicación del Lean Construction en un proyecto de construcción de una empresa del medio. La metodología utilizada fue la siguiente: inicialmente se seleccionó un proyecto para ser implementado con Lean Construction, se analizó y describió las herramientas de planeamiento, control y ejecución de dicho proyecto, se analizó una partida en especial aplicando las herramientas que ofrece Lean Construction, se midió la productividad a nivel general y en particular para las partidas estudiadas, se midió los cumplimientos de las programaciones semanales a través del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y se analizaron las causas de no cumplimiento para elaborar una lista de lecciones aprendidas que ayuden a mejorar continuamente, se analizó los resultados obtenidos en general y su influencia en la economía de la empresa. Los resultados de esta investigación fueron positivos indicando que luego de realizar como mínimo 384 mediciones a nivel general se obtuvo como Trabajo

productivo (TP) = 40%, Trabajo contributivo (TC) = 41% y Trabajo no contributivo (TNC) = 19%, disgregando los resultados en el Trabajo contributivo (TC). Se obtuvo que la mayor parte del tiempo ocupado realizando trabajos contributivos eran dedicados a las actividades de transporte y preparación de materiales y herramientas con un 35% y 27% de incidencia respectivamente, disgregando los trabajos no contributivos se tuvo que el 95% del tiempo ocupado realizando trabajos no contributivos se debían a esperas/descansos y viajes, con representaciones del 62% y 33% respectivamente, en cuanto al Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) los resultados acumulados fueron del 75% con un mínimo de PPC 40% y un máximo de 92%, las causas de no cumplimientos acumulados identificados fueron en un 44% la programación, 23% la logística, 21% de la supervisión/cliente, 7% los errores de ejecución, 2% de los subcontratos, 2% de los equipos y 1% de la administración. La investigación concluye indicando que la aplicación de las herramientas Lean Construction en edificaciones da muy buenos resultados tanto en productividad como en el plazo y costo; sin embargo esto requiere de un constante uso y control de las herramientas para que las mejoras sean reflejadas en los proyectos, indica también que la sectorización y los trenes de trabajo permiten que se tenga una curva de aprendizaje medible de las partidas más incidentes del proyecto (concreto, encofrado, tarrajeo), indica también que el uso del Last Planner System nos permite reducir en gran medida la variabilidad que presentan los proyectos, indica también que la implementación del Lean Construction en la obra generó ahorros debido al incremento de la productividad, cumplimiento de plazos y reducción de desperdicios.

2.2. La filosofía Lean Construction

La filosofía “Lean Construction” es el resultado de la aplicación de la filosofía “Lean Production” en el sector de la construcción.

Márquez (2014) afirma que “Si bien el término ‘*lean*’ en inglés se define como magro, enjuto, frugal, sin grasa, pobre o escaso, el concepto, más allá de una traducción literal al español, implica una nueva forma de hacer las cosas utilizando menos recursos.” (p.14).

2.2.1. Historia de la Filosofía Lean

Para entender como fue el desarrollo de esta nueva filosofía que viene revolucionando las industrias, tenemos que retroceder a sus inicios que se dieron a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX.

Para Miranda (2012):

La tendencia de mejora en las empresas manufactureras viene desde finales de 1890 teniendo a Frederick W. Taylor como uno de los representantes más importantes de esta época quien innovó estudiando y difundiendo la administración científica del trabajo, y funda el movimiento conocido como "Administración Científica del Trabajo" cuyo pensamiento se basa en la eliminación de las pérdidas de tiempo, de dinero, etc., mediante un método científico. Taylor afirmaba que "el principal objetivo de la administración debe ser asegurar el máximo de prosperidad, tanto para el empleador como para el empleado".

De este pensamiento de Taylor denominado "Taylorismo" se obtiene la formalización del estudio de los tiempos y el establecimiento de estándares, a partir de los cuales Frank Gilbreth añade el desglose del trabajo en tiempos elementales. Gilbreth fue el fundador de la técnica moderna del estudio de movimientos, con la que se buscaba establecer la reducción del tiempo y la fatiga en una operación. De esta manera Taylor, Gilbreth y otros contemporáneos iniciaron con los primeros conceptos de eliminación de desperdicio de tiempo y el estudio de movimientos. (p.15)

Para Zelada y Tuesta (2016) rescata un poco más la evolución de filosofía Lean y menciona:

En los años 30, los encargados de dirigir la empresa automotriz Toyota implementaron una serie de innovaciones en las líneas de producción de tal forma que facilitarían tanto la continuidad en el flujo de materiales como la flexibilidad a la hora de fabricar distintos productos. Luego de la 2da Guerra Mundial la Toyota con sus ingenieros a cargo, Taiichi Ohno y Shigeo Shingo, vieron la necesidad de afianzar lo que implementaron en los años 30's, debido a la necesidad de fabricar variedad de productos pero en pequeñas cantidades, de esta manera crean los conceptos de "just in time", "waste reduction", "pull system" los que con otras técnicas de puesta en flujo, crean el Toyota Production System (TPS).

Así es como esta nueva filosofía de producción surgió en Japón por los años 50 gracias en gran medida al Ing. Taiichi Ohno. La aplicación de esta nueva filosofía se inició con la TOYOTA, en el sistema de producción de esta industria automovilística, pero hasta los años 80's la información de este nuevo pensamiento aún era limitado en el mundo occidental, a pesar de que

aproximadamente en 1975 se iniciara la difusión de estas ideas en Europa y Norteamérica debido al cambio que se fue dando en las empresas automotrices. (p.11)

De igual forma esta filosofía se fue asentando no sólo en los procesos productivos sino en todas las áreas empresariales. Chun y Sevillano (2015) indican lo siguiente:

La nueva filosofía que aparece con el Ing. Taiichi Ohno, fue denominado de muchas formas por los años 90's, como la fabricación de clase mundial, producción flexible y nuevo sistema de producción. Pero las más usadas y conocidas son la de Lean Production o Toyota Production System (TPS). (p.12)

A través de los acontecimientos históricos antes mencionados, es que inicia la filosofía Lean Production.

Finalmente, Miranda Casanova (2012) expone como cierre del progreso Lean Construction que:

En esa misma época en Finlandia el profesor universitario Lauri Koskela usa de modelo el Lean Production y sistematiza los conceptos del mejoramiento continuo, just in time, etc. Creando así una nueva filosofía de planificación de proyectos en la construcción, reformulando los conceptos tradicionales de planificación y control de obras. Esto es propuesto en su tesis de doctorado "Application of the New Production Philosophy to Construction", 1992. Estudio que fue realizado durante su permanencia en CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) y financiado por el Technical Research Centre of Finland, the Federation of the Finnish Building Industry y la fundación Wihuri. (p.16)

Es gracias a los aportes iniciales de Taiichi Ohno y a la tesis doctoral de Lauri Koskela en el año 1992 que se inicia la filosofía Lean Construction. Actualmente el desarrollo y difusión de nuevos conocimientos de esta filosofía viene transmitiéndose a través del Lean Construction Institute que fue formado por Glenn Ballard y Gred Howell en 1997.

2.2.2. Definición de Lean Construction

Dauber (2003) afirma que no hay una definición explícita universal aceptada de Lean Construction; por otro lado, Inokuma (2017) señala que el primer problema al introducir Lean Construction en Japón es que su definición no está clara. De igual manera Mossman (2018) menciona que no existe una definición acordada de Lean

Construction y que esto es un problema para algunos y para otros no, dentro de la comunidad Lean.

Cabe resaltar que, a pesar de que Lean Construction ha recibido mayor atención de los académicos y profesionales en las últimas dos décadas, aún es difícil definir exactamente qué significa el término “Lean Construction”. (Pekuri, Herrala, Aapaoja & Haapasalo, 2012).

No solamente el termino Lean Construction no tiene una definición establecida, también el termino Lean llevado a las industrias presenta este problema. O’Neil (2016), afirma que Lean no tiene una definición acordada, tiene muchas, (...), esto es tema de discusión entre académicos y profesionales. No tener una definición específica no ha impedido que Lean se aplique con éxito en la industria automotriz.

Koskela, Howell, Ballard & Tommelein (2002) definieron Lean Construction como una forma de diseñar sistemas de producción para minimizar el desperdicio de materiales, tiempo, y esfuerzo a fin de generar el máximo posible de valor.

Para Salem & Zimmer (2005), Lean Construction es un continuo proceso de eliminación de desperdicios, que cumple o excede todos los requisitos del cliente, se enfoca en todo el flujo de valor y persigue la perfección en la ejecución de un proyecto construido.

Para Abdelhamid (2007), Lean Construction es una combinación de investigación operativa y desarrollo practico en diseño y construcción con una adaptación de los principios y prácticas de Lean Manufacturing al proceso de diseño y construcción de extremo a extremo.

Para Orihuela (2011), Lean Construction “Es una nueva forma de producción, cuyo objetivo es eliminar y/o minimiza las perdidas en los recursos que usamos para construir un proyecto, a fin de generar el máximo valor posible para los clientes”. (p.1)

Para Rodríguez y Valdez (2012), “el concepto básico de Lean Construction es la producción compuesta de Flujos y Conversiones para un determinado producto. Esta filosofía está basada en el tiempo como parámetro de control”. (p.87)

Según Lean Construction Institute - Canadá (2019), Lean Construction es una nueva forma de definir, diseñar y construir, y se puede usar en cualquier proyecto, con cualquier modelo de entrega de proyectos, y además es un sistema de entrega de proyectos basado en gestión de producción que enfatiza la entrega rápida y confiable.

Además, Mossman (2018), concluye que Lean es una colección práctica de teorías, principios, axiomas, técnicas y formas de pensar que juntas y separadas pueden ayudar a individuos y equipos a mejorar los procesos y sistemas en los que trabajan.

Ciertamente ésta es la definición más acertada que puede tener Lean y que llevada a la industria de la construcción sería: Lean Construction es una colección practica de teorías, principios, axiomas, técnicas y formas de pensar que juntas y separadas pueden ayudar a los profesionales vinculados a la industria de la construcción a mejorar sus procesos y sistemas en todo el desarrollo de sus proyectos.

2.2.3. Conceptos de la filosofía Lean Construction

2.2.3.1. Valor

Castillo (2014) argumenta que:

Una de las principales metas y características de la filosofía Lean es la generación de valor al cliente, en la bibliografía de la filosofía se menciona casi siempre la palabra “valor”, diferentes autores mencionan que los proyectos deben generar la máxima cantidad de valor a los clientes, se establecen teorías donde se incluye este concepto, sin embargo, habría que preguntarse ¿cuál es el concepto de valor? o ¿qué entendemos cómo valor? Si bien este concepto es usado por muchos autores, su definición no ha sido totalmente clara en los diferentes artículos propuestos por el Grupo Internacional de la Construcción Lean. (p.11)

Tener algo de noción sobre la importación del valor es fundamental para poder optimizar proyectos así como sistemas de producción destinados a entregar valor. La literatura Lean Construction no proporciona una respuesta clara sobre este tema. (Drevlan y Tillmann, 2018)

Para Thomson, Austin, Devine-Wright y Mills (2003), es importante distinguir valor y valores, uno no es el plural del otro. Los valores son subjetivos porque enmarcan los juicios hechos por individuos u organizaciones. El valor, por otro lado, se relaciona con las evaluaciones sobre los productos y puede ser subjetivo, si se mantienen internalizados dentro del individuo u organización, u objetivos si estos se expresan. En este último caso, la evaluación y medición del valor pueden informar acciones de gestión.

Salvatierra, Pasquire y Miron (2012), realizaron un análisis de artículos relacionados con el concepto de valor y concluyeron indicando que identificaron tres ideas centrales para el concepto del valor:

(1) el valor todavía se considera un concepto ambiguo porque diferentes interpretaciones contribuyen a su comprensión, y los aspectos más subjetivos se consideran una parte importante de este concepto;

(2) la mayoría de los esfuerzos han tratado principalmente de entregar valor a nivel de proyecto, donde la reducción de desperdicios y la planificación y control de las actividades en el sitio de construcción han sido actividades clave vinculadas al valor; y

(3) se han realizado varios esfuerzos principalmente para cumplir con los requisitos particulares de los clientes.

Al no existir un concepto claro sobre la definición de valor en el marco de Lean Construction, se tomará como referencia el concepto que da Castillo (2014) al valor:

El valor es la utilidad que percibirá el cliente final acerca de un determinado producto, la medida del valor de un producto estará en relación al grado de satisfacción que el cliente encuentre en el producto. Para entender el valor percibido por el cliente, es necesario conocer a nuestro cliente, tratar de pensar como ellos y hacer un análisis de los beneficios que pueda ofrecer nuestro producto al cliente; como último hacer una evaluación post ocupación. (p.14)

2.2.3.2. Modelo de conversión de procesos VS Modelo de flujo de procesos

En el modelo de conversión, un proceso de producción es la conversión de una materia prima en un producto terminado. El modelo de conversión de procesos es la forma clásica en que se representan los trabajos individuales en la construcción. Este es, además, el formato mental mediante el cual muchos representamos el trabajo. Así, este formato se usa para los conocidos CPM (Critical Path Method), WBS (Work Breakdown Structure) y otros formatos estándares de representación del trabajo. Cada actividad (digamos, asentar ladrillos vaciar concreto, colocar encofrado, etc.) se enmarca dentro de un rectángulo y otra figura. Cada rectángulo representa una conversión de materiales en bruto en algún producto terminado o en un proceso intermedio. Las flechas que unen dichos rectángulos nos indican la secuencia de las actividades, es decir qué precede a qué. La función principal del modelo de conversión de procesos es generar una descomposición jerárquica del trabajo, de forma que estas actividades descompuestas puedan ser controladas y optimizadas. (Ghio, 2001, p.24)

Koskela (1992), añade que, el proceso de conversión; sin embargo, está fundamentalmente errado. Al centrarse en las conversiones, el modelo elimina el concepto de flujos físicos que existen entre los procesos de conversión. Estos flujos consisten principalmente de movimientos, esperas e inspecciones. En cierto modo, el modelo conversión es una idealización correcta; desde el punto de vista del cliente tales actividades no son necesarias ya que no agregan valor al producto final; sin embargo, en la práctica, el modelo se ha interpretado de manera que (1) estas actividades que no agregan valor se pueden dejar de considerar o (2) todas las actividades son actividades de conversión; por lo tanto, se consideran como valor agregado.

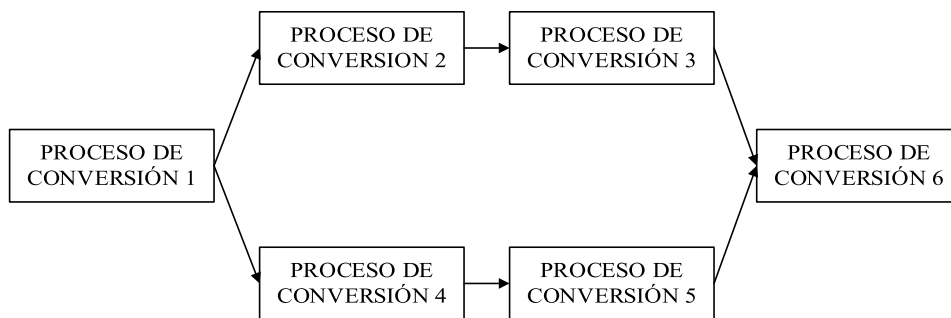


Figura 1. Modelo de conversión de procesos.
Fuente: Ghio (2001)

Ghio (2001) añade que:

El modelo de flujo de procesos, por su parte, ve el trabajo como un flujo de información compuesto por la conversión propiamente dicha, la inspección, los transportes y las esperas. Su principal objetivo se centra en la eliminación de pérdidas y a la reducción de tiempos de cada actividad. Este enfoque, en cual se pasa de una visión en la que solo se considera el proceso de conversión a un esquema mental donde se toman en cuenta los flujos que conectan el trabajo, permite dividir el trabajo en trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo no contributorio (TNC) con mayor facilidad. Por otra parte el modelo de flujos representa con mayor exactitud la realidad. Por ejemplo, en la actividad de asentado de ladrillo, no solo tenemos el mero asentado del ladrillo y la mezcla. Dentro de la actividad tenemos el transporte de los ladrillos y mezcla desde el punto de recepción y preparación hasta el punto de colocación, la preparación de la mezcla, el mojado de ladrillos, la preparación de los andamios, las esperas varias, las instrucciones, las mediciones, las inspecciones, la repetición de trabajos mal ejecutados, por solo mencionar algunas otras actividades. En el caso del modelo de conversión, solo se representa la conversión propiamente dicha, obviándose el resto de los trabajos componentes de la actividad total. La

conversión en sí, generalmente tiene algún nivel de pérdidas (TC y TNC); sin embargo, la mayor concentración de estas está en el resto de trabajos incluidos principalmente en los flujos. El modelo de conversión, por lo tanto, se olvida de las pérdidas, lo cual dificulta encontrarlas y eliminarlas en la práctica. Esta es una de las razones teóricas por las que el nivel de TP es tan bajo en la construcción. (pp.25-26)

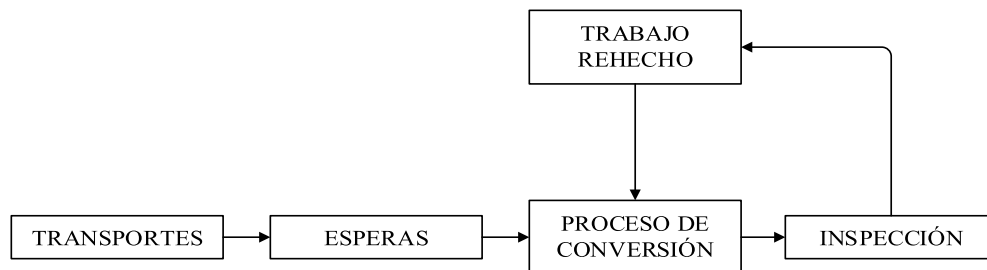


Figura 2. Modelo de flujo de procesos.

(Cada proceso se representa como la combinación de TP, TC y TNC). Fuente: Ghio

(2001)

Ghio (2001) concluye afirmando que:

En resumen, para el modelo de representación de trabajo tradicional (modelo de conversión de procesos), las actividades de producción son concebidas como un grupo de operaciones o funciones que son controladas, operación por operación, para obtener menores costos y mejorar periódicamente con respecto a la productividad, al implementar nuevas tecnologías. Para una nueva filosofía de producción (modelo de flujo de procesos), las actividades de producción son concebidas como el flujo de procesos de materiales e información, los cuales son controlados apretadamente para obtener una mínima variabilidad y mínimos tiempos; estos son mejorados continuamente con respecto a la reducción/eliminación de pérdidas y generación de valor así como sometidos a perfeccionamientos periódicos con respecto de la eficiencia mediante la implementación de nuevas tecnologías. (pp.26-27)

2.2.3.3. Productividad

Ghio (2001) declara que la productividad es el resultado de dividir la producción entre los recursos usados en dicha producción. “Una aproximación a la definición de productividad presenta la relación existente entre lo producido y lo gastado” (Botero & Álvarez, 2004, p.51).

Para Guzmán (2014) la productividad “se podría definir como una relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para

obtenerla. Lo que significa que una productividad mayor implica una mayor producción utilizando la misma cantidad de recursos” (p.23).

La producción ha sido un tema de estudio explícito principalmente en Ingeniería Industrial, donde mayormente se ha tratado solo un tipo de producción; la manufactura (en el sentido de 'hacer'), con solo incursiones ocasionales en la construcción, mantenimiento de plantas, mantenimiento de edificios, agricultura, silvicultura, minería, pesca, etc. El diseño y la ingeniería se han concebido con poca frecuencia como procesos de producción; el foco está puesto casi enteramente en “hacer cosas” en lugar de “diseñarlas” (Ballard, 2000).

Miranda (2012) considera que “la Producción es sinónimo de ‘hacer’, y se puede entender como el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas, con la finalidad de obtener un producto que es destinado a un cliente” (p.30).

2.2.3.4. Trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio

Serpell (como se citó en Guzmán, 2014) declara que, según estudios sobre la ocupación del tiempo de los trabajadores en la construcción se consideró que los trabajadores pueden realizar tres tipos de actividades.

Trabajo Productivo (TP)

“Corresponde a las actividades que aportan en forma directa a la producción de alguna unidad de construcción. Ejemplo, vaciar concreto, asentar ladrillos, colocar cerámicos, etc.” (Guzmán, 2014, p.23)

Trabajo Contributorio (TC)

Es el trabajo de apoyo, se define como el trabajo que es necesario para que se pueda ejecutar el trabajo productivo, pero que no aporta valor a la unidad de construcción. Es considerado una pérdida de segunda categoría y se debe minimizar al máximo posible para mejorar la productividad. Ejemplo, recibir y dar indicaciones, leer planos, transporte de material, etc. (Guzmán, 2014, p.23)

Trabajo No Contributorio (TNC)

Corresponde a cualquier otra actividad realizada por el trabajador y que no se clasifica en las anteriores categorías, por lo tanto se consideran pérdidas, ya que son actividades que no son necesarias, tienen un costo y no agregan valor por lo que se busca eliminarlas para mejorar el proceso productivo. Ejemplo, esperas, descansos, trabajo rehecho, etc. (Guzmán, 2014, p.23).

2.2.3.5. Desperdicios o Perdidas

Ghio (2001) afirma que “la perdida es toda aquella actividad que tiene un costo, pero que no agrega valor al producto terminado”. (p.22)

Koskela (como se citó en Arshad, Qasim, Thaheem, y Gabriel, H. F, 2017) declara que el desperdicio es cualquier incompetencia que resulta en el uso de herramientas, material, mano de obra, equipo y capital en una cantidad mayor que los medidos como esenciales para la construcción. Más aun, los desperdicios abarcan pérdidas en materiales y trabajo excesivo, producen un costo adicional para el proyecto, pero no agregan valor al producto.

Así mismo Rodríguez y Valdez (2012) agregan que las pérdidas se presentan tanto en los procesos como en los flujos que la conectan, de modo que, las pérdidas en los flujos ocurren cuando los procesos se detienen por falta de información, recursos, directivas, actividades previas no ejecutadas; y las pérdidas en los procesos ocurren cuando la cantidad de recursos (mano de obra, equipos, materiales, etc.) usados en un proceso son excesivos para la cantidad de trabajo producido.

Por lado Skhmot (2017) indica que existen 8 tipos de desperdicios, Ver figura 3. Los siete desperdicios originales fueron desarrollados por Taiichi Ohno, el Ingeniero Jefe de Toyota, como parte del Toyota Production System (TPS). Los siete desperdicios son Transporte, Inventario, Movimiento, Espera, Sobre producción, Sobre procesamiento y Defectos. El octavo desperdicio de talento no utilizado o “habilidades” de los trabajadores se introdujo más tarde en la década de los 1990s cuando la TPS fue adoptada en el mundo occidental.



Figura 3. Los 8 Desperdicios Lean.

Fuente: traducido de <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean> (revisado el 10-09-

18)

a) Transporte

El desperdicio en el transporte incluye el movimiento de personas, herramientas, inventario, equipo o productos más allá de lo necesario. El movimiento excesivo de materiales puede provocar daños y defectos en el producto. Además, el movimiento excesivo de personas y equipos puede provocar un trabajo innecesario, un mayor desgaste y agotamiento (Skhmot, 2017).

b) Inventario

Muchas veces es difícil pensar en el exceso de inventario como un desperdicio. En contabilidad, el inventario se considera un activo y muchas veces los proveedores ofrecen descuentos por compras en grandes cantidades. Sin embargo, tener más inventario del necesario para mantener un flujo constante de trabajo puede ocasionar problemas que incluyen: defectos del producto o materiales dañados, mayor tiempo de entrega en el proceso de producción, una asignación ineficiente de capital y problemas que se ocultan en el inventario. El exceso de inventario puede ser causado por compras excesivas, sobreproducción de trabajo en proceso (WIP) o produciendo más productos de los que necesita el cliente. El exceso de inventario evita la detección de problemas relacionados con la producción, ya que los defectos tienen tiempo para acumularse antes de que se descubran. Como resultado, se necesitará más trabajo para corregir los defectos (Skhmot, 2017).

c) Movimiento

El desperdicio en movimiento incluye cualquier movimiento innecesario de personas, equipos o maquinaria. Esto incluye caminar, levantar objetos, estirarse, estirarse y moverse. Las tareas que requieren un movimiento excesivo deben ser rediseñadas para mejorar el trabajo del personal y aumentar los niveles de salud y seguridad (Skhmot, 2017).

d) Espera

El desperdicio de espera incluye: 1) personas que esperan en material o equipo y 2) equipo o maquinaria inactiva. El tiempo de espera a menudo es causado por la irregularidad en las estaciones de producción y puede resultar en un exceso de inventario y sobreproducción (Skhmot, 2017).

e) Sobre producción

La sobre producción se produce cuando se fabrica un producto o un elemento del producto antes de que se solicite o requiera. Puede ser tentador producir tantos productos como sea posible cuando hay tiempo de trabajo o equipo inactivo. Sin embargo, en lugar de producir productos justo cuando son necesarios según la filosofía 'Just In Time', la forma de trabajar 'Just In Case' conlleva una serie de problemas que incluyen la prevención del flujo de trabajo sin problemas, mayores costos de almacenamiento y ocultación de defectos dentro de la WIP, requiriendo más gastos de capital para financiar el proceso de producción, y un tiempo de entrega excesivo. Además, la producción excesiva de un producto también conduce a un aumento en la probabilidad de que el producto o las cantidades de productos producidos estén más allá de los requisitos del cliente (Skhmot, 2017).

f) Sobre procesamiento

El sobre procesamiento se refiere a hacer más trabajo, agregar más componentes o tener más pasos en un producto o servicio que lo que requiere el cliente. En la fabricación, esto podría incluir el uso de un equipo de mayor precisión de lo necesario, el uso de componentes con capacidades que van más allá de lo que se requiere, la ejecución de más análisis de los necesarios, la ingeniería excesiva de una solución, el ajuste de un componente después de que ya se haya instalado, y tener más funcionalidades en un producto de lo necesario. En la oficina, el procesamiento excesivo puede incluir generar informes más detallados de lo necesario, tener pasos innecesarios en el proceso de compra, requerir firmas innecesarias en un documento, doble entrada

de datos, requerir más formularios de los necesarios y tener un paso adicional en un flujo de trabajo (Skhmot, 2017).

g) Defectos

Los defectos se producen cuando el producto no es apto para su uso. Por lo general, esto da como resultado la modificación del trabajo o el desguace del producto. Ambos resultados son inútiles ya que agregan costos adicionales a las operaciones sin entregar ningún valor al cliente (Skhmot, 2017).

h) Habilidades – La 8va perdida

A pesar de que no formaba parte del Sistema de producción de Toyota (TPS), muchas personas conocen bien el octavo desperdicio: el desperdicio del potencial humano. El octavo desperdicio también se describe como el desperdicio de talento humano no utilizado e ingenio. Este desperdicio ocurre cuando las organizaciones separan el rol de la administración de los empleados. En algunas organizaciones, la responsabilidad de la administración es planificar, organizar, controlar e innovar el proceso de producción. El rol del empleado es simplemente seguir las órdenes y ejecutar el trabajo según lo planeado. Al no comprometer el conocimiento y la experiencia del trabajador de primera línea, es difícil mejorar los procesos. Esto se debe al hecho de que las personas que realizan el trabajo son las más capaces de identificar problemas y desarrollar soluciones para ellos (Skhmot, 2017).

2.2.3.6. Variabilidad

Guzmán (2014) señala que:

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

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

confiabilidad cae enormemente hasta un valor del 8% para 50 actividades predecesoras. (pp.24)

Tabla 1.

Porcentajes de confiabilidad en actividades predecesoras

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

Nota. Fuente: Capitulo Peruano Lean Construction Institute (como se citó en Guzmán, 2014)

Guzmán (2014) concluye declarando que:

Por todo lo expuesto se entiende que se tiene que hacer algo para atacar la variabilidad, el primer paso debería ser disminuirla a medida de lo posible para tener una variabilidad mínima, luego de esto se tienen que plantear herramientas dentro de la obra para disminuir el impacto negativo que genera. (pp.24-25)

2.2.3.7. Sistema Push vs Sistema Pull

Soberanis (2014) afirma que:

El método que se utiliza para introducir materiales o información en el proceso de producción se denomina sistema de arrastre o Pull System. En cambio, se tiene en contraposición el sistema de empuje o Push System, que consiste en empujar las entradas hacia un proceso basado en metas de entregas o fechas límites (p.41).

El sistema Push, según Kalsaas et al. (2015), está estrechamente vinculado a la Planificación de requisitos de materiales, donde los planes de producción para cada estación de trabajo en una cadena de producción se desarrollan individualmente. Hay algunas desventajas para este sistema. Por ejemplo, si se producen problemas en una estación de trabajo posterior en la cadena, el trabajo en proceso se acumulará frente a la estación de trabajo con un tiempo de inactividad inesperado. Un sistema Pull, por otro lado, reduce la demanda de material de la estación de trabajo precedente, ya que solo produce materiales de acuerdo con la demanda. Esta dinámica se propaga hacia atrás en la cadena de producción.

En la figura 4 se muestra el proceso de los sistemas de empuje (Push System) que se viene realizando tradicionalmente en la ejecución de los proyectos de construcción.

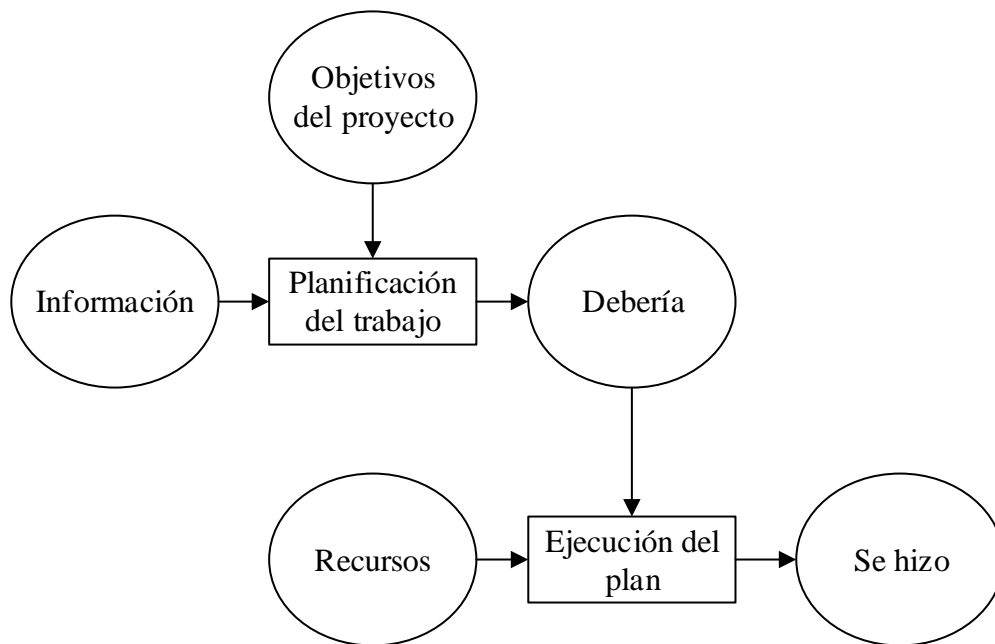


Figura 4. Sistema de empuje (Push System) tradicional de planificación.
Fuente: traducido de Ballard (2000).

El sistema Pull para Kalsaas, Skaar y Thorstensen (2015) se define como un proceso de trabajo posterior que extrae materiales de un proceso anterior. Este mecanismo permite reducir la cantidad de trabajo en proceso, en comparación con el mecanismo de control Push.

En la figura 5 se muestra el sistema de arrastre (Pull System) perteneciente al Last Planner System.

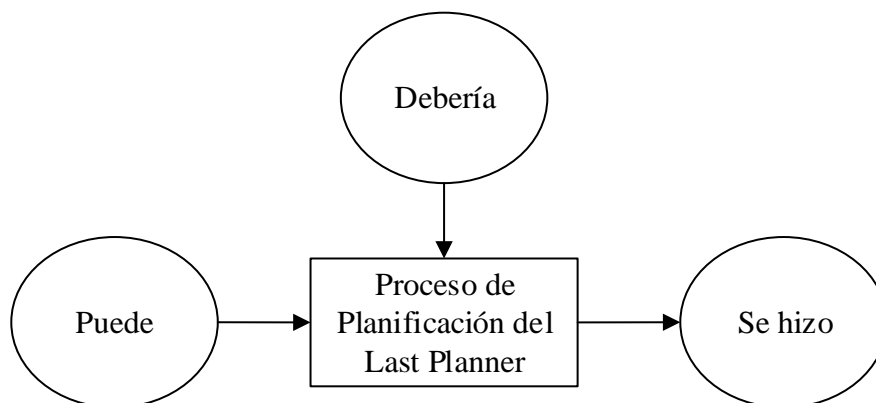


Figura 5. Sistema de arrastre (Pull System) de planificación del Last Planner System.
Fuente: traducido de Ballard (2000).

Sanchis (2013) declara que la construcción ha sido tradicionalmente un sistema Push, es decir, se programan las actividades de adelante hacia atrás, y unas “empujan” a otras para cumplir los plazos y conseguir los objetivos. Por el contrario, en un sistema Pull, la programación se realiza de atrás hacia adelante. La ventaja de este sistema es que las actividades se iniciarán cuando realmente sea necesario y se conseguirá ver con anticipación posibles conflictos entre actividades.

Kalsaas, Skaar y Thorstensen (2015) admiten que, realizar Pull no siempre es la mejor opción. Los autores argumentan que la elección de Pull, Push o una combinación de ambos debe basarse en la dinámica de producción en cuestión.

2.2.4. Principios Lean Construction

Inicialmente Koskela (1992) presento 11 principios Lean Construction que fueron creados para el diseño y mejora de los procesos de flujo, estos son:

1. Reducir la participación en actividades que no agregan valor.
2. Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de las necesidades de los clientes.
3. Reducir la variabilidad.
4. Reducir el tiempo de ciclo.
5. Simplificar minimizando el número de pasos, partes y enlaces.
6. Aumentar la flexibilidad de salida.
7. Incrementar la transparencia del proceso.
8. Enfocar el control en el proceso completo.
9. Construir mejoras continuas en el proceso.
10. Mantener el equilibrio entre mejoras en los flujos y las mejoras de las conversiones.
11. Punto de referencia (BenchMarking).

Posteriormente Sacks, Dave, Koskela y Owen (2009) indican que, muchos autores han previsto listas de principios Lean (Liker 2003; Schonberger 1996; Womack and Jones 2003) y en la literatura de Lean Construction (Koskela 1992; Koskela 2000), por lo que presentan una lista de principios que han sido compilados específicamente para el análisis de las interconexiones entre Lean Construction y BIM.

1. Reducir la variabilidad

Este es un principio fundamental que se ha derivado a través de dos corrientes, la ingeniería industrial e ingeniería de calidad, el objetivo principal es reducir la variabilidad en las características significativas del producto, y reducir la variabilidad temporal de los flujos de producción; estos dos tipos de variabilidad interactúan de forma compleja (Sacks et al., 2009).

2. Reducir el tiempo del ciclo

Debido a que la variabilidad expande los tiempos de ciclo, este principio puede usarse como un impulsor para la reducción de la variabilidad. Sin embargo, la reducción de los tiempos de ciclo también tiene valor intrínseco. Debido a la conexión de definición entre trabajo en curso y tiempo de ciclo (expresado en la Ley de Little), este principio es aproximadamente equivalente a la reducción de inventario (Sacks et al., 2009),

Koskela (como se citó en Sacks et al., 2009) indica que, en la construcción, la reducción de los tiempos del ciclo debe centrarse en varios niveles de análisis: la duración total de la construcción, la etapa de construcción, el flujo de materiales (desde la fábrica hasta la instalación) y la tarea.

3. Reducir el tamaño del lote

Denominado también lucha por el flujo de una sola pieza, es una técnica eficaz para reducir la expansión de los tiempos de ciclo debido a la preparación de lotes (Sacks et al., 2009).

Sacks y Goldin (como se citó en Sacks et al., 2009) afirman que, en la construcción, se necesitan conceptualizaciones abstractas de “productos” que se pueden contar en un lote. Estos se suelen predefinir como conjuntos de tareas realizadas en espacios distintos, como apartamentos.

4. Aumentar la flexibilidad

La flexibilidad reduce los tiempos de ciclo y, por otra parte, simplifica el sistema de producción. En la construcción, los equipos con múltiples habilidades proporcionan un ejemplo. Los tiempos reducidos de preparación o cambio aumentan la flexibilidad de enrutamiento con tiempos de ciclo cortos (Sacks et al., 2009).

5. Seleccionar un enfoque de control de producción adecuado

En un sistema Pull, una actividad productiva se desencadena por la demanda de una estación de trabajo (o cliente) en sentido descendente, mientras que en un sistema Push, un plan empuja las actividades a la realización. El sistema Pull se ha asociado estrechamente con la filosofía Lean. Nivelar la producción facilita las operaciones de un

sistema Pull. En la construcción, el sistema Push se realiza a través de planos y horarios. El procedimiento de Look-ahead en el Last Planner System proporciona un ejemplo de realización de Pull. (Sacks et al., 2009).

Huang y Kusiak (como se citó en Sacks et al., 2009) indican que, sin embargo, en realidad la mayoría de los sistemas de control de producción son sistemas mixtos push-pull, y la tarea es seleccionar el mejor método para cada etapa de producción.

6. Estandarizar

La estandarización del trabajo sirve a varios objetivos. En ella tanto la variabilidad temporal como la variabilidad de las características del producto pueden reducirse, y la mejora continua está habilitada. Los trabajadores también están facultados para mejorar su trabajo (Sacks et al., 2009).

7. Instituir la mejora continua

A través de la mejora continua, se puede reducir la variabilidad, y también se puede mejorar la tecnología de forma incremental. (Sacks et al., 2009).

8. Utilizar gestión visual

La gestión visual está estrechamente relacionada con la estandarización, donde la visualización de los métodos de producción ofrece un fácil acceso a los estándares y respalda su cumplimiento. También está estrechamente relacionado con la mejora continua, ya que la visualización de los procesos de producción permite que los trabajadores perciban el estado del proceso y las medidas de mejora. (Sacks et al., 2009).

9. Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor

Este principio subraya la importancia del diseño del sistema de producción (esta frase pretende cubrir también el desarrollo del producto y la etapa de diseño). En general, los criterios derivados de los dos conceptos de producción deben usarse en este esfuerzo. Otra cuestión importante es que el diseño del sistema de producción debe respaldar el control de la producción y la mejora continua. Existen varias heurísticas para el diseño del sistema de producción, que aconsejan simplificación, uso de procesamiento paralelo y solo tecnología confiable. Desde el punto de vista del valor, asegurar la capacidad del sistema de producción es importante (Sacks et al., 2009).

10. Asegurar la captura integral de los requisitos

Este es el primer principio que aborda únicamente el concepto de generación de valor. Por razones obvias, la generación de valor requiere la captura de requisitos

integrales. En la práctica, esta es una etapa notoriamente problemática (Sacks et al., 2009).

11. Centrarse en la selección del concepto

El diseño se divide en concepto de diseño y diseño de detalle. El desarrollo de diferentes conceptos y su evaluación deben abordarse con el énfasis necesario, ya que existe una tendencia natural a apresurarse hacia el diseño de detalles (Sacks et al., 2009).

Para Parrish (como es citado en Sacks et al., 2009) el conjunto basado en diseño es una aplicación de este principio que se aplica al diseño de edificios.

12. Asegurar el requisito de flujo descendente

El siguiente desafío, desde el punto de vista de la generación de valor, es garantizar que todos los requisitos del flujo descendan hasta el punto donde se diseñan y producen las partes más pequeñas del producto. (Sacks et al., 2009).

13. Verificar y validar

También en el ámbito de la generación de valor, este principio, es bien conocido por el modelo V de ingeniería de sistemas, recuerda que la intención no es suficiente, pero todos los diseños y productos deben verificarse según las especificaciones y validarse según los requisitos del cliente. (Sacks et al., 2009).

14. Ve a ver por ti mismo

Liker (como es citado en Sacks et al., 2009) señala que este principio (de ir la “gembu”) enfatiza la importancia de la observación personal, en lugar de los informes y los rumores.

Si bien la tendencia tradicional en la construcción ha sido resolver problemas in situ, este principio tiende a enfatizar la importancia de las visitas al sitio de aquellos que normalmente no las practican: por ejemplo, estimadores y gestores. (Sacks et al., 2009).

15. Decidir por consenso, considerar todas las opciones

Liker (como es citado en Sacks et al., 2009) afirma que este principio deriva de las prácticas de Toyota.

Ampliando el círculo de personas que intervienen en la toma de decisiones, se puede garantizar una base de conocimiento más amplia para las decisiones. Al ampliar el número de opciones consideradas, aumenta la probabilidad de encontrar la mejor solución práctica. (Sacks et al., 2009).

16. Cultivar una red extendida de socios

Este principio implica que se debe construir, desafiar y ayudar a mejorar una amplia red de socios. En la construcción, esto puede suceder en el marco de un proyecto (alianza), o en una base a más largo plazo (acuerdos marco) (Sacks et al., 2009).

En la Tabla 1 se aprecia el área principal que se encuentra involucrada con los principios de Sacks, Dave, Koskela y Owen (2009).

Tabla 2.

Principios Lean Construction en línea con el BIM (Building Information Modeling)

<u>Área Principal</u>	<u>Principios</u>
Flujo de proceso	Reducir la variabilidad Conseguir la calidad correcta en el primer intento (reduce la variabilidad de producción). Enfocarse en mejorar la variabilidad del flujo ascendente (reduce la variabilidad de producción). Reducir el tiempo del ciclo Reducir la duración de los ciclos de producción. Reducir el inventario. Reducir el tamaño del lote Aumentar la flexibilidad Reducir los tiempos de cambio. Usar equipos con habilidades múltiples. Seleccionar un enfoque de control de producción adecuado Usar el sistema PULL. Nivelar la producción. Estandarizar Instituir la mejora continua Utilizar gestión visual Visualizar los métodos de producción. Visualizar los procesos de producción. Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor Simplificar. Usar procesamientos paralelos. Usar solo tecnología confiable. Asegurar la capacidad del sistema de producción.

Proceso de generación de valor	Asegurar la captura integral de los requisitos Centrarse en la selección del concepto Asegurar el requisito de flujo descendente Verificar y validar
Resolver problemas	Ve a ver por ti mismo Decidir por consenso, considerar todas las opciones
Desarrollar socios	Cultivar una red extendida de socios

Nota. Fuente: Traducido de Sacks, Dave, Koskela y Owen (2009)

2.3. Herramientas Lean Construction

Dentro de las herramientas que ofrece Lean Construction podemos encontrar las siguientes:

2.3.1. Buffer de tiempo

Chávez y de la Cruz (2014) afirman “debido a la gran variabilidad presente en la construcción, los buffers son los “colchones” que se planifican para que, ante cualquier eventualidad, este no nos genere perdidas.” (p.44)

Rodríguez y Valdez (2008) mencionan que el buffer o amortiguador de tiempo “está basado en la Teoría de Goldratt sobre manejo de tiempo en los proyectos, y que se explica en su libro: “Cadenas Criticas”. Este amortiguador, nos permite asegurar el éxito en el cumplimiento de plazo del Proyecto”. (p.47),

Además, Rodríguez y Valdez (2008) dicen que el buffer o amortiguador de plazo del proyecto en la construcción, obedece a la siguiente regla practica: Considerar un buffer de 10 al 20% del plazo (en días útiles), correspondiendo al equipo de trabajo involucrado (Gerente de proyecto, Planificador, Ingenieros de campo) optar por el buffer de 10% o 20% o el promedio de ambos valores.

Rodríguez y Valdez (2008) afirman “Normalmente se establece que en un mes hay en promedio 30 días calendario y 25 días útiles; podemos establecer como un factor de conversión: 30 días calendario / 25 días útiles = 1.20. Por tanto, si un proyecto tiene una duración de 360 días calendario, debemos convertirlo a días útiles: $360 / 1.20 = 300$ días útiles”. (p.26)

Rodríguez y Valdez (2008) ponen como ejemplo a lo anterior dicho:

- Duración del proyecto:

570 días calendario.

$570 / 1.20 = 475$ días útiles.

- Buffer de amortiguador de plazo del proyecto:

10% de 475 = 48 días útiles.

20% de 475 = 96 días útiles.

El gerente de Proyecto debe tomar la decisión de definir el buffer, en base a los cálculos anteriores.

2.3.2. Sectorización

Para Guzmán (2014), “se llama sectorización al proceso de división de una actividad o tarea de la obra en porciones más pequeñas llamadas sectores, cada sector deberá comprender un metrado aproximadamente igual a los demás para así mantener un flujo continuo entre sectores”. (p.27)

Chávez (2015) afirma que:

El mismo procedimiento que se emplea en la industria manufacturera al subdividir un lote de producción en pequeños lotes de transferencia con el fin de optimizar el flujo de recursos y dar mayor fluidez a los procesos, es posible desarrollarlo en la industria de la construcción por medio de la sectorización, es decir subdividir una partida o actividad de la obra en partes menores llamados sectores. Estos sectores deben contar con metrados semejantes o volúmenes similares de trabajo para facilitar su programación, de manera que se pueda implementar flujos continuos de producción a través del tren de actividades, en las que las cuadrillas de trabajo separadas por especialidad y dimensionadas según sus rendimientos históricos, puedan ejecutar sus tareas, sin interrupciones y provocar mediante el aprendizaje continuo mejoras en sus rendimientos. (p.52-53)

2.3.3. Tren de actividades

Guzmán (2014) afirma que:

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

trabajo, además de poder identificar fácilmente los avances a través de la ubicación de las cuadrillas en un sector determinado. (p.28)

Guzmán (2014) concluye diciendo que:

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

- Incrementa la productividad.
- Mejora la curva de aprendizaje.
- Se puede saber lo que se avanzara y gastara en el día.
- Se puede saber el avance que se tendrá en un día determinado.
- Disminuye la cantidad de trabajos rehechos. (p.29)

2.3.4. Last Planner System (LPS)

El Last Planner System es una herramienta de la filosofía Lean Construction que se ubica dentro del LPDS en la fase de control de la producción y engloba otras herramientas de control de producción como la planificación maestra, planificación por fases, lookahead, plan semanal, porcentaje de plan cumplido y causas de no cumplimiento. (Guzmán, 2014, p.31)

El Last Planner System fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell como un sistema de control y planificación de la producción para ayudar a los proyectos a suavizar la variabilidad en el flujo de trabajo de construcción, desarrollar la previsión de planificación y reducir la incertidumbre en las operaciones de construcción. Si bien el sistema comenzó como una herramienta de planificación de la producción para administrar el flujo de trabajo a nivel del plan de trabajo semanal, pronto se expandió para convertirse en un sistema de control y planificación de la producción que combina cuatro procesos principales de planificación: (1) planificación maestra (master scheduling), (2) planificación de fases (phase scheduling), (3) planificación anticipada (Lookahead Planning) y (4) planificación semanal del trabajo (weekly work planning), (Hamzeh, 2009).

Además, el Last Planner System inicialmente fue presentado también para mejorar la planificación contrarrestando los obstáculos más comunes en la industria de la construcción que para el autor son: 1) El enfoque de la gerencia está en el control (prevenir un cambio malo) y descuida el avance (que causa un buen cambio). 2) La planificación no se concibe como un sistema, sino que se entiende plenamente en términos de las habilidades y talentos de las personas que tienen a cargo la planificación. 3) La planificación se entiende en términos de programación y la

planificación a nivel de equipo se descuida. 4) No se mide el desempeño del sistema de planificación. 5) Las fallas de planificación no se analizan para identificar y actuar sobre las causas raíz. (Ballard, 1994)

La Figura 6 muestra el Last Planner System en cuatro niveles de procesos de planificación con diferentes intervalos cronológicos: planificación maestra (master scheduling), planificación de fases (phase scheduling), planificación anticipada (Lookahead Planning) y planificación semanal del trabajo (weekly work planning).

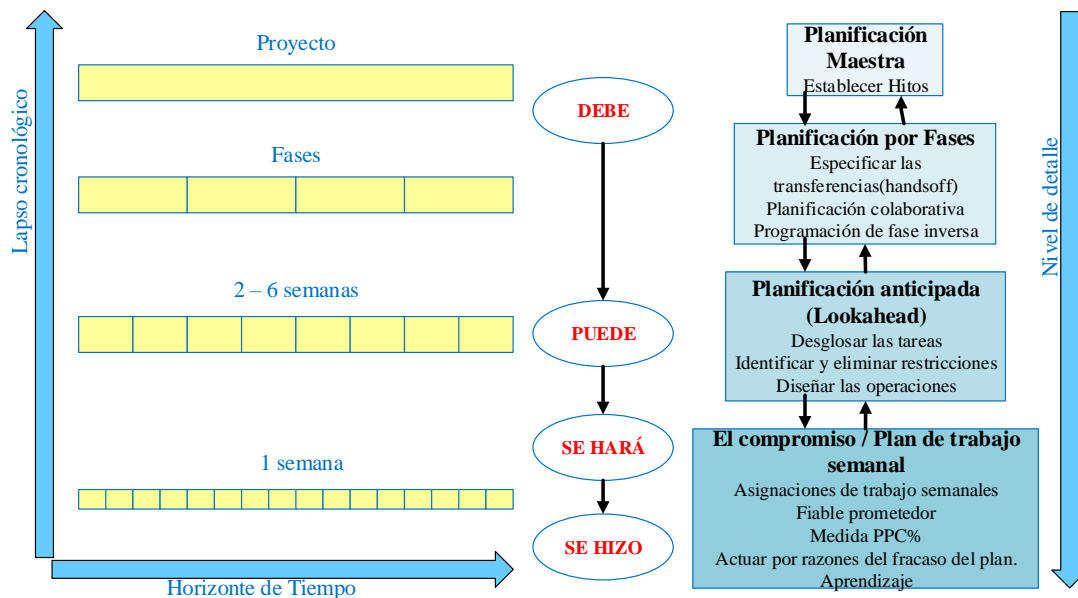


Figura 6. Niveles o etapas de planificación en el Last Planner System para planificación y control de producción.

Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

La figura 7 presenta un mapa de proceso que destaca los pasos principales que las personas (planificadores) deben realizar durante la planificación y el control del proyecto, tal como lo recomienda el LPS.

La Figura 8 presenta el desarrollo del cronograma utilizando el LPS desde las fases (bloques) a los procesos (rocas) y luego a las operaciones (gravillas) a través de cuatro procesos de planificación que dan como resultado cuatro niveles de cronogramas: (1) planificación maestra, (2) planificación por fases, (3) planificación anticipada, y (4) plan de trabajo semanal.

La Figura 9 presenta un ejemplo de desglose de tareas de fases a pasos para un hospital. El proyecto comprende muchas fases que incluyen: subestructura, superestructura y acabados. Una fase puede descomponerse en muchos procesos; por ejemplo, la "superestructura" se puede dividir en muros, losas y columnas de construcción. Un proceso como "construir muros" se puede dividir en operaciones como

encofrado, instalación de barras de refuerzo y colocación de concreto. Las operaciones se pueden dividir en pasos que duran poco, como horas en un día, y con frecuencia son asignaciones a individuos o sub-equipos dentro de un grupo de trabajo. Aunque los pasos se pueden dividir en movimientos, los planes de trabajo semanales normalmente incluyen tareas en el nivel de las operaciones asignadas a los grupos de trabajo, pero no entran en movimiento. Dentro de un grupo de trabajo, la responsabilidad de los pasos dentro de una operación se asigna a individuos o sub-equipos, por ejemplo, el manejo de la manguera en una operación de colocación de concreto es un paso. Los pasos, que pueden durar en minutos o incluso segundos, se muestran en planes de trabajo semanales, pero se expresan en prácticas laborales estandarizadas.

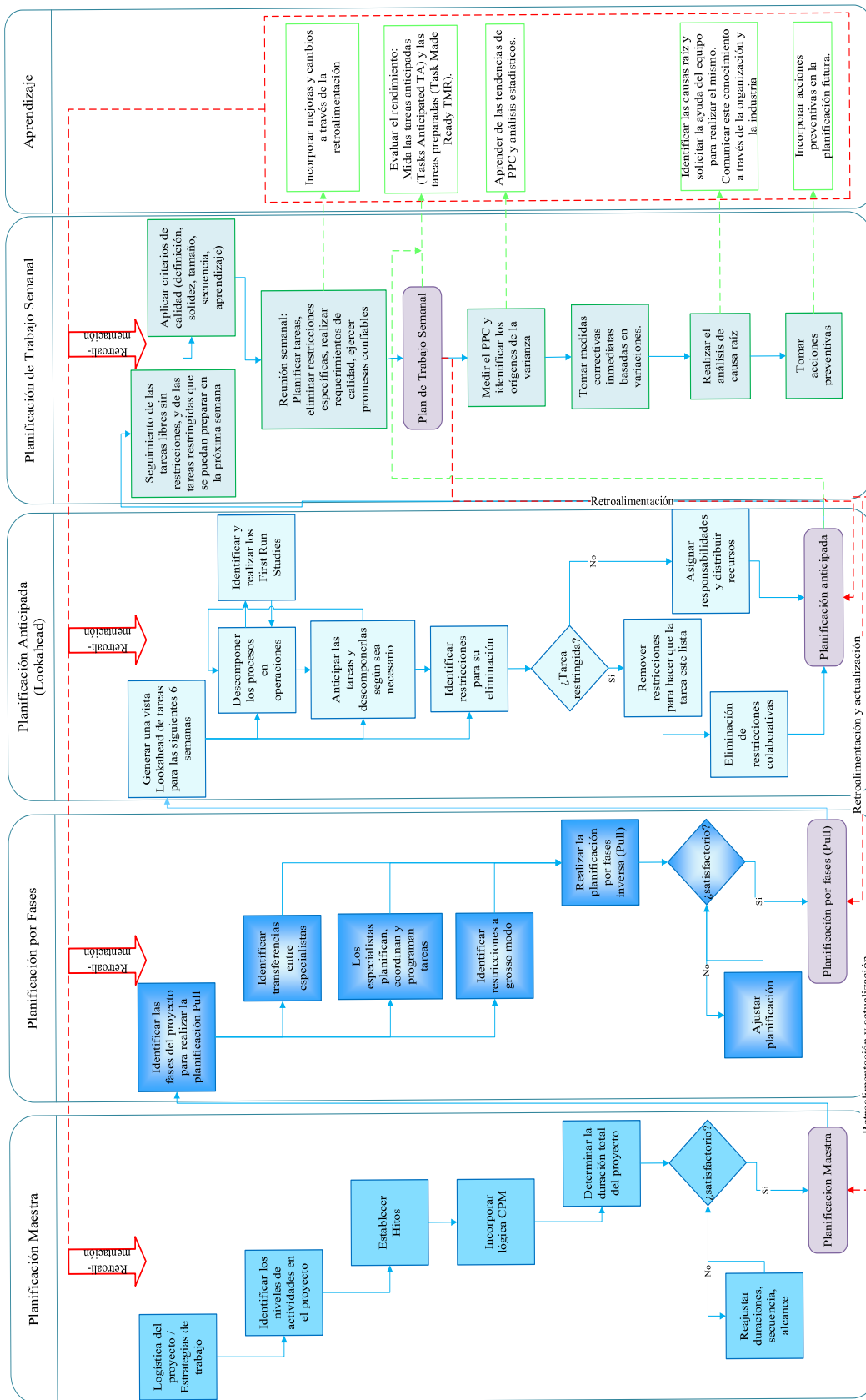


Figura 7. El Last Planner System.
Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

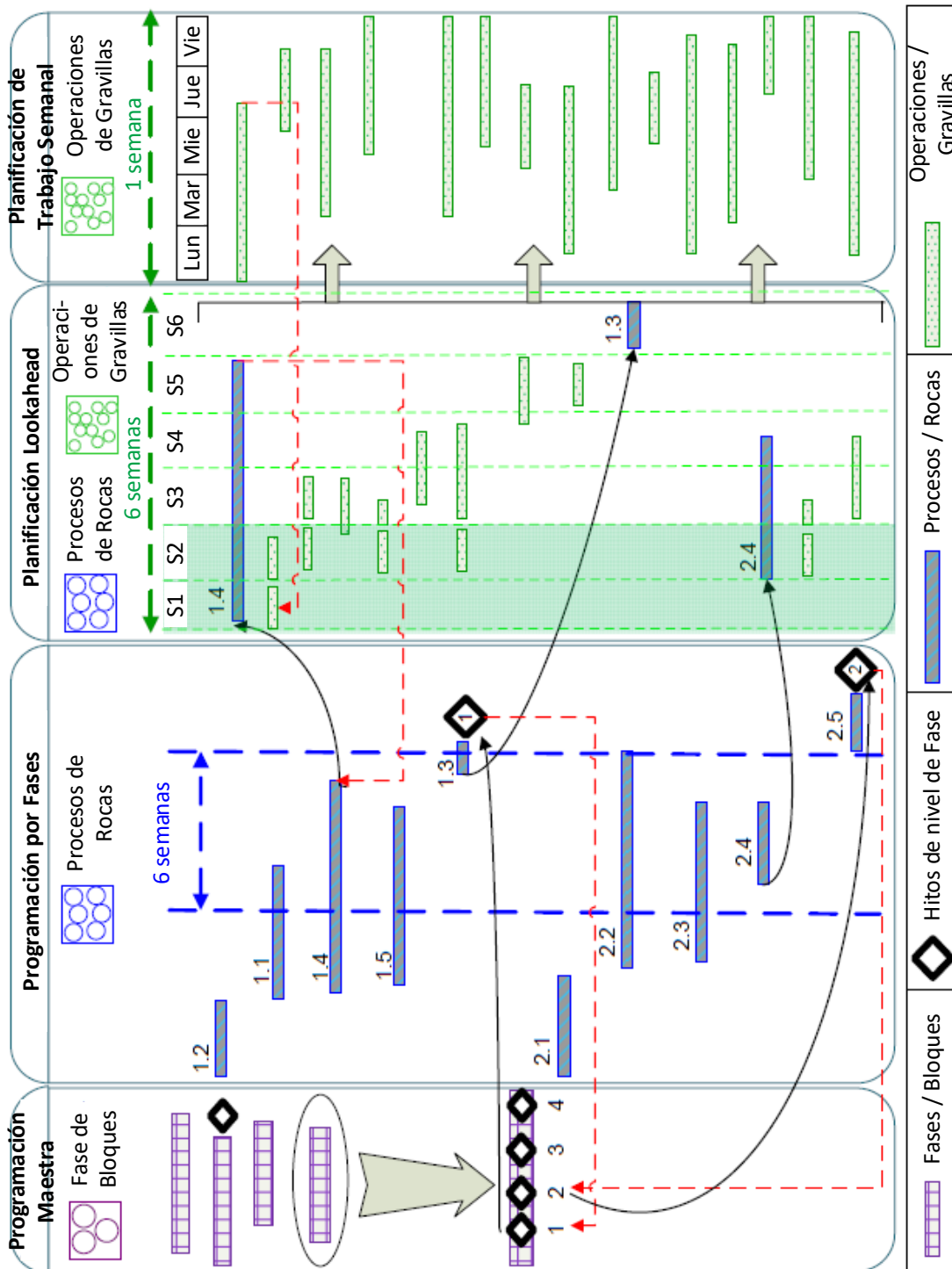


Figura 8. Programación de desarrollo y estructuración de trabajo en LPS.
Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

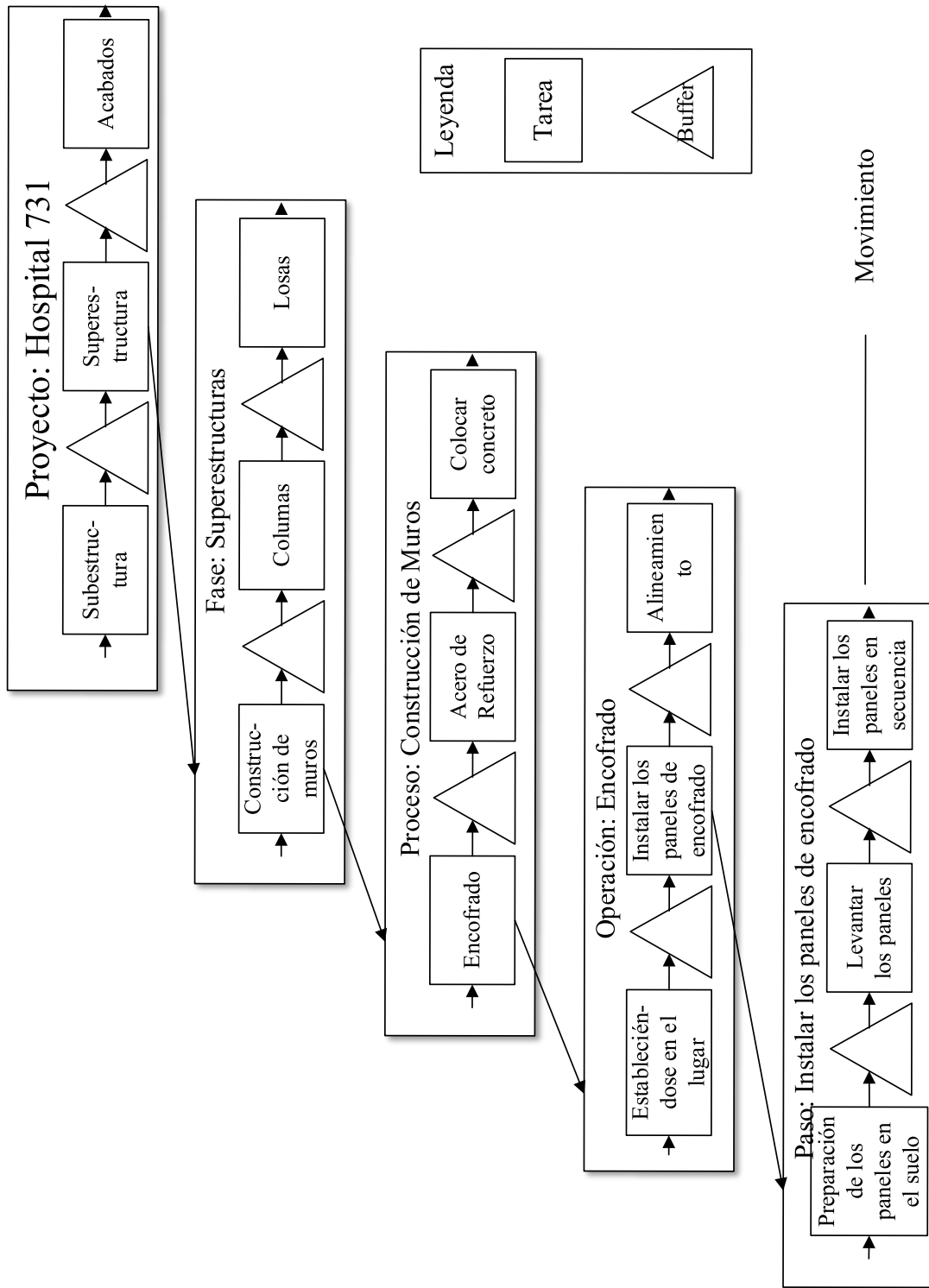


Figura 9. Desglosando tareas al nivel de operaciones y pasos.
Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

2.3.4.1. Procedimiento del Last Planner System

El proceso inicia con la planificación global cuando se desarrolla una Planificación Maestra (Master Scheduling) para traducir la propuesta de valor del propietario en hitos.

La Planificación de Fases (Phase Scheduling) utiliza técnicas Pull para definir los procesos en cada hito. La planificación de la producción comienza con la Planificación Anticipada (Lookahead Planning), que emplea la selección y técnicas Pull para preparar tareas que estén listas para su ejecución.

Los Planes de Trabajo Semanales (Weekly Work Planning), que impulsan directamente el proceso de producción, se producen a partir de una acumulación de tareas sin restricciones y también de tareas que se pueden preparar durante la semana. Aplicar criterios de calidad al desarrollar un plan de trabajo semanal, emplear promesas confiables y aprender de los fracasos del plan terminan combinándose para formar la confiabilidad del plan (Hamzeh, 2009).

2.3.4.1.1. Planificación Maestra (Master Scheduling)

Miranda (2012) afirma que:

Todo proyecto de construcción suele tener una planificación general, sobre la cual se plasman todos los objetivos generales que se plantearon en el programa inicial. A esta planificación inicial se denomina Cronograma Maestro (Master Schedule). Mediante este cronograma lo que se busca es trazar las metas generales del proyecto mediante fechas definidas, las fechas de cumplimiento de cada meta se puede definir como “hitos” para el proyecto. Consecuentemente podemos decir que el cronograma maestro sirve para identificar los hitos de control del proyecto (p.39).

Alsehaimi (2011) añade que el propósito del plan maestro es desarrollar y mostrar estrategias de ejecución, demostrar si es posible o no terminar el trabajo dentro del tiempo disponible e identificar los hitos importantes para los clientes o partes interesadas.

Alsehaimi (2011) agrega que, el plan maestro sirve para crear colaboración en el equipo con el fin de llegar a un acuerdo sobre la secuencia de producción. El objetivo es reunir a todos los actores principales al inicio del proceso, para que se puedan discutir las interdependencias críticas, se prueben las suposiciones y se acuerden las mejores prácticas.

Hamzeh (2009) recomienda que la duración calculada del proyecto y los tiempos de los hitos se comparen con las expectativas del propietario y si se encuentran insatisfactorias, se presentan alternativas o ajustes a la programación original en términos de duración, secuencia o alcance y se vuelve a planificar hasta que se desarrolle una programación satisfactoria.

La Figura 10 nos indica que la Planificación Maestra comienza al traducir los valores y propósitos del propietario (preposición de valor) en planes de trabajo y estrategias de ejecución que se expresan en actividades a nivel de proyecto (bloques). El diálogo entre los valores del propietario y las estrategias de trabajo crea la base para establecer los hitos del proyecto. Después de identificar las fechas de los hitos principales, se utiliza la lógica del método de ruta crítica (CPM) para determinar la duración general del proyecto, la lógica de CPM se puede representar en diferentes formas, incluyendo Gantt, PERT (técnica de revisión de evaluación de programas) y diagramas de líneas de balance.

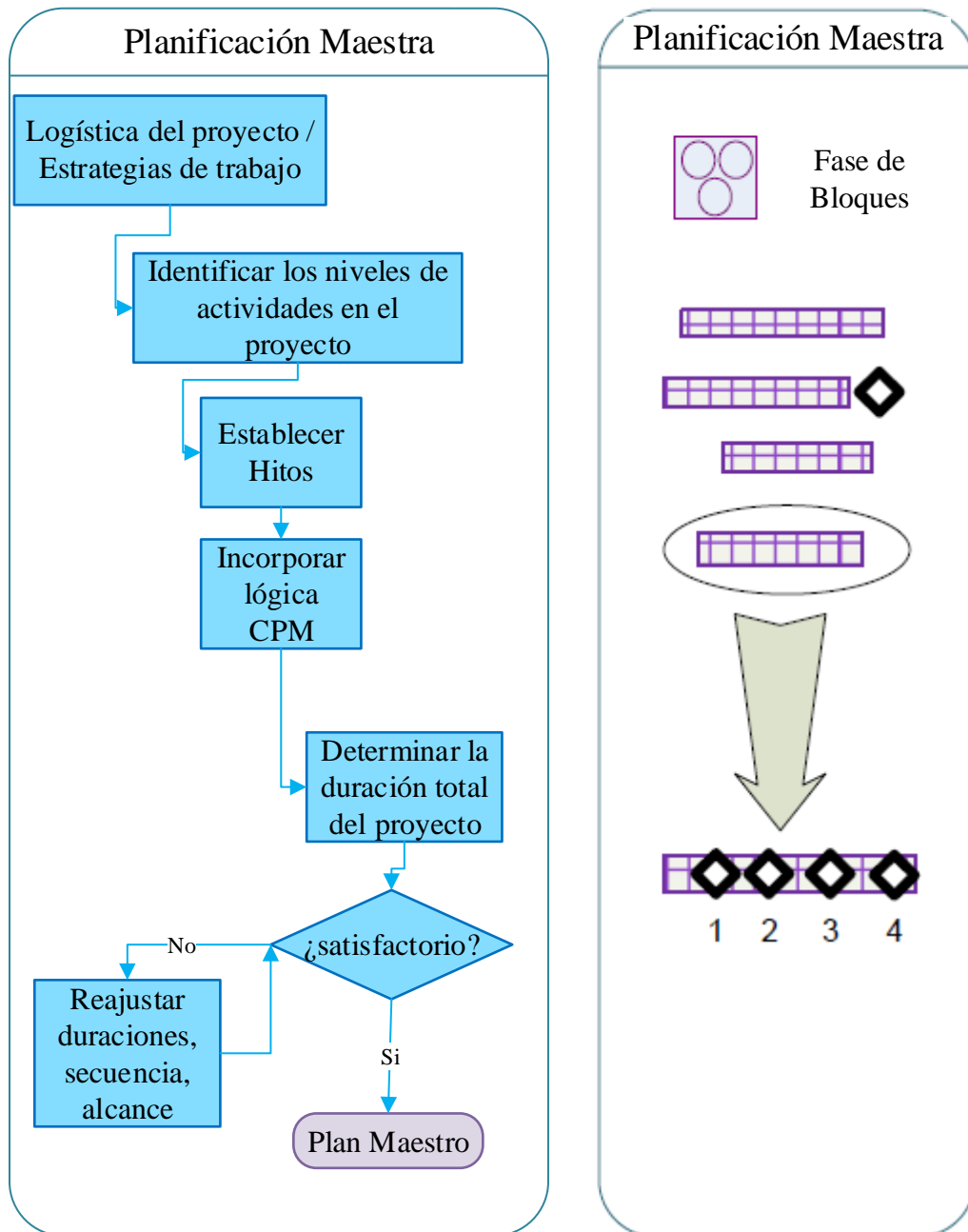


Figura 10. La Planificación Maestra.
Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

2.3.4.1.2. Planificación por Fases (Phase Scheduling)

Hamzeh (2009) entiende que, planificación por fases es un proceso de colaboración, que, el equipo debe usar para planificar la entrega de una fase de trabajo (para planificar el cumplimiento de un hito del cronograma) de acuerdo con las expectativas del cliente.

Hamzeh (2009) resalta que, el propósito de la planificación por fases es producir un plan para cumplir con un hito o completar una fase mientras se maximiza la generación de valor y se establece el apoyo de los interesados del proyecto.

Hamzeh (2009) menciona que, el primer paso es identificar los procesos de las fases que se someterán a la planificación por fases, es esencial alinear las perspectivas de varios socios del proyecto unificando las expectativas del equipo con el valor que se debe entregar al ejecutar este hito, posteriormente los miembros del equipo comienzan la planificación del equipo escribiendo en hojas de papel: una breve descripción del trabajo que deben realizar, su duración, los recursos empleados y los trabajos previos que deben estar culminados.

Hamzeh (2009) continúa diciendo que, el siguiente paso es hacer la programación de fase inversa, que comienza desde el hito y se mueve hacia atrás hacia el inicio, planificar hacia atrás es útil para descubrir restricciones cuando los miembros del equipo tienen que pensar en los requisitos previos necesarios para comenzar una actividad. Es crucial en esta etapa comenzar a descubrir restricciones importantes que impactan una fase o un proceso dentro de una fase, durante esta etapa los miembros del equipo debaten, comparten y coordinan sus tareas.

La figura 11 nos muestra el proceso de la planificación por fases que inicia con la identificación de los procesos de las fases del proyecto, para continuar la planificación del equipo de trabajo generando coordinación e identificando transferencias entre especialidades además de identificar restricciones grosso modo, posteriormente se realiza la programación de fase inversa (pull), y si esta es satisfactoria se tiene por culminada la planificación por fases.

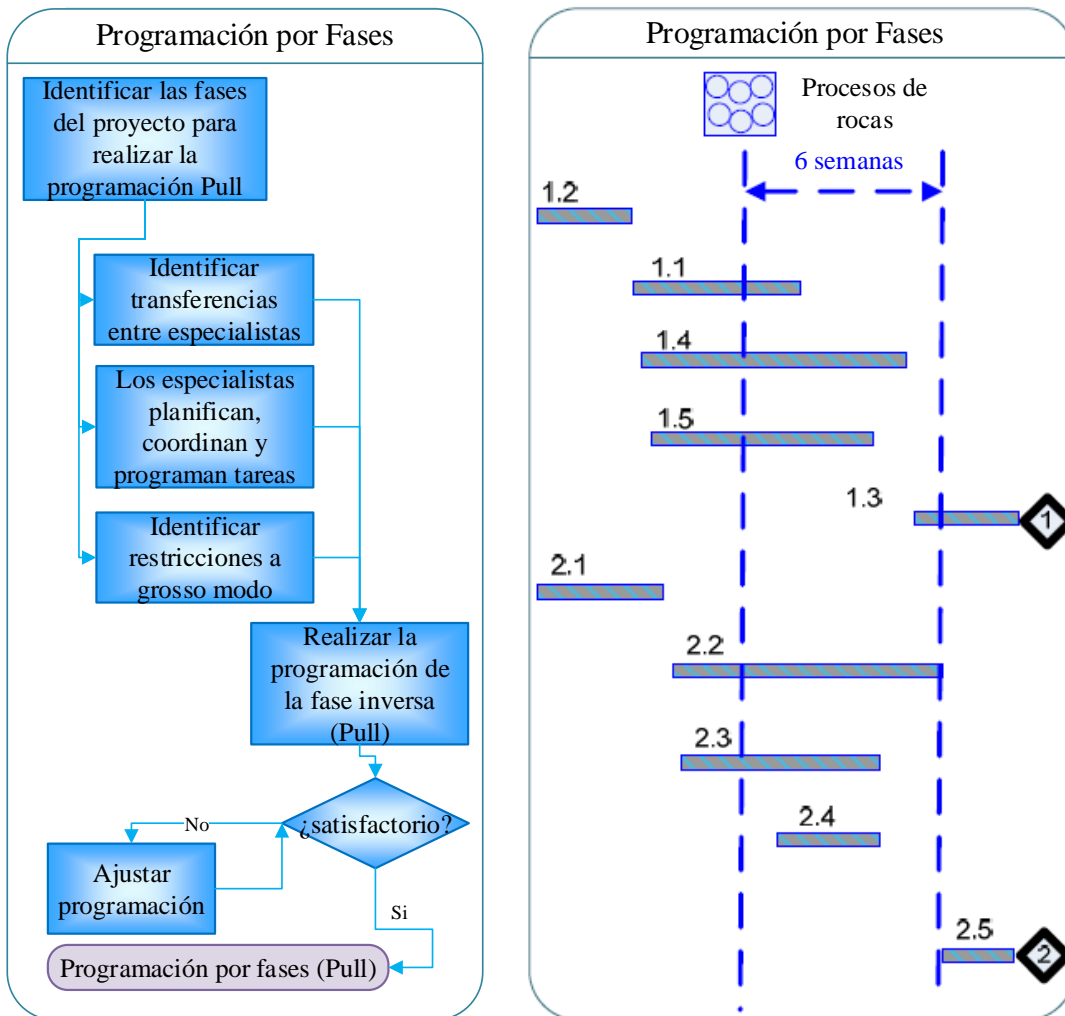


Figura 11. La Planificación por fases.
Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

2.3.4.1.3. Planificación Anticipada (Lookahead Planning)

Para Hamzeh (2009), la planificación anticipada es el primer paso en la planificación de la producción y proporciona un vínculo entre el cronograma del proyecto y los compromisos a corto plazo. Comienza generando una vista anticipada (de 4 a 6 semanas) a partir del cronograma de fases y continúa con la planificación semanal del trabajo.

Guzman (2014) afirma que:

Como su nombre lo explica el Lookahead (mirar adelante) tiene la finalidad de dirigir los esfuerzos de la construcción no a controlar la programación para evitar errores, sino a prevenirlos gestionando lo necesario para las actividades que se

esperan ejecutar en el futuro cercano, promoviendo tomar acciones en el presente para obtener buenos resultados en el futuro (p.40).

Hinostroza y Manosalva (2015) mencionan que el Lookahead es un conjunto de tareas para un intervalo de tiempo dado. Cada una de estas tareas tiene asociada un conjunto de restricciones, que determinan si la tarea puede o no ejecutarse. Una restricción es algo que limita la manera en que una tarea es ejecutada. La restricción involucra requisitos previos o recursos. (p.71)

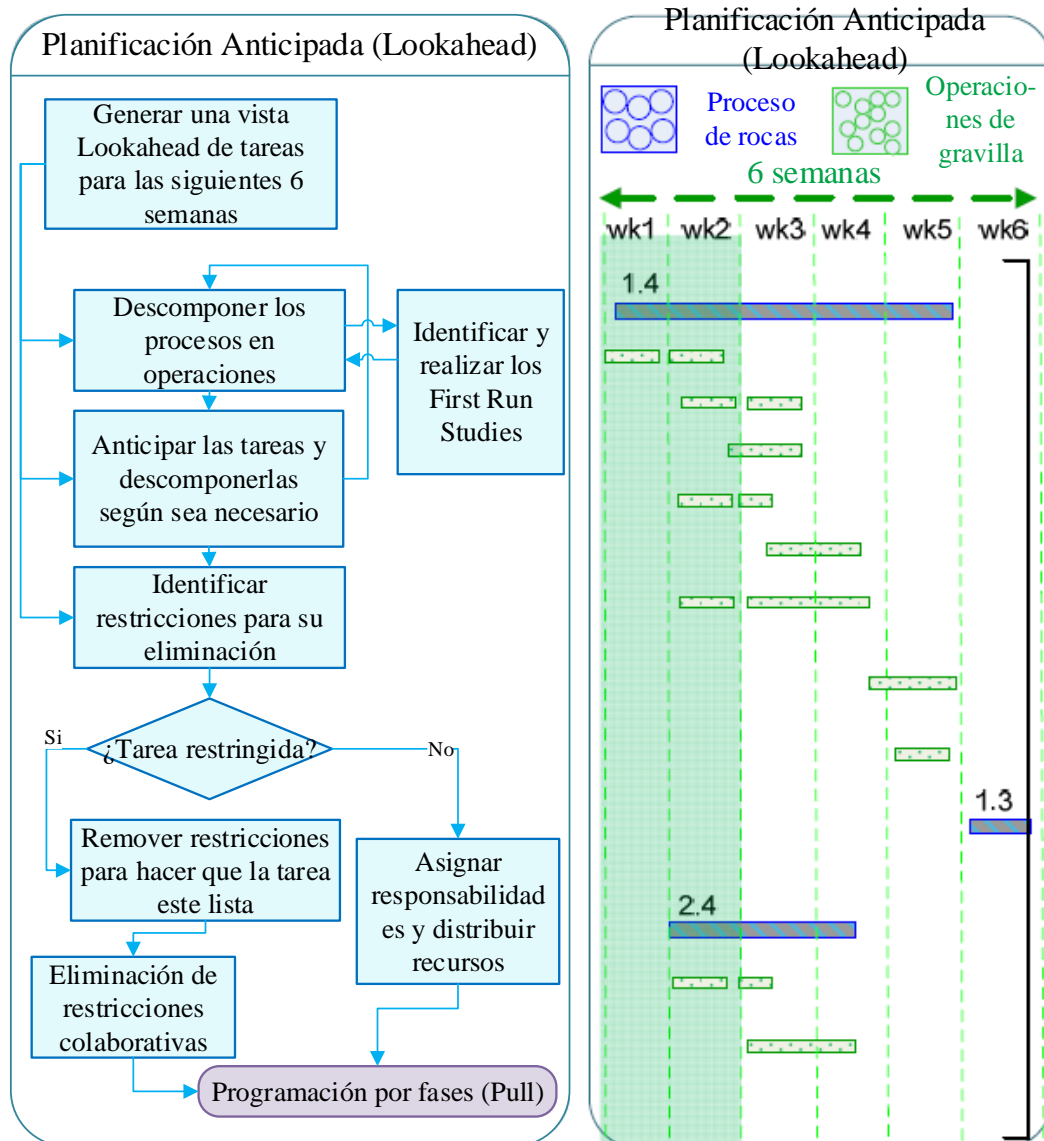


Figura 12. La Planificación anticipada. Fuente: traducido de Hamzeh (2009).

2.3.4.1.3.1. Análisis de Restricciones

Hinostroza y Manosalva (2015) mencionan que:

La función principal del análisis de restricciones es analizar por qué una actividad no puede ser ejecutada, es estudiar cuales son las restricciones que impiden realizar la actividad; lo anterior complementado con una estrategia que permita liberar a la actividad de sus restricciones para ser ejecutada según lo planificado. (p.65)

Arévalo (2018) menciona que, este término consiste en generar un listado de recursos necesarios para que la asignación que lista para que se realice. Se consideran fechas límite, en donde se levantan las restricciones.

Hamzeh (2009) resalta que, las restricciones identificadas durante la planificación anticipada se eliminan al asegurar los compromisos de un miembro del equipo o se transfieren en un registro de restricciones hasta que se asignan.

2.3.4.1.4. *Plan de Trabajo Semanal (Weekly Work Planning)*

Hamzeh (2009) indica que, el “plan de trabajo semanal” es una extensión de la planificación anticipada en la semana de ejecución. Representa el plan más detallado en el Last Planner System e impulsa directamente la producción. Es el nivel al que se hacen las promesas y los compromisos.

Además, Hamzeh (2009) resalta que, en la planificación por fases, los miembros del equipo se comprometen a hacer lo mejor. En la planificación anticipada, los miembros del equipo están haciendo todo lo posible para eliminar las restricciones. En la planificación de trabajo semanal, los miembros del equipo se comprometen a realizar sus tareas. Se promueve la confiabilidad del plan a nivel de planificación de trabajo semanal haciendo asignaciones de calidad y promesas confiables para proteger las unidades de producción de la incertidumbre en las tareas. Al final de cada semana, la fiabilidad se evalúa midiendo el número de tareas completadas en relación con el número de tareas planificadas.

Guzman (2014) menciona que:

La programación semanal es un programa de corto plazo que se desprende del lookahead en el cual se ha hecho un análisis de restricciones previo para eliminar las restricciones y así asegurar que los trabajos que se vayan a programar puedan contar con los recursos necesarios, es decir se toman las actividades que fueron libradas de restricciones y por lo tanto formaban parte del ITE. (p. 41)

2.3.4.1.4.1. *Métricas de rendimiento*

2.3.4.1.4.2. *Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)*

Guzman (2014) afirma que:

El sistema del último planificador (LPS) tiene la necesidad de medir el desempeño de cada plan de trabajo semanal para poder estimar la confiabilidad de todo el proceso de planificación y programación en el proyecto. Los indicadores son una buena forma de ver que tanto ha influido la implementación del sistema en la obra. Esta medición, que es el primer paso para aprender de las fallas e implementar mejoras, se realiza a través del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC). El PPC evalúa entonces hasta qué punto el sistema del último planificador fue capaz de anticiparse al trabajo que se hará en la semana siguiente. Es decir, compara lo que se desea hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente se hizo, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación para nuestra obra en particular, ya que los resultados del PPC dependen exclusivamente de las condiciones de implementación de cada obra y de la capacidad de anticiparse a los hechos a través de las programaciones. (p. 97)

Guzmán (2014) continúa diciendo:

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

2.3.4.1.4.3. *Porcentaje de cumplimiento de Restricciones (PCR)*

Alarcón, Salvatierra y Letelier (2014) mencionan que, El PCR permite la visualización del comportamiento y evolución a lo largo del tiempo de los compromisos efectuados por el equipo de trabajo en relación a las restricciones.

Alarcón, Salvatierra y Letelier (2014) continúan diciendo que, el estudio de PCR se realiza junto con la evolución del progreso real de cada proyecto. La forma de medición y la metodología de creación de pares de datos es análoga al método de PPC.

2.3.4.1.5. *Causas de no cumplimiento*

Hamzeh (2009) resalta que, en el caso del no cumplimiento de las tareas en el Plan de trabajo semanal, y con el fin de tener una mayor confiabilidad en el plan semanal

de trabajo y no cometer los mismos errores (aprendizaje), se realiza un análisis de las Causas de No Cumplimiento (CNC) que no permitieron que la totalidad de las tareas se han anticipadas durante la planificación anticipada y a su vez sean ejecutadas en el plan de trabajo semanal. Ello nos permite tener consciencia de cuál fue la causa, que conllevó a no cumplir el compromiso y plan semanal acordado.

Hamzeh (2009) continúa diciendo que, el análisis de la CNC no termina ahí, pues si bien se conoce la causa que no permitieron completar tareas durante la semana, es necesario conocer en profundidad la causa raíz del no cumplimiento, es decir, identificar la causa principal y el lugar en el que se presentó la raíz del problema (planificación anticipada o el plan semanal de trabajo). Así se podrá tomar medidas que mitiguen estas causas, considerando las acciones correctivas correspondientes y buscando soluciones que deben de combatir la causas raíz y no soluciones momentáneas al problema.

Ballard G. & Hamzeh F. (2007) señalan que, lo que busca de este análisis, es llegar al origen de las consecuencias de otras acciones y eventos que causaron el incumplimiento del plan. Para ello se debe de llegar al origen de la cadena de acción o eventos para comenzar el aprendizaje y evitar que estas fallas sean repetidas en un futuro. El objetivo no es culpar a ningún individuo, si no detectar problemas en el sistema de planificación y ser conscientes de ellas, y así hacer que las personas entiendan la importancia de la ejecución de sus compromisos en la planificación.

2.3.5. Nivel general de actividad

Castillo (2014) afirma que la herramienta nivel de actividad fue desarrollada por Alfredo Serpell 1990 con el fin de realizar mediciones de tiempos y movimientos de la actividad en un sector, frente o todo el Proyecto (también llamado nivel general de actividad), mostrando como resultados la distribución del tiempo dividido en: trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio.

Respecto al número de mediciones, Serpell (como se citó en Ghio, 2001) nos indica que son necesarias 384 mediciones para que estas sean estadísticamente válidas.

Además, Quiñones (2017) nos recomienda lo siguiente a la hora de realizar las mediciones:

- Las mediciones se hacen de forma aleatoria cada vez que el muestreador se cruza visualmente con un trabajador.

- Se puede realizar la medición desde un punto fijo o haciendo una caminata por toda la obra.
- Para un muestreo de trabajo se debe de realizar un mínimo de 384 mediciones para tener un nivel de confiabilidad del 95%.
- Se recomienda hacer varios muestreos de trabajo en días consecutivos para tener un estudio representativo.
- Después del primer estudio se recomienda hacer otro cada 15 días.

Ghio (2001) resalta que, los resultados de las mediciones del nivel general de actividad sirven para identificar cuáles son las principales pérdidas, cuantificándolas y priorizando nuestro accionar sobre ellas para su mitigación o eliminación, además de que también nos permite compararnos con estándares internacionales y nacionales.

2.1.1.1. Diagrama de Pareto

Eadbox (2018) menciona que:

El diagrama de Pareto es una herramienta que ayuda a encontrar errores o problemas en el desarrollo de soluciones. El principal objetivo de la herramienta es reducir las pérdidas causadas por productos defectuosos. Pero eso no quiere decir que la herramienta se centre en encontrar las causas de los problemas, pero en hacer los problemas visibles.

La función principal del diagrama es hacer más evidentes los problemas que son más importantes para la empresa. Por lo tanto, es posible resolverlos para aumentar los resultados de las ventas de productos. (p.1)

2.3.6. Los 5 ¿por qué?

Alfaro y Aranda (2014) mencionan que, la herramienta de los 5 ¿Por qué? Se aplica a cualquier tipo de problema y se realiza preguntando: "¿Por qué?" y "¿Qué causó este problema?".

Alfaro y Aranda (2014) continúan diciendo que, a menudo la respuesta al primer "por qué" descubre otras razones y genera otro "por qué". A menudo se requieren cinco "por qué" para llegar a la causa raíz del problema. Es probable que encuentre lo que le piden más o menos en 5 "por qué" en la práctica.

Durante la aplicación de este método es importante revisar que se mantenga una relación de causalidad a lo largo de los problemas detallados. Para ello, se

recomienda hacer el ejercicio de tomar el ultimo "porque" y conectarlo al anterior. Si existe una causalidad directa, entonces el planteamiento de soluciones debe partir por el ultimo por qué. (Alarcón, Luis, José Luis Donaire, Magdalena Rodríguez y otros, 2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Lugar de ejecución

El lugar de ejecución del proyecto “CREACION DEL COLISEO CULTURAL POLIDEPORTIVO DE LA LOCALIDAD DE PUTINA/ DISTRITO DE PUTINA/PROVINCIA SAN ANTONIO DE PUTINA/PUNO – COLISEO CUBIERTO (COMPONENTE I)”, se encuentra ubicado en las inmediaciones del Jr. Santiago Giraldo. y Jr. Juan Chávez Molina abarcando un área de 21'979.18 m2. de Putina.

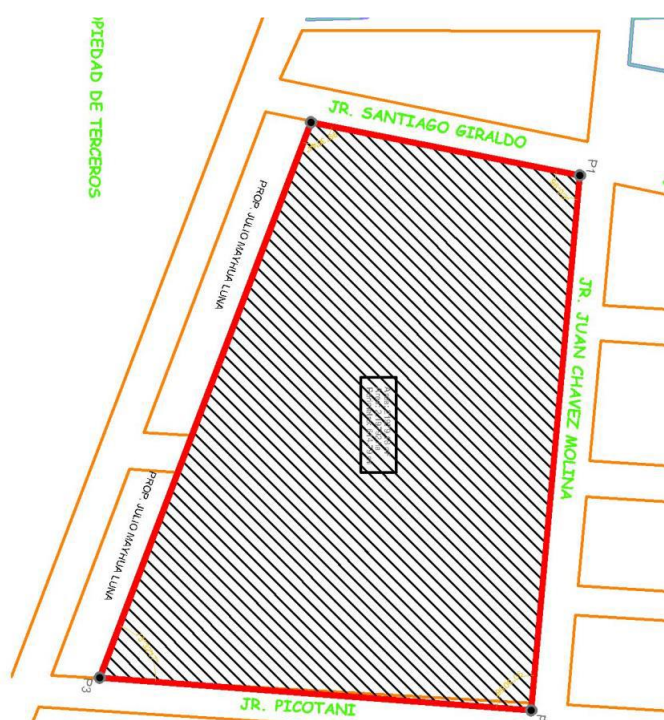


Figura 13. Mapa de ubicación de proyecto. Fuente: Expediente Técnico del proyecto.

3.1.1. Ubicación del proyecto

El distrito de Putina se encuentra ubicado en la zona occidental de la provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno.

La ciudad de Putina, se encuentra a 3,861 m.s.n.m., a 14° 54' 01'' Latitud Sur y 69° 51' 43'' Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017, p.29)

La localidad de Putina tiene como límites geográficos:

- Por el Norte con la provincia de CARABAYA.

- Por el Este con los distritos de ANANEA Y QUILCAPUNCU.
- Por el Sur con la provincia de Huancané y el distrito de PEDRO VILCAPAZA.
- Por el Oeste con la provincia de AZÁNGARO.

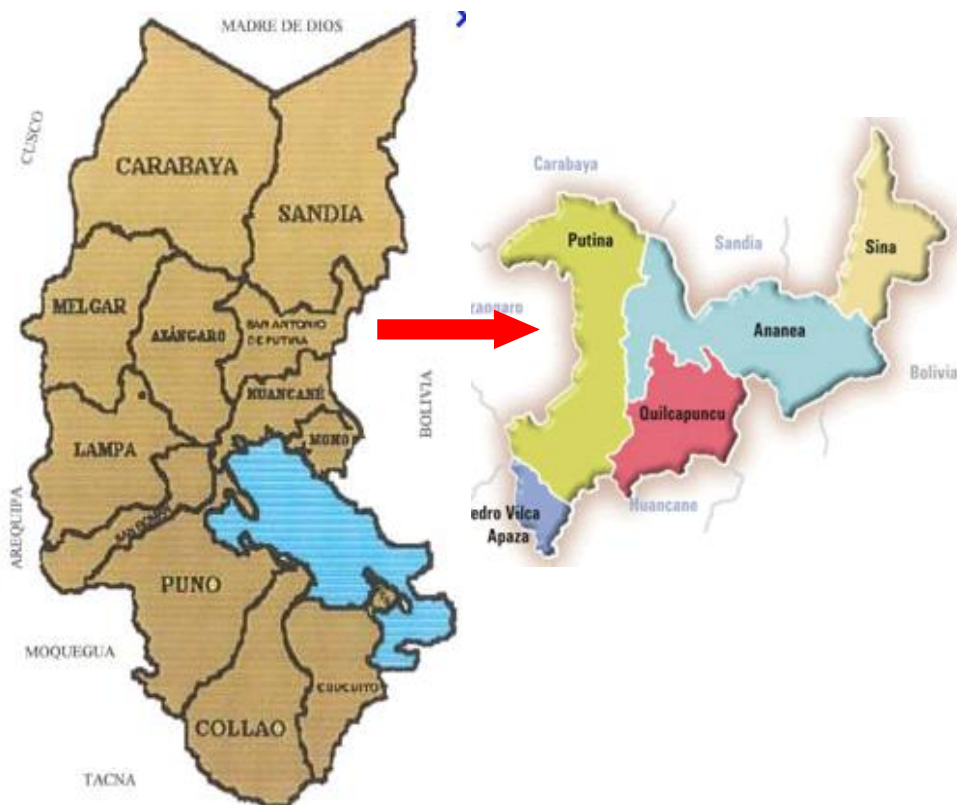


Figura 14. Ubicación Geográfica del proyecto. Fuente: Expediente Técnico del proyecto.

3.1.2. Descripción de la empresa

El CONSORCIO SAN ANTONIO, está formado por un conjunto de 5 empresas constructoras unidos con la finalidad de realizar la construcción del Coliseo Polideportivo en estudio. La empresa se dedica a la promoción y desarrollo de proyectos inmobiliarios y a la construcción tanto de los proyectos propios como de proyectos de clientes externos.

3.1.3. Descripción del proyecto

Se desarrolla la construcción de un coliseo cubierto para la práctica de deportes y actividades socioculturales, en un área de 4150 m², para 4000 espectadores aproximadamente, la estructura es a base de columnas, vigas y graderíos de concreto armado en dos niveles. Los ambientes debajo de los graderíos serán para el desarrollo de actividades administrativas, sociales y de servicios integrales para el coliseo.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

llasaca, (2012), menciona que la población es el conjunto universal clasificada según el número de elementos que lo componen. Existiendo una población finita, que tiene un número limitado de elementos y la población infinita, que tiene elementos no contables o infinitos.

De acuerdo al enunciado anterior, definimos a la población de estudio de esta investigación como finita, siendo la construcción general del coliseo con todos sus elementos de construcción; es decir, involucrando todos los componentes de la obra “Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina Distrito de Putina Provincia de San Antonio de Putina Puno”.

Para un mejor desarrollo de la investigación enfocado en sus objetivos, trabajamos con la programación global teniendo 61 partidas repartidas en 7 ítems según el cronograma presentado en el expediente técnico, siendo:

- a. Obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud
- b. Estructuras
- c. Arquitectura
- d. Instalaciones sanitarias
- e. Instalaciones eléctricas y mecánicas
- f. Estructuras metálicas y coberturas
- g. Obras exteriores (Componente I)

Tabla 3.

Obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud

Ítem	Descripción Partida
01	Obras Provisionales, Trabajos Preliminares, Seguridad Y Salud
01.01	Construcciones Provisionales
01.02	Instalaciones Provisionales
01.03	Trabajos Preliminares
01.04	Movilización De Campamentos, Equipos Y Herramientas
01.05	Trazos, Niveles Y Replanteo
01.06	Seguridad Y Salud

Tabla 4.

Estructuras

Ítem	Descripción Partida
------	---------------------

02	Estructuras
02.01	Movimiento De Tierras
02.02	Obras De Concreto Simple
02.03	Obras De Concreto Armado
02.04	Varios

Tabla 5.
Arquitectura.

Ítem	Descripción Partida
03	Arquitectura
03.01	Muros, Tabiques Y Parapetos Con Sistema Stell Framing
03.02	Revoques Y Revestimientos
03.03	Cielorrasos
03.04	Pisos Y Pavimentos
03.05	Zócalos Y Contrazocalos
03.06	Carpintería De Madera
03.07	Carpintería Metálica Y Herrería
03.08	Cerrajería
03.09	Vidrios, Cristales Y Similares
03.10	Pintura
03.11	Varios, Limpieza Y Jardinería
03.12	Otros

Tabla 6.
Instalaciones sanitarias

Ítem	Descripción Partida
04	Instalaciones Sanitarias
04.01	Aparatos Sanitarios y Accesorios
04.02	Sistema De Agua Fría
04.03	Sistemas De Drenaje Pluvial
04.04	Desagüe y Ventilación
04.05	Varios

Tabla 7.
Instalaciones eléctricas y mecánicas

Ítem	Descripción Partida
05	Instalaciones Eléctricas Y Mecánicas
05.01	Conexión A La Red Externa De Medidores
05.02	Salida Para Alumbrado, Tomacorriente, Fuerza Y Señales Débiles
05.03	Instalación De Pararrayos

05.04	Instalación Del Sistema De Puesta A Tierra
05.05	Artefactos
05.06	Equipos Eléctricos y Mecánicos
05.07	Varios
05.08	Red Primaria

Tabla 8.
Estructuras metálicas y cobertura

Ítem	Descripción Partida
06	Estructuras Metálicas Y Coberturas
06.01	Arcos Metálicos
06.02	Armaduras metálicas
06.03	Vigas metálicas
06.04	Anillos Metálicos (Elipses)
06.05	Celosías metálicas
06.06	Viguetas metálicas (Cúpula)
06.07	Apoyos De Armaduras
06.08	Correas metálicas y Arriostres
06.09	Estructura De Puente Pasarela
06.10	Montaje e Izaje De Estructuras metálicas
06.11	Coberturas y Cerramientos
06.12	Pintura De Estructuras Metálicas
06.13	Protocolo De Pruebas De Control De Calidad
06.14	Elementos Ornamentales Sobre Tijerales Y Cobertura

Tabla 9.
Obras exteriores (Componente I)

Ítem	Descripción Partida
07	Obras Exteriores (Componente I)
07.01	Trazos, Niveles Y Replanteo
07.02	Movimiento De Tierras
07.03	Obras De Concreto Simple
07.04	Obras De Concreto Armado
07.05	Estructuras Metálicas
07.06	Muros y Tabiques De Albañilería
07.07	Revoques y Revestimientos
07.08	Pisos y Pavimentos
07.09	Carpintería Metálica y Herrería
07.10	Varios, Limpieza y Jardinería
07.11	Instalaciones Sanitarias En Exteriores

Se tiene una población N = 61

3.2.2. Muestra

Es necesario definir la unidad de análisis, lo cual depende de los objetivos, planteamiento del problema y el alcance de la investigación. Al ser una investigación con un enfoque cuantitativo la muestra se define como un subgrupo de la población de interés. La muestra de la investigación será no probabilística.

Hernández (2010) en su libro *Metodología de la Investigación* dice lo siguiente:

“(...) muestra no probabilística —desde la visión cuantitativa— es su utilidad para determinado diseño de estudio que requiere no tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema.” (p. 191).

Considerando el universo finito utilizamos la siguiente fórmula de cálculo de muestra:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 * (N-1) + (Z^2 * p * q)}$$

Dónde: Z = nivel de confianza (correspondiente con tabla de valores de Z

p = porcentaje de la población que tiene el atributo deseado

q = porcentaje de la población que no tiene atributo deseado = 1-p

Nota: cuando no hay indicación de la población que posee o no el tributo, se asume 50% para “p” y 50% para “q”.

N= tamaño del universo

e= error de estimación máximo aceptado

n= tamaño de la muestra

Datos:

Z= 1.96 p= 95% q= 5% N= 61 e=5%

Aplicando la fórmula se obtiene una muestra “n” = 23.06

Por lo tanto, se define como muestra de estudio a la ejecución de los elementos estructurales verticales y horizontales, lo que involucra a las partidas con más incidencia en consumo de recursos de mano de obra.

Ítem	Descripción Partida
02	Estructuras
02.01	Movimiento De Tierras
02.02	Obras De Concreto Simple
02.03	Obras De Concreto Armado
02.04	Varios

Las muestras de estudio están conformadas por 24 partidas contenidas en el expediente técnico del proyecto “Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno”, las cuales son:

- Acero, Encofrado y Concreto de Zapatas.
- Acero, Encofrado y Concreto de Vigas de cimentación.
- Acero, Encofrado y Concreto de Graderíos.
- Acero, Encofrado y Concreto de Columnas.
- Acero, Encofrado y Concreto de Muros-Placa.
- Acero, Encofrado y Concreto de Vigas.
- Acero, Encofrado y Concreto de Losas Aligeradas y losas macizas.

Los elementos ya mencionados corresponden al área gris señalada en la siguiente imagen, correspondiente al muestreo.

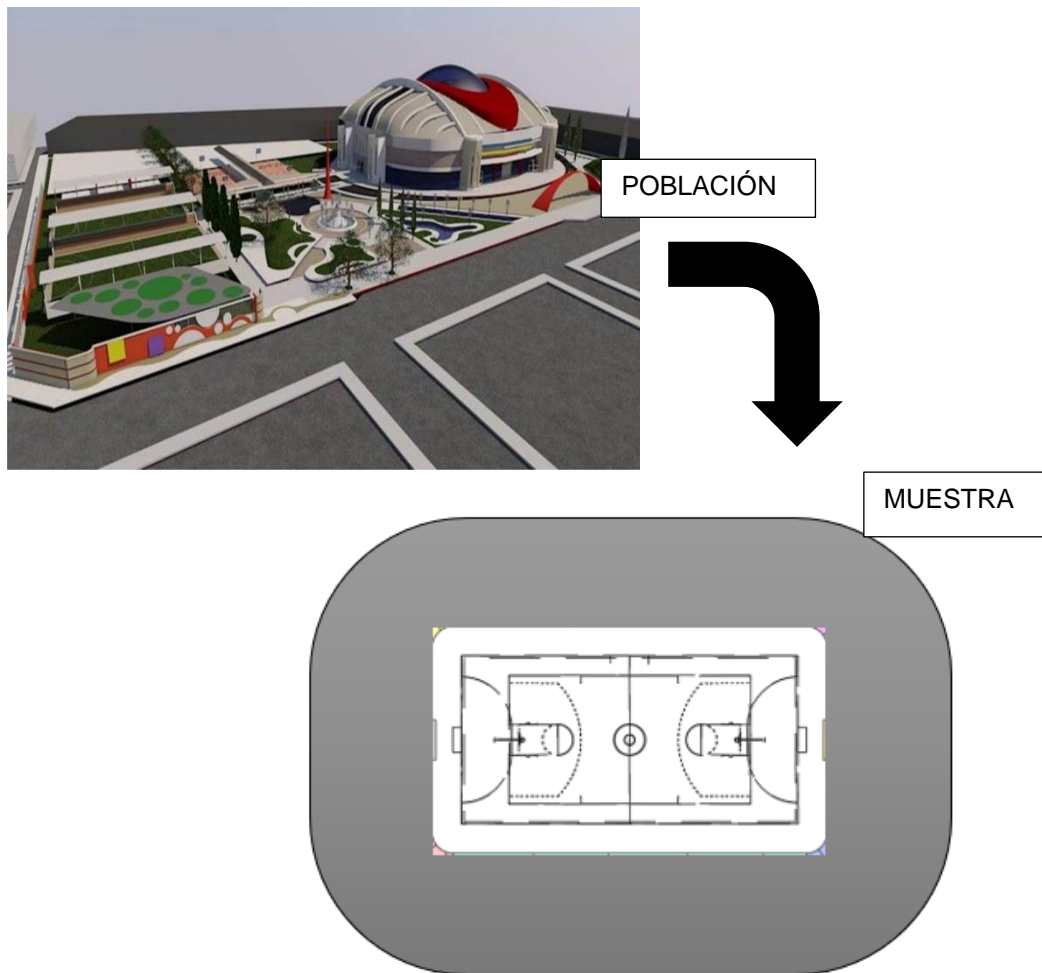


Figura 15. Representación de la muestra de estudio (elementos estructurales horizontales y verticales).

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Esta investigación está dentro del enfoque CUANTITATIVO; ya que de acuerdo a lo que menciona Hernández et al. (2014), se recolectan datos para probar hipótesis con base a una medición numérica y un análisis estadístico.

3.3.2. Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación es: **Descriptivo**.

- Se considera nivel descriptivo, porque describirá el proceso de aplicación de las Herramientas Lean Construction para mejorar la planificación en la ejecución de la obra “Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno”.

3.3.3. Diseño de la Investigación

Además, la investigación es de tipo EXPERIMENTAL, con intervención, teniendo varias mediciones propias, con más de una variable analítica.

El análisis cuantitativo de los datos se realiza mediante el software SPSS, programa que nos favorece en el análisis de los datos obtenidos por el investigador, aportando datos estadísticos como la media, mediana, desviación estándar, etc.

Tabla 10.
Tipo, nivel y diseño de la investigación.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	NIVEL	DISEÑO	MEDIDAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO
Cuantitativo	Descriptivo	Experimental: control – intervención	Varias mediciones	Prueba de hipótesis: - T-Student

Nota: Fuente: elaboración propia.

3.4. Formulación de hipótesis

Las hipótesis fueron planteadas en función a los objetivos y variables de la investigación, las cuales fueron divididas en una general y dos específicas:

3.4.1. Hipótesis general

- La aplicación de las herramientas Lean Construction mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

3.4.2. Hipótesis específicas

- Implementar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.
- Emplear la herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad mejora la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

3.5. Identificación de variables

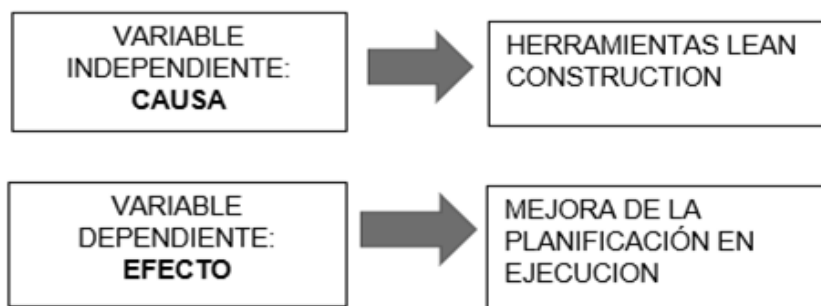


Tabla 11.
Variables en la investigación.

	Tipo de variable	Indicadores	Medición
VARIABLE INDEPENDIENTE: HERRAMIENTAS LEAN CONSTRUCTION	Numérica	Porcentaje de plan Cumplido, Trabajos productivo, trabajo contributivos, trabajos no contributivos	Last Planner, Nivel General de Actividad
VARIABLE DEPENDIENTE: PLANIFICACION EN EJECUCION DE OBRA	Numérica	Porcentaje de plan Cumplido	

Nota: Fuente: elaboración propia.

3.6. Instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación, se utilizará los siguientes instrumentos:

- Observación estructurada, porque se usará formatos para la recolección de los datos.
- Observación participante, porque el investigador intervendrá en el grupo a fin de obtener información.
- Revisión del expediente técnico del proyecto.
- Juicio de Expertos, porque servirá de referencia para obtener rendimientos de los trabajos de obra.

- Datos recogidos de los niveles de producción en la ejecución del proyecto (Los formatos a usar se adjuntan en Anexo 1).

3.7. Técnicas de recolección de datos, instrumentos y validación de instrumentos.

a) Formato de registro de datos: Este formato fue diseñado en función a la necesidad de los datos que se desea obtener; en este se registra el tipo de actividad que desarrolla cada trabajador en determinados tiempos de observación, también se registra las causas que generan pérdidas en la productividad de la mano de obra, cuando el trabajador desarrolla Trabajo No Contributorio.

b) Cámara fotográfica: Se utilizó para el registro de imágenes en las diversas obras que se consideró en el presente trabajo.

c) Tablero de Campo: Se usó para poder recabar con mayor claridad los datos tomados en el campo.

d) Bibliografía (libros, artículos, internet, etc.).

e) Útiles de escritorio.

f) Computadora y hojas de cálculo en Excel.

El análisis de los datos se realizará de forma cuantitativo (interpretación de resultados estadísticos obtenidos), los datos serán recolectados, tabulados y presentados en tablas y figuras estadísticas, de los cuales se extraerá la información que nos lleve a verificar o no la hipótesis.

Tabla 12.

Principios y Herramientas Lean Construction usados en la Investigación.

PRINCIPIOS	H. LEAN					
	SECTORIZACIÓN	TREN DE ACTIVIDADES	BUFFER DE TIEMPO	LAST PLANNER	MUESTREO DE TRABAJO	5 PORQUE
REDUCIR VARIABILIDAD		X	X	X		
REDUCIR EL TIEMPO DEL CICLO		X	X	X		
REDUCIR EL TAMAÑO DE LOTE	X					
AUMENTAR LA FLEXIBILIDAD			X			
SELECCIONAR UN ENFOQUE				X		

DE CONTROL DE PRODUCCIÓN ADECUADO						
ESTANDARIZAR	X	X	X	X	X	X
INSTITUIR LA MEJORA CONTINUA				X		X
UTILIZAR GESTIÓN VISUAL	X	X	X	X	X	X
DISEÑAR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA EL FLUJO Y EL VALOR				X		
ASEGURAR LA CAPTURA INTEGRAL DE LOS REQUISITOS	Cumplir con las especificaciones técnicas del proyecto.					
CENTRARSE EN LA SELECCIÓN DEL CONCEPTO	Cumplir con las metas del proyecto.					
ASEGURAR EL REQUISITO DE FLUJO DESCENDENTE		X				
VE A VER POR TI MISMO					X	
DECIDIR POR CONSENSO, CONSIDERAR TODAS LAS OPCIONES					X	
CULTIVAR UNA RED EXTENDIDA DE SOCIOS	Involucrar a los interesados en el proyecto.					

Nota: Se da más detalle en el capítulo IV. Fuente: elaboración propia.

3.8. Plan de procesamiento de datos

Para la aplicación de la herramienta Buffer de tiempo, se procesará la información según el diagrama de flujo mostrado:

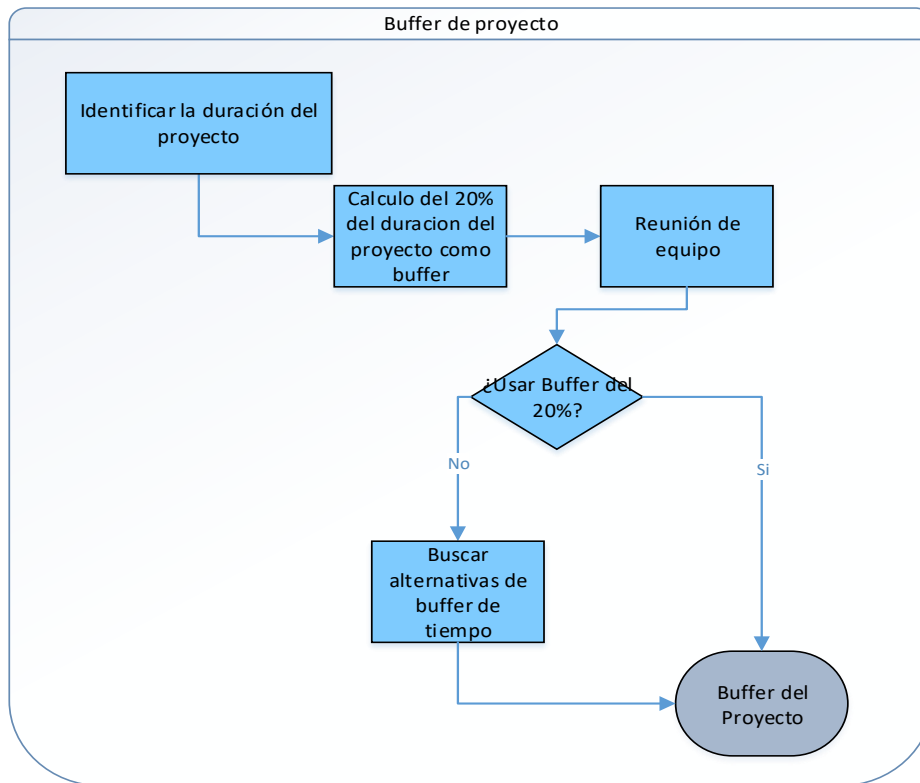


Figura 16. Procesamiento de datos – Buffer de tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la herramienta Sectorización, se procesará la información según el diagrama de flujo mostrado:

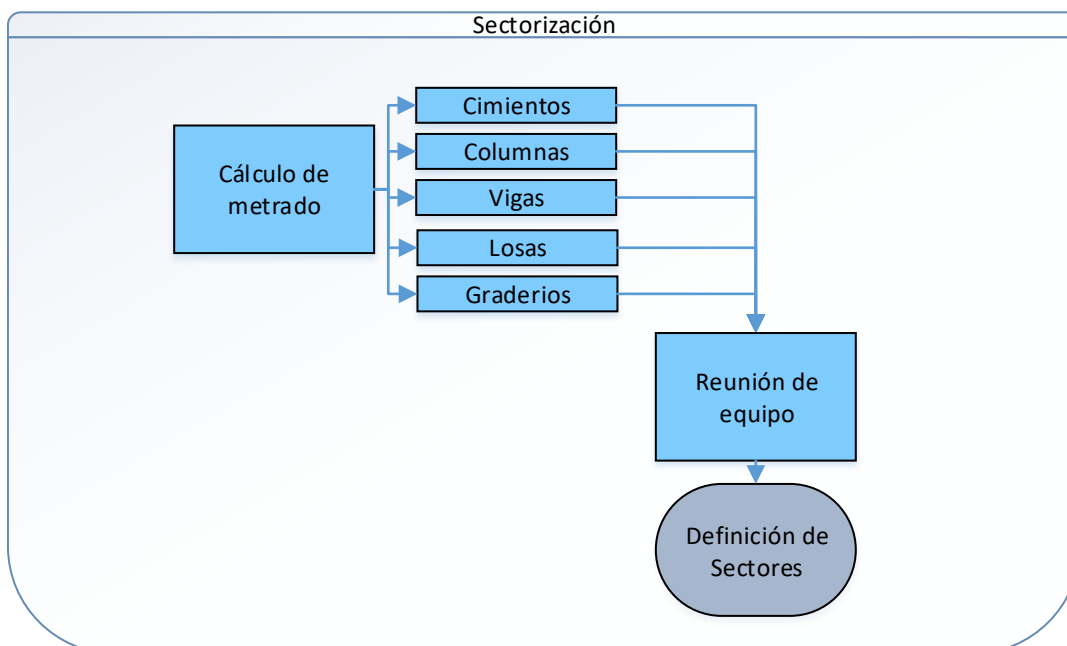


Figura 17. Procesamiento de datos – Sectorización.
Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la herramienta Tren de actividades, se procesará la información según el diagrama de flujo mostrado:

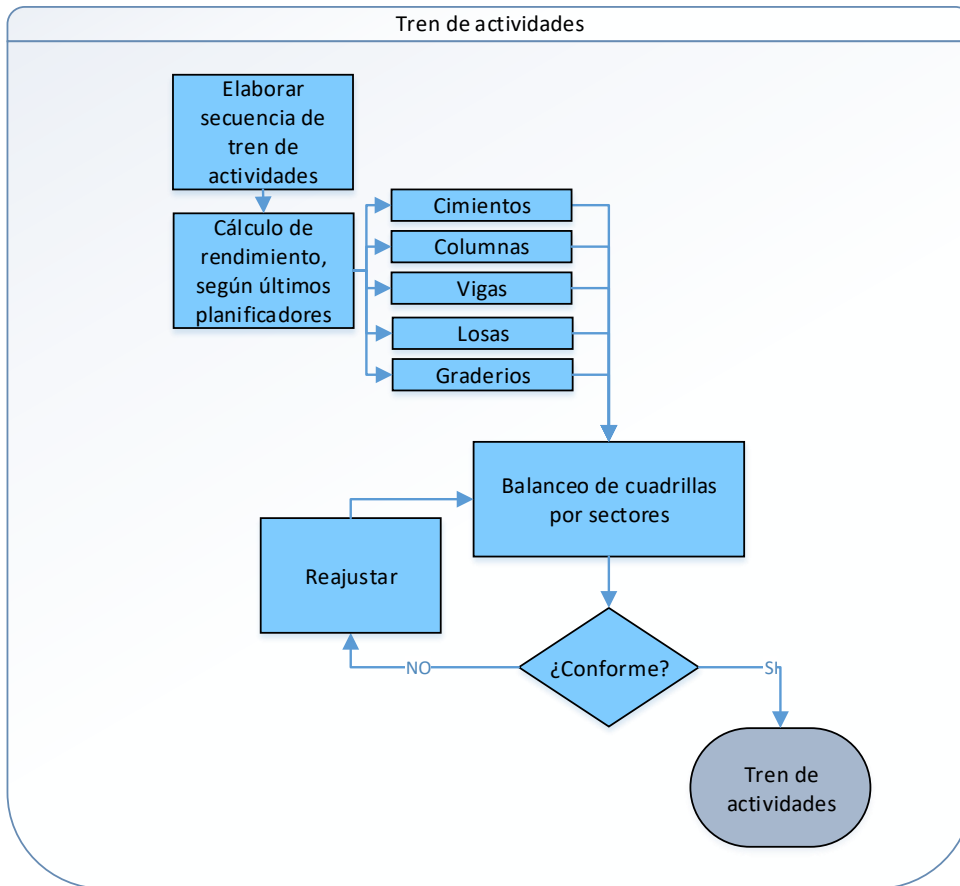


Figura 18. Procesamiento de datos – Tren de actividades.
Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la herramienta Last planner system, se procesará la información según los diagramas de flujo mostrado:

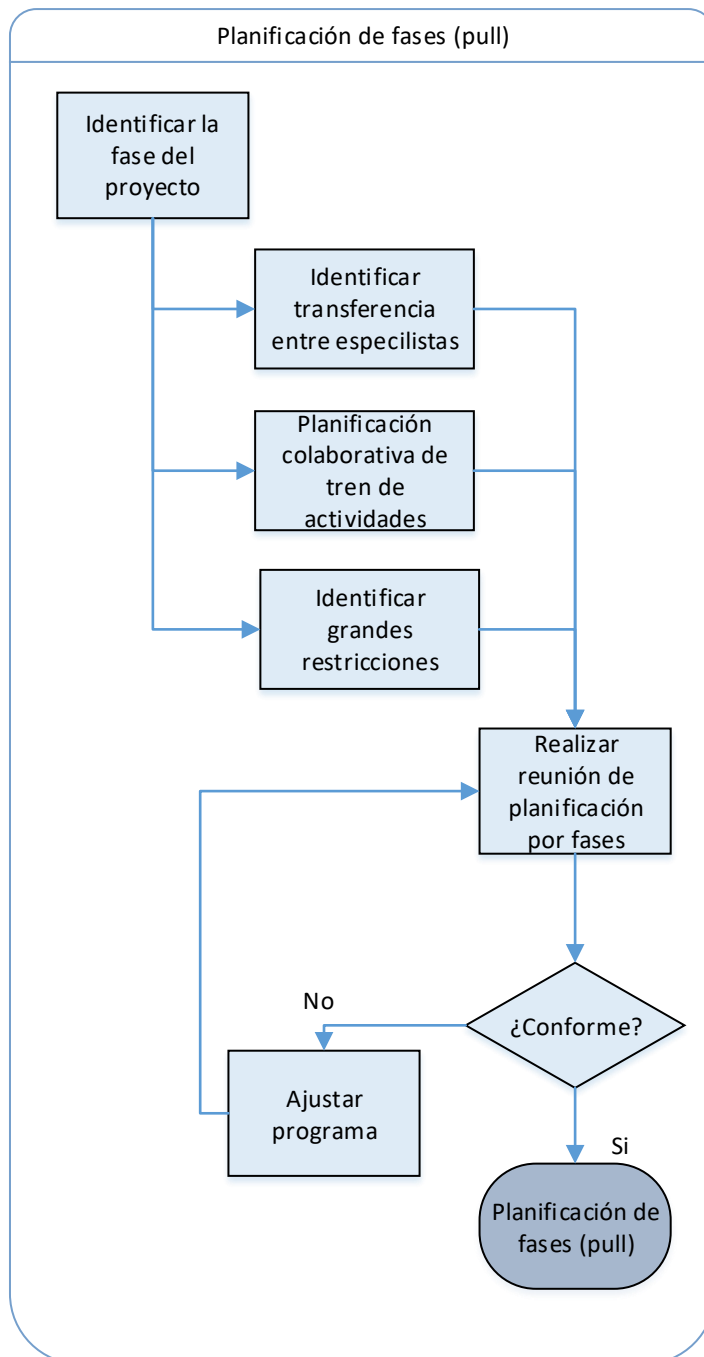


Figura 19. Procesamiento de datos – Last Planner System (Planificación maestra).
Fuente: Elaboración propia.

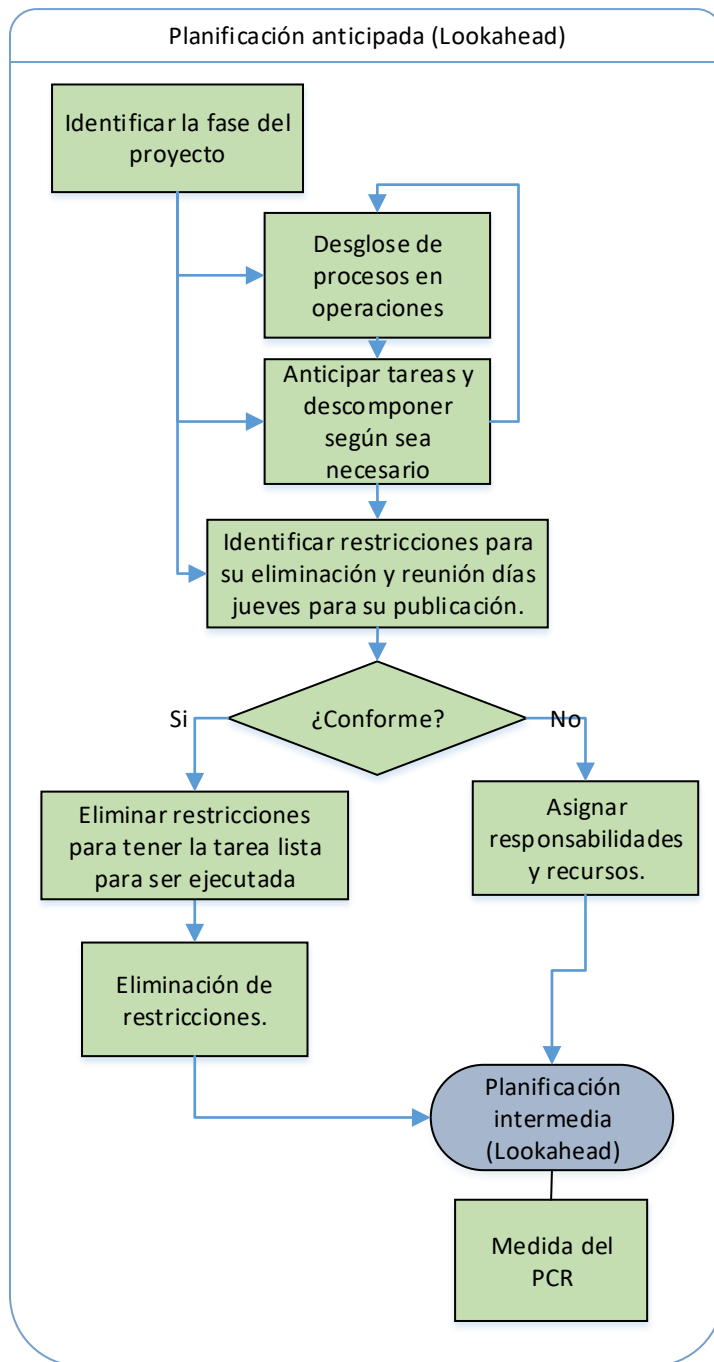


Figura 20. Procesamiento de datos – Last Planner System (Planificación anticipada – Lookahead).

Fuente: Elaboración propia.

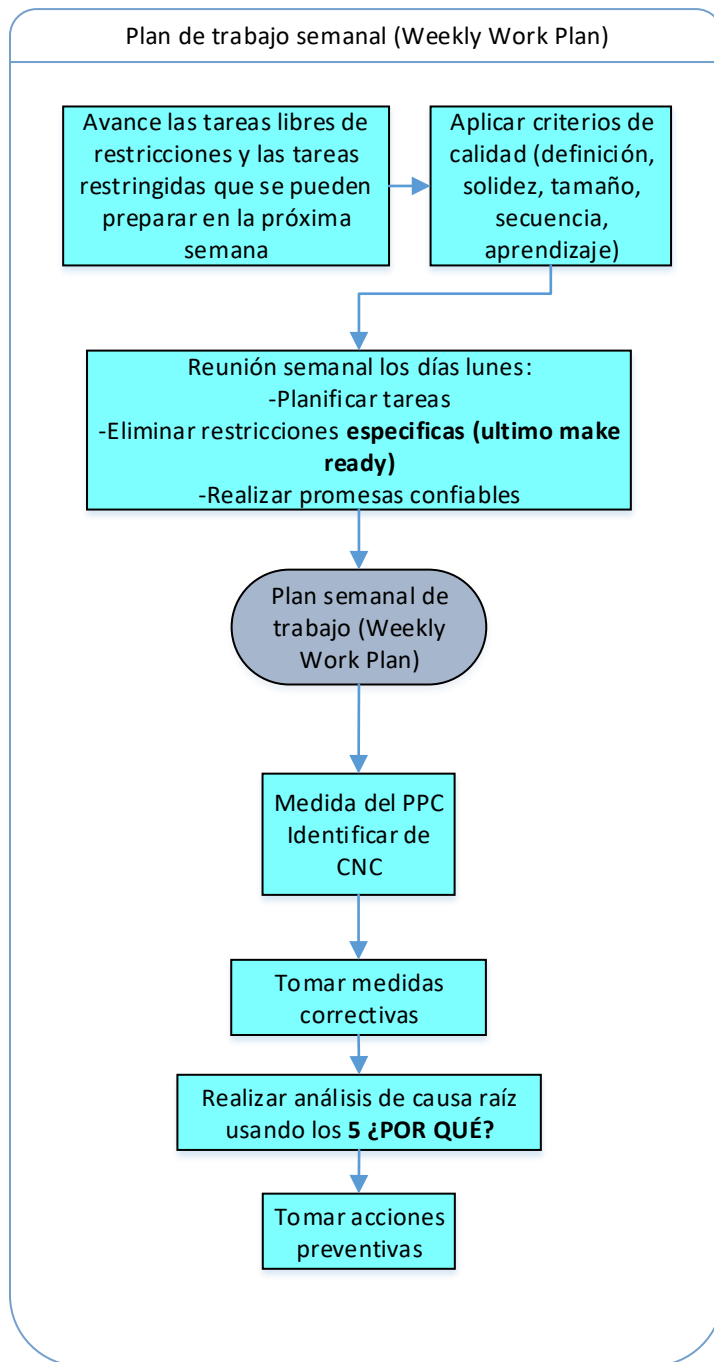


Figura 21. Procesamiento de datos – Last Planner System (Plan de trabajo semanal).
Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la herramienta Los 5 ¿Por qué?, se procesará la información según el diagrama de flujo mostrado:

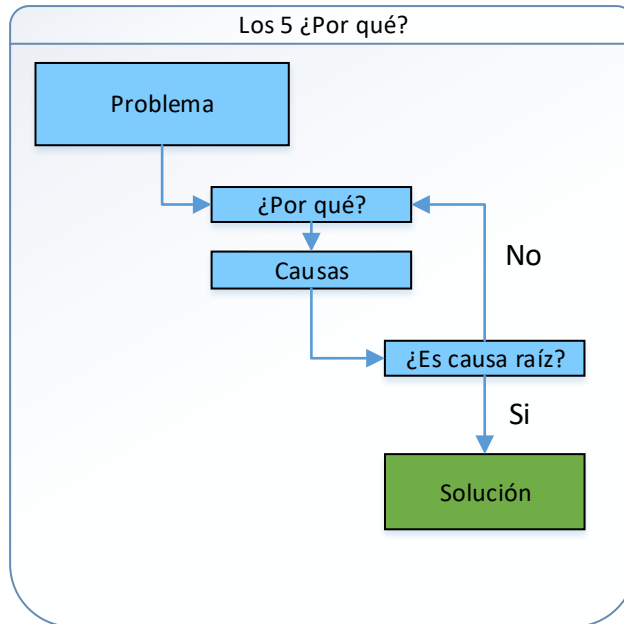


Figura 22. Procesamiento de datos – Los 5 ¿Por qué?.
Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la herramienta Nivel General de actividad, se procesará la información según el diagrama de flujo mostrado:



Figura 23. Procesamiento de datos – Nivel general de actividad.
Fuente: Elaboración propia.

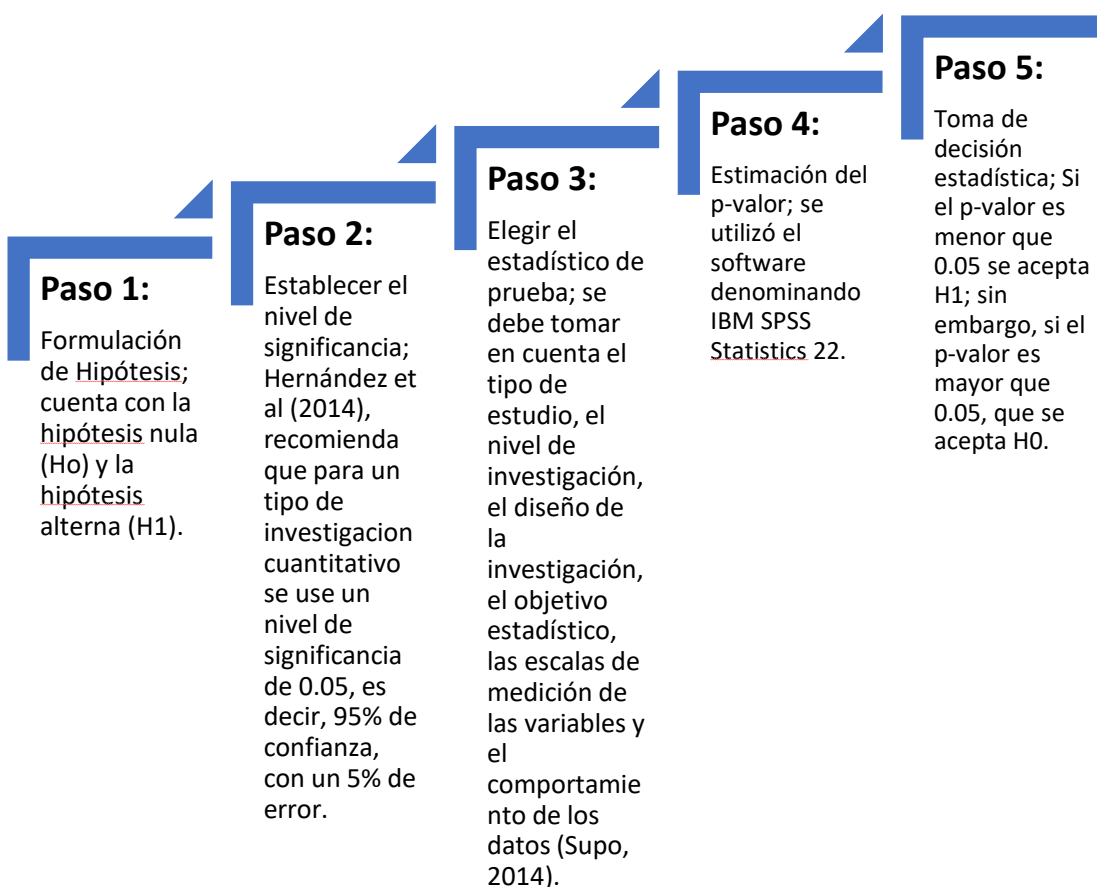
3.9. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis llamada también validación o verificación de una hipótesis mediante un proceso de estadística inferencial, con el propósito de decidir si se acepta o se rechaza una hipótesis estadística. De acuerdo a Hernández et al. (2014), las hipótesis con enfoque cuantitativo, “se someten a prueba en la realidad cuando se implementa un diseño de investigación, se recolectan datos mediante instrumentos de medición para analizarlos e interpretarlos” (p.117).

- a. Hipótesis nula (H_0): Según hipótesis principal o secundaria.
- b. Hipótesis alterna (H_1): Según hipótesis principal o secundaria.

3.10. Procedimiento estadístico

Supo (2014), plantea 5 pasos para el proceso de la Prueba de Hipótesis, en base al planteamiento de Fisher, los cuales son:



CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación se encuentra dentro de los márgenes establecidos por el Consorcio San Antonio en su calidad de contratista ejecutor de obra “Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina/ Distrito de Putina/Provincia SA Putina/Puno – Coliseo Cubierto (Componente I)”, por ende, la aplicación de las herramientas Lean Construction dentro del proyecto estuvo centrada en los principios propuestos por Sacks, Dave, Koskela y Owen (2009) mencionados en el capítulo II, a continuación se muestran las herramientas aplicadas en el proyecto en concordancia con los principios:

- **Principio: Reducir la variabilidad**, se aplicó las herramientas Last Planner System, Buffer de tiempo, y Trenes de trabajo.
- **Principio: Reducir el tiempo del ciclo**, este principio se encuentra relacionado con el anterior, por ende, las herramientas usadas son las mismas para ambos principios.

Principio: Reducir el tamaño del lote, se aplicó la herramienta Sectorización.

Principio: Aumentar la flexibilidad

Se aplicó la herramienta Buffer de tiempo.

Principio: Seleccionar un enfoque de control de producción adecuado, se aplicó la herramienta Last Planner System

Principio: Estandarizar, este principio se vio implícito dentro de las herramientas usadas mediante los formatos creados.

Principio: Instituir la mejora continua, se aplicó la herramienta Last Planner System, y los 5 ¿Por qué?

Principio: Utilizar gestión visual, se optó por usar modelados 3d del proyecto, para su mejor visualización.

Principio: Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor, se aplicó la herramienta: Last Planner System.

Principio: Asegurar la captura integral de los requisitos, se consideró que, cumplir con los requerimientos propuestos por el cliente en el expediente técnico del proyecto se encuentra enmarcado dentro del principio.

Principio: Centrarse en la selección del concepto, no aplica a la presente investigación, por encontrarse definido dentro del expediente técnico del proyecto.

Principio: Asegurar el requisito de flujo descendente, se aplicó la herramienta Trenes de trabajo.

Principio: Verificar y validar, se consideró que, cumplir con los requerimientos propuestos por el cliente en el expediente técnico del proyecto se encuentra enmarcado dentro del principio.

Principio: Ve a ver por ti mismo, se aplicó las herramientas Muestreo de Trabajo.

Principio: Decidir por consenso, considerar todas las opciones, el principio se vio inmerso dentro la aplicación de la herramienta Last Planner System.

Principio: Cultivar una red extendida de socios, este principio se desarrolló con la intervención del equipo técnico de la obra, llegándose a cultivar una red de personas que conozcan acerca de Lean Construction y sus herramientas.

A continuación, se detallan las herramientas Lean Construction aplicadas al proyecto, así como su proceso de ejecución y resultados.

4.1. Aplicación de las Herramientas Lean Construction

4.1.1. Buffer de tiempo

Para aplicar la implementación del Buffer de tiempo se procedió a revisar el Cronograma contractual de obra, encontrándose que el plazo de ejecución del proyecto es de 360 días calendario.

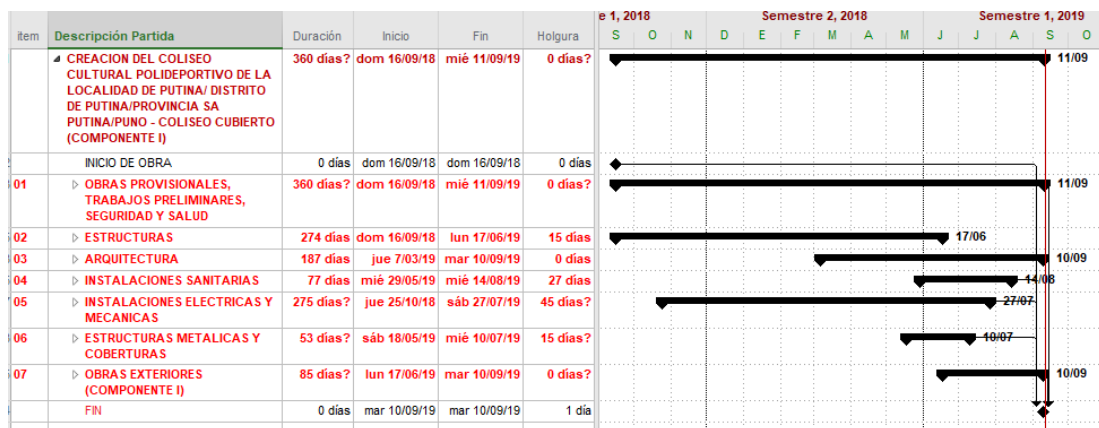


Figura 24. Cronograma contractual de obra.

Fuente: Consorcio San Antonio.

Durante la segunda reunión con el equipo de trabajo se planteó usar un buffer de tiempo del 20% del plazo de ejecución del proyecto, o considerar las planificaciones

de lunes a viernes dejando los días sábados como buffer por si no se llegan a cumplir las metas de la semana.

En el Anexo 2 se puede apreciar el procedimiento realizado para establecer el cálculo del Buffer de tiempo según lo mencionado en el capítulo II, donde se obtuvo como buffer de tiempo 72 días calendario, lo que nos indica que, si bien el proyecto se tenía que terminar en 360 días calendario, aplicando el buffer de tiempo se tendría que terminar en 288 días calendario.

Sin embargo, en coordinación con el equipo de trabajo y gerente de obra se decidió por considerar las planificaciones de 5 días útiles (lunes a viernes) y dejar los días sábados como buffer de tiempo.

4.1.2. Sectorización

La idea principal de la sectorización está en disminuir el tamaño del lote, lográndose trabajar con sectores más pequeños.

Inicialmente para dividir el proyecto en sectores, se elaboraron los metrados de acero, concreto y encofrado toda la estructura, de los cuales se pudo apreciar que la geometría de la estructura, aunque irregular probablemente pueda ser dividida fácilmente en sectores, por ende, se propuso 2 alternativas de sectorización, en base a los metrados de las actividades de acero, concreto y encofrado de la fase de estructuras.

La figura 25 muestra la primera alternativa planteada que presenta cuatro sectores de similar cantidad de metrado y trabajo en sus actividades.

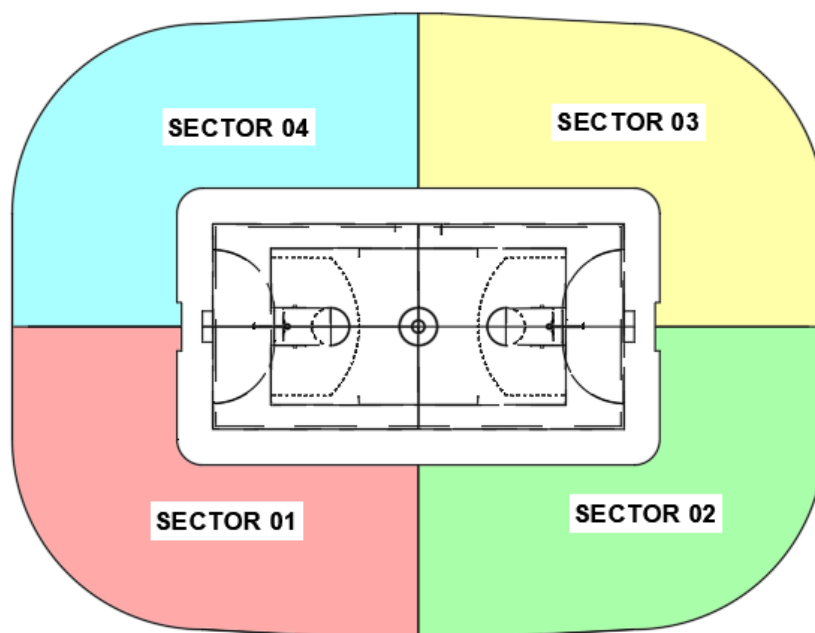


Figura 25. Buffer de plazo del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 26 muestra la segunda alternativa planteada que consta de ocho sectores, teniendo el sector 1 y sector 5 metrados similares, el sector 2, sector 4, sector 6 y sector 8 metrados similares, el sector 3 y sector 7 metrados similares.

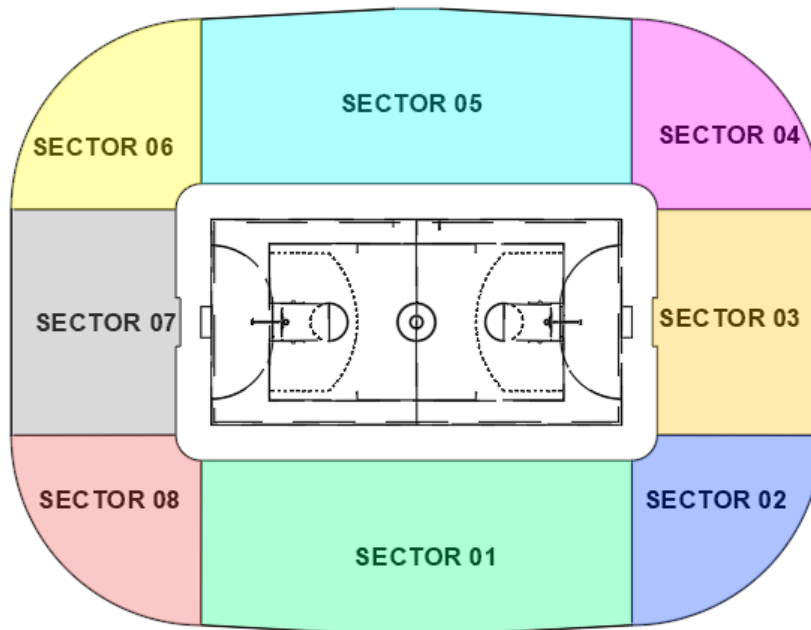


Figura 26. Segunda alternativa de Sectorización.
Fuente: Elaboración propia.

En reunión con el equipo de trabajo se evaluó las dos alternativas, respecto a la primera alternativa, se detectó que las divisiones de cada sector caen en medio de los graderíos y losas lo que ocasionaría que durante la ejecución de las actividades de vaciado de concreto en los graderíos y losas estas no serían monolíticas ya que parte de ellas se quedarían a medio vaciar generándose así juntas frías, situación que fue consultada al ingeniero Supervisor de Obra, quien no aprobó que se realizaran juntas frías en los graderíos y losas de la estructura; respecto a la segunda alternativa se encontró que los metrados no son similares en todos los sectores, sin embargo, no representan un problema ya que se propuso dividirlos en subsectores, por ende el equipo de trabajo decidió trabajar con la segunda alternativa. La figura 27 muestra la sectorización final de la estructura, representando el color verde al sector 1, color azul al sector 2, color naranja al sector 3, color violeta al sector 4, color celeste al sector 5, color amarillo al sector 7, color gris al sector 7 y color rojo al sector 8.

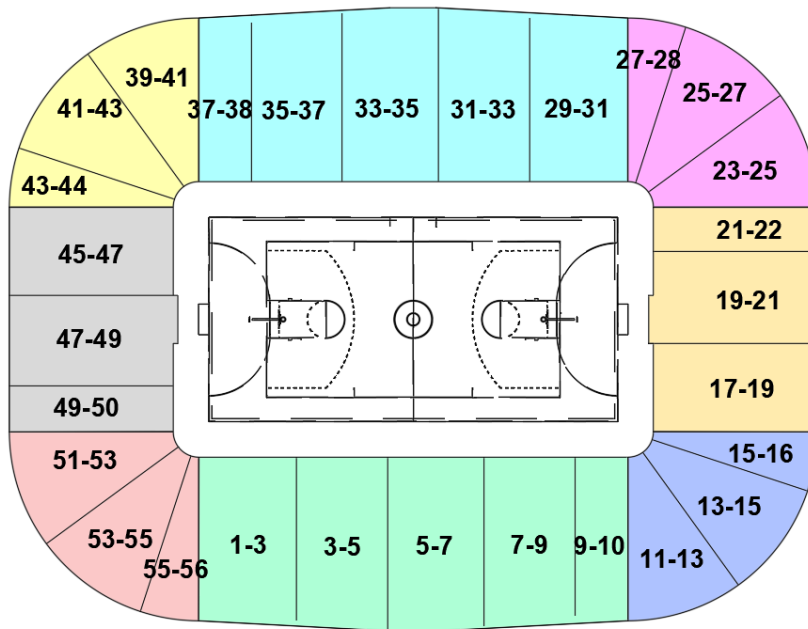


Figura 27. Sectorización de la estructura.
Fuente: Elaboración propia.

Respecto al sector 1 y 5, se logró tener metrados similares en los sub sectores 1-3, 3-5, 5-7, 7-9, 29-31, 31-33, 33-35, 35-37; sin embargo, en los sub sectores 9-10 y 37-38 el metrado es menor, debido a que se decidió considerar un buffer de tiempo en caso no se llegue a cumplir con los trabajos en los otros subsectores.

Respecto al sector 2, 4, 6 y 8, se logró tener metrados similares en los sub sectores 11-13, 13-15, 23-25, 25-27, 39-41, 41-43, 45-47, 47-49, 51-53, 53-55; sin embargo, en los sub sectores 15-16, 27-28, 43-44, 55-56 el metrado es menor, debido a que se decidió considerar un buffer de tiempo en caso no se llegue a cumplir con los trabajos en los otros subsectores.

Respecto al sector 3 y 7, se logró tener metrados similares en los sub sectores 17-19, 19-21, 45-47, 47-49; sin embargo, en los sub sectores 21-22, 49-50 el metrado es menor, debido a que se decidió considerar un buffer de tiempo en caso no se llegue a cumplir con los trabajos en los otros subsectores (ver anexo 3).

Además, se dividió el proyecto en 5 niveles: Cimentaciones, Piso 0, Piso 1, Piso 2, Piso 3 (ver figura 28).

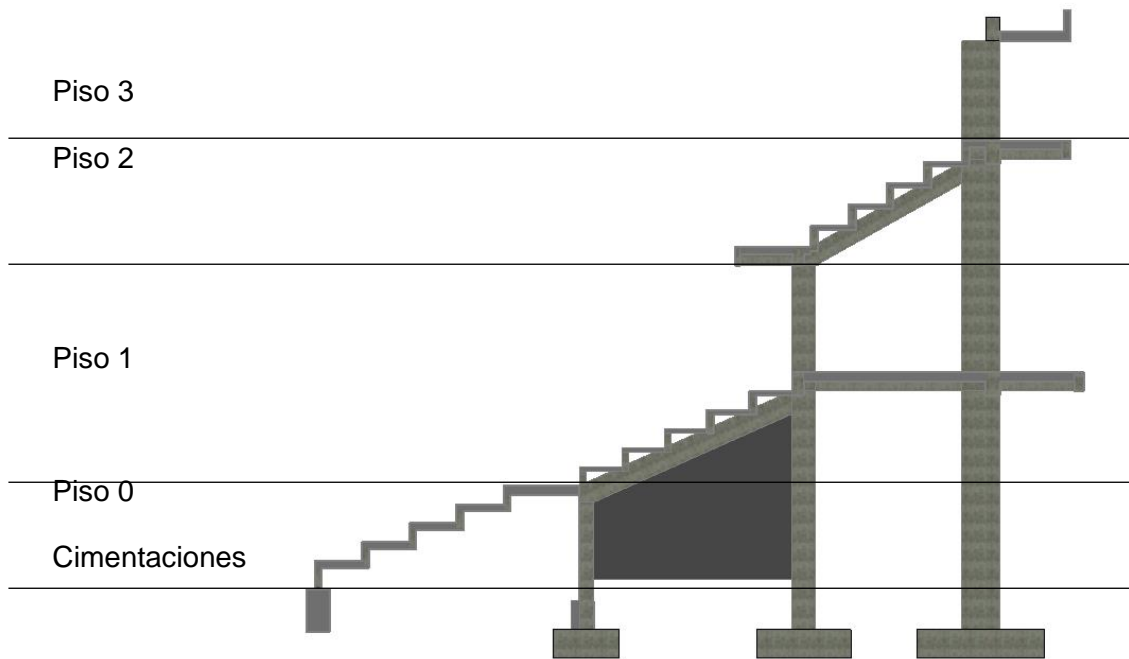


Figura 28. Niveles de proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Tren de actividades

El tren de actividades se realizó en base a la sectorización, considerándose las siguientes actividades como parte del tren, se adjunta tren de actividades de la fase de estructuras en anexo 4.1:

En cimentaciones:

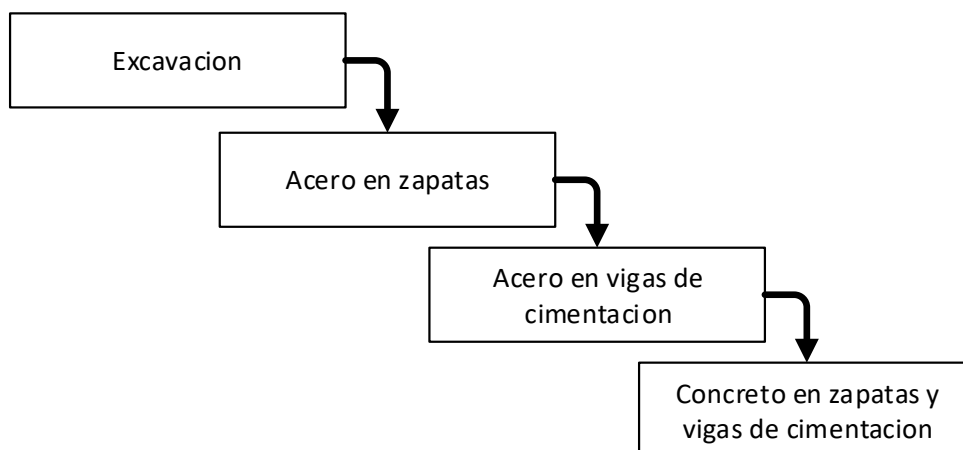


Figura 29. Tren de actividades para cimentaciones.
Fuente: Elaboración propia.

En el piso 1 y piso 2:

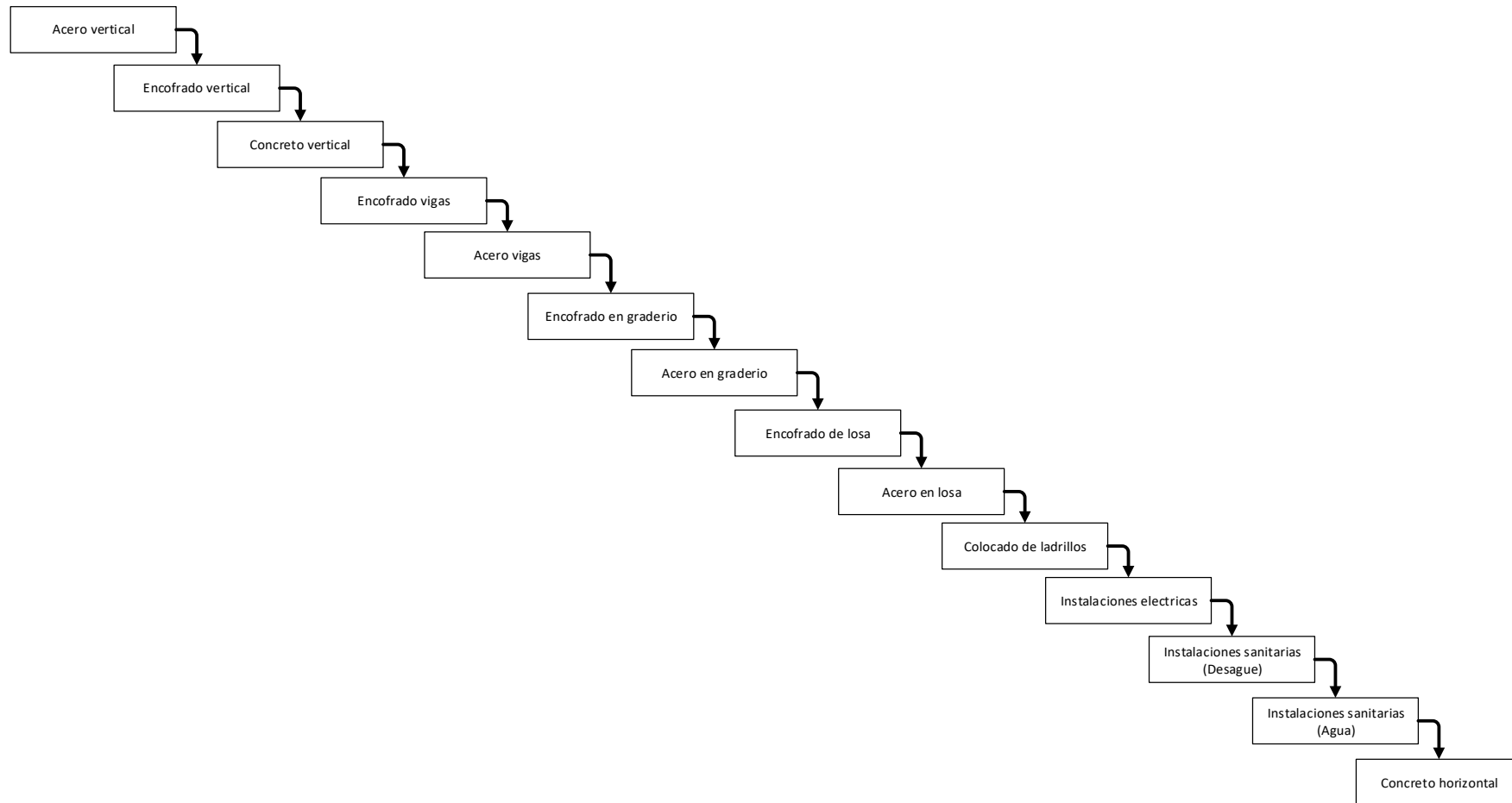


Figura 30. Tren de actividades para piso 1 y piso 2.
Fuente: Elaboración propia.

En el piso 3:

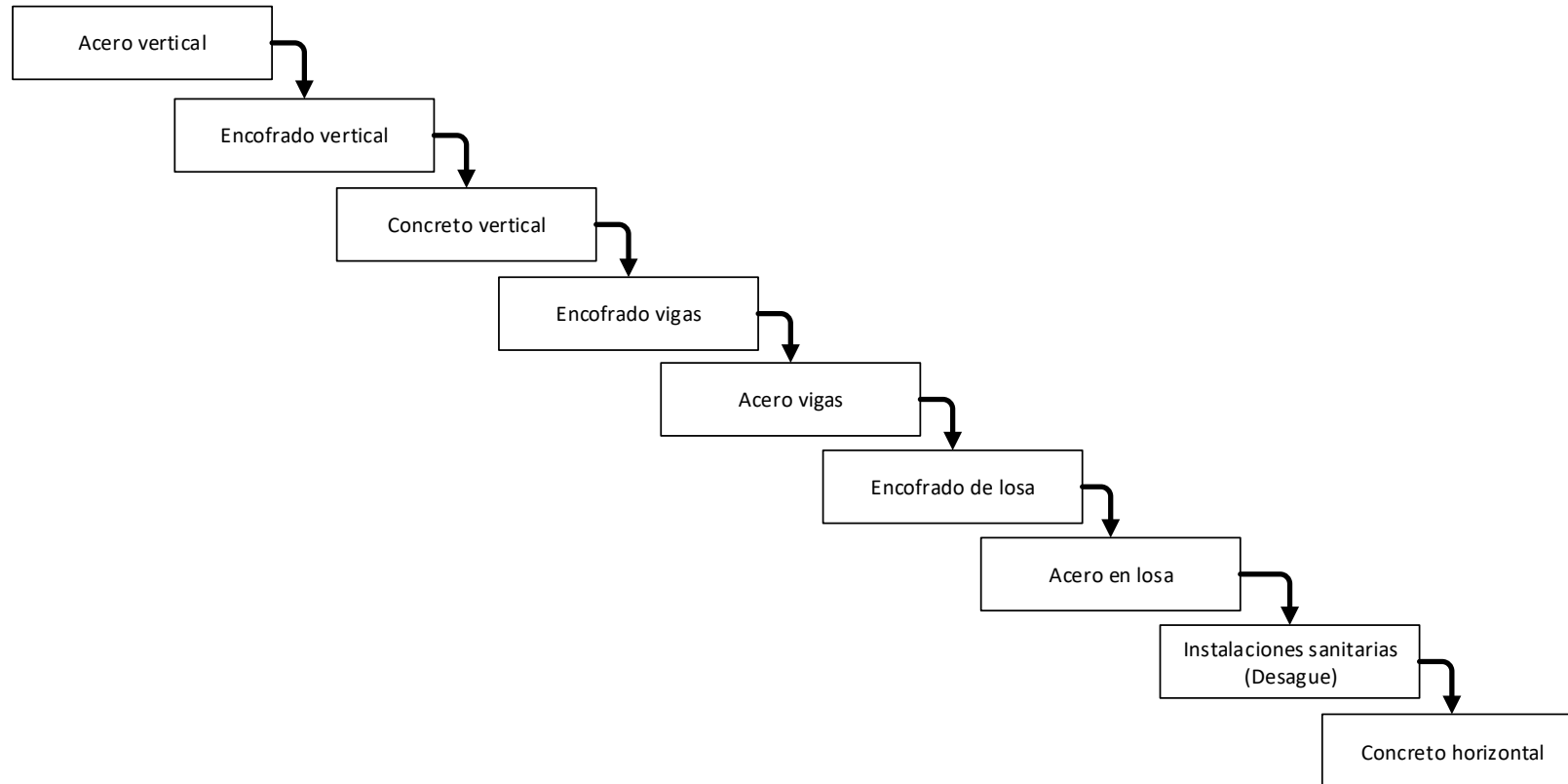


Figura 31. Tren de actividades para piso 3.
Fuente: Elaboración propia.

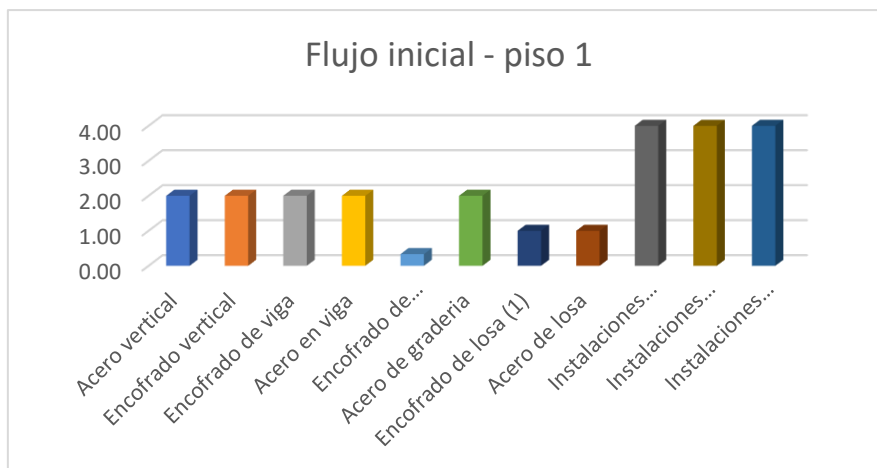


Figura 34. Flujo inicial – nivel 1.
Fuente: Elaboración propia.

Por ende, se realizó un análisis de cuadrillas (ver Anexo 4.2) con la finalidad de balancear los flujos y asegurar su eficiencia, para ello se decidió balancear las cuadrillas en función a un avance diario de 2 paños/día, aumentando el número de personal en las cuadrillas de: encofrado de gradería, encofrado de losa y acero en losa, y disminuyendo el personal de las cuadrillas de instalaciones eléctricas y inst. sanitarias (agua y desagüe). La figura 35 muestra los flujos balanceados del piso 1.

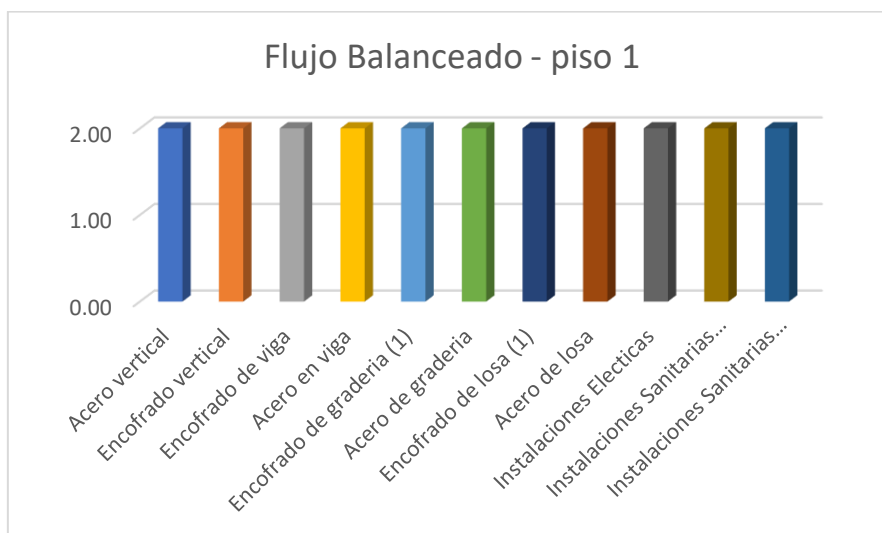


Figura 35. Flujo balanceado – nivel 1.
Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de los rendimientos en obra se usó los siguientes métodos: Juicio de Expertos y la Observación Estructurada.

Dentro del método Juicio de Expertos, se consideró como Expertos al Ingeniero Residente de Obra, Ingeniero de Producción y Maestro de Obra, dando a su opinión experta rendimientos de los trabajos presentes en los trenes de actividades.

Dentro de la Observación Estructurada, se verifico los rendimientos otorgados por los expertos y de ser necesario se corrigió los mismos a medida que se iba desarrollando el proyecto. (Se adjunta formato usado en Anexo 1).

4.1.4. Last Planner System

La aplicación de esta herramienta Lean Construction se dio en la etapa de estructuras, como se muestra a continuación:

4.1.4.1. Planificación Maestra (Master Scheduling)

El proyecto presenta un cronograma Gantt elaborado en el software MS Project, el cual se toma como referencia para la determinación de los hitos más importantes del proyecto con sus respectivas fechas de entrega.

El primer paso para la implementación del Last Planner System a largo plazo es crear una alineación del equipo responsable de la obra alrededor de los hitos definidos del cronograma del contrato hasta por lo menos los hitos de nivel 1 y 2. La figura 36 muestra los hitos de nivel 1 y 2 en el proyecto.

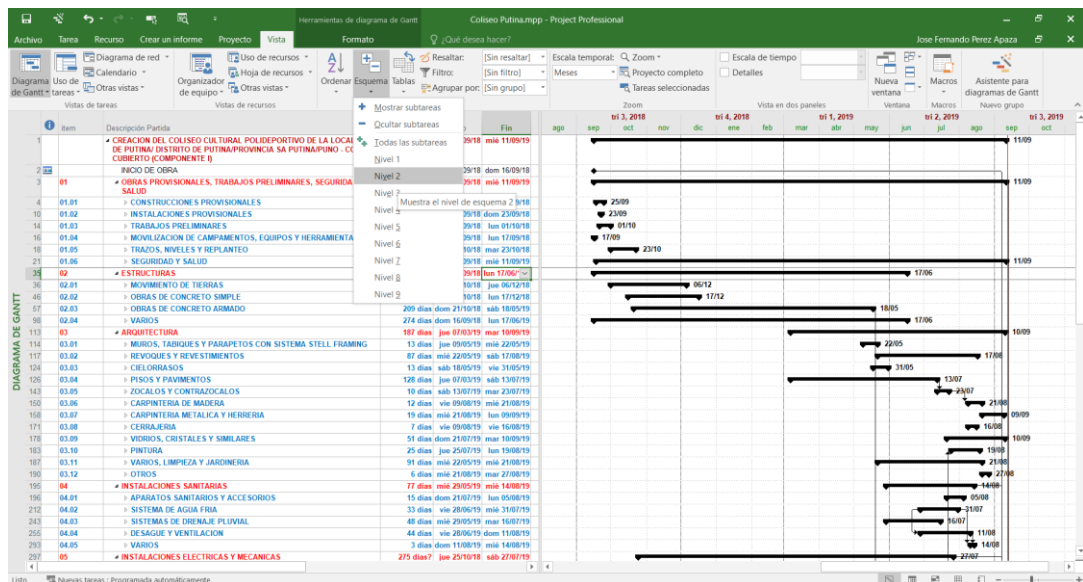


Figura 36. Cronograma contractual de obra – Hitos de segundo nivel.
Fuente: Consorcio San Antonio.

Para ello se realizó una reunión para dar conocimiento del cronograma maestro al equipo de trabajo del proyecto, en la cual participaron: ingeniero residente, ingeniero de producción, ingeniero de oficina técnica, administradora de obra y maestro de obra.

Durante la reunión se pudo identificar las más grande restricciones del proyecto, las cuales se dividieron según las fases:

- Obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud: Ninguno de gran magnitud
- Estructuras: Ninguno de gran magnitud
- Arquitectura: Poco conocimiento sobre el modo de trabajo del hito nivel 2: muros, tabiques y parapetos con sistema steel framing.
- Instalaciones sanitarias: Ninguno de gran magnitud
- Instalaciones eléctricas y mecánicas: Ninguno de gran magnitud
- Estructuras metálicas y coberturas: Muy cortas duración de las partidas, por experiencia del Ing. Residente la fabricación de la cobertura debe de realizarse 3 meses antes de su montaje, para poder asegurar el cumplimiento de dicho hito.
- Obras exteriores (componente): Ninguno de gran magnitud

Estas restricciones e hitos ya reconocidos por el equipo deberán ser inamovibles, y deben ser tomados en cuenta durante todo el proyecto.

4.1.4.2. Planificación por fases (Phase Scheduling)

En esta etapa, se realizaron dos reuniones Pull en la que participaron los últimos planificadores de la etapa de estructuras. Se procederá a describir cada sesión que llevará el nombre de la semana de su ejecución.

Planificación por fase estructuras semana N°43, 44 y 45 – Ver Anexo 5.

En esta reunión participaron: ingeniero residente, ingeniero de producción, ingeniero de oficina técnica, administradora de obra, maestro de obra, seguridad, capataz de cuadrillas de actividades de acero, capataz de cuadrillas de actividades de encofrado, capataz de cuadrillas de actividades de concreto, capataz de cuadrillas de actividades varias.

La sesión comenzó con una capacitación previa sobre la planificación pull y trenes de trabajo, después de ello se repartieron formatos de llenado para la secuencia de acción. En la figura 37 se aprecia el formato utilizado en la sesión pull.

Responsable:	¿Quién recibirá este trabajo?	
Especialidad:		
Esto es lo que hare		
¿Dónde lo hare?		
¿Qué hare?	¿En cuánto tiempo lo hare?	
	#trabajadores	
Para hacerlo necesito...		
¿Qué tareas previas necesito?	¿De quién?	
¿Qué recursos necesito?	¿De quién?	

Figura 37. Formato de tarjeta Pull complejo
Fuente: Elaboración propia

Después se empezaron a realizar la negociación de duraciones dadas por los capataces, en base a la duración estimada del tren de actividades. La figura 38 muestra la sesión pull semana N°45.

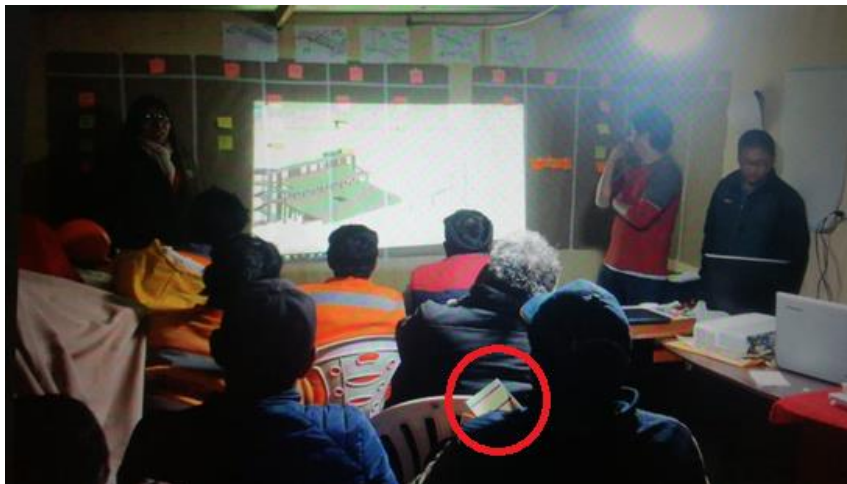


Imagen 38. Sesión pull semana N°45.
Fuente: Elaboración propia

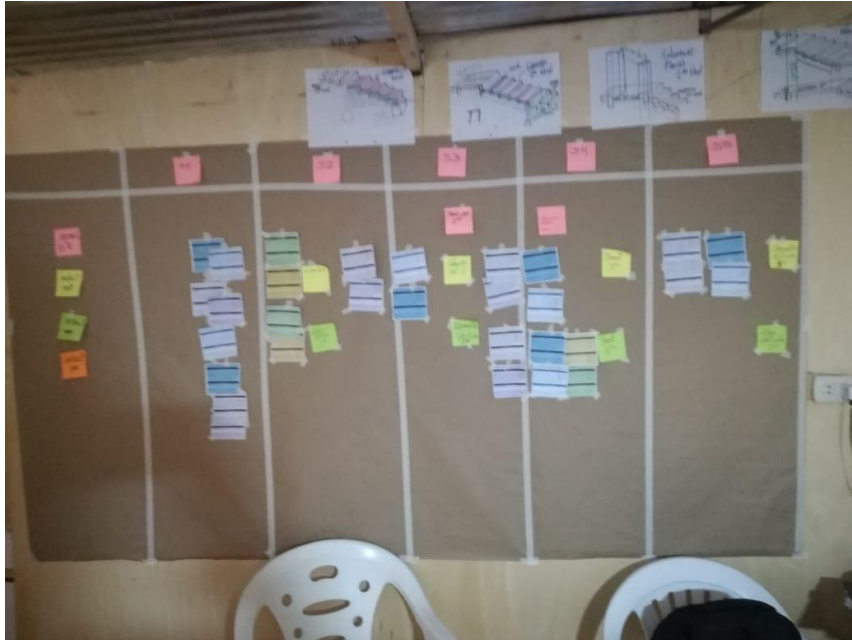


Imagen 39. Fin de sesión pull semana N°45.
Fuente: Elaboración propia

Al concluir la reunión se realizó un Plus/Delta sobre la sesión:

PLUS (+)

- Se tuvo buena predisposición por parte de los participantes a seguir el esquema planteado para la reunión.
- Se tomó decisiones en base a las recomendaciones de las personas (involucramiento al proyecto).
- Respeto mutuo entre los participantes, se mantuvo un ambiente agradable.
- La presentación en 3D del casco fue de ayuda para entender los entregables.

DELTA (-)

- Se tuvo un mal inicio debido a la poca pericia del facilitador.
- Interferencia por lluvia en calamina, dificultó el inicio de reunión.
- Falto más intervención de forma verbal de los participantes.
- No hubo un entretiempo para compartir.

- Se observó que algunos participantes no llenaron correctamente las fichas.
- Larga duración de 3.5h.

Planificación por fase estructuras semana N°48 - Ver Anexo 5

En esta reunión participaron: ingeniero residente, ingeniero de producción, ingeniero de oficina técnica, administradora de obra, maestro de obra, seguridad, capataz de cuadrillas de actividades de acero, capataz de cuadrillas de actividades de encofrado, capataz de cuadrillas de actividades de concreto, capataz de cuadrillas de actividades varias, capataz instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias.

Para esta sesión se decidió cambiar de formato, por uno más simple, ya que el anterior formato no permitía una buena visualización y además se detectaron problemas de llenado del mismo. La figura 40 muestra el formato usado utilizado en la sesión pull semana N°48.

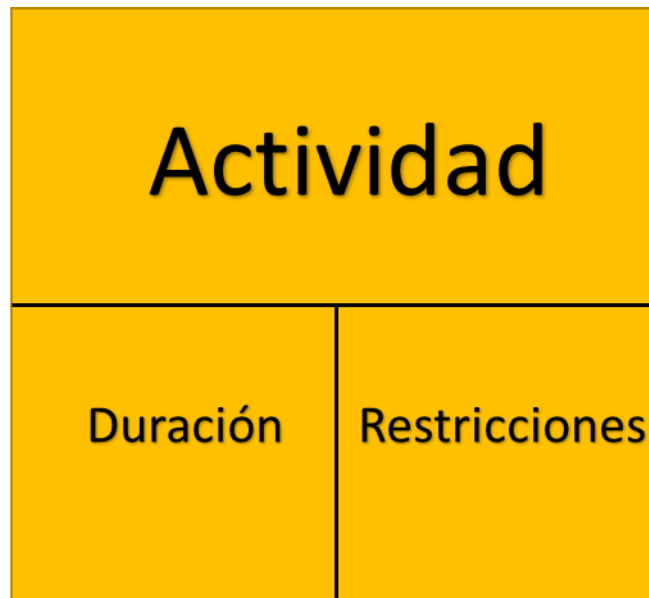


Figura 40. Formato de tarjeta Pull. sencillo
Fuente: Elaboración propia

Después se empezaron a realizar la negociación de las duraciones dadas por los capataces, en base a la duración estimada del tren de actividades. La figura 41 muestra la sesión pull semana N°48.



Figura 41. Sesión Pull semana N°48
Fuente: Elaboración propia

Al concluir la reunión se realizó un Plus/Delta sobre la sesión:

PLUS (+)

- Se tuvo buena predisposición por parte de los participantes.
- La comunicación fue mucho más fluida, gracias a la ayuda de la nueva tarjeta.
- Respeto mutuo entre los participantes, se mantuvo un ambiente agradable.
- Llenado correcto del formato.
- Duración moderada de 2.5h

DELTA (-)

- Inicio tardío de sesión.

4.1.4.3. Planificación anticipada

Por ser la fase de estructuras se opta por anticipar un horizonte de 4 semanas, contados desde la semana de ejecución. Así mismo se definen los días lunes para la realización del Lookahead y los días jueves para la reunión de análisis de restricciones, con la asistencia de: ingeniero residente, ingeniero de producción, ingeniero de oficina técnica, administradora de obra, maestro de obra y seguridad.

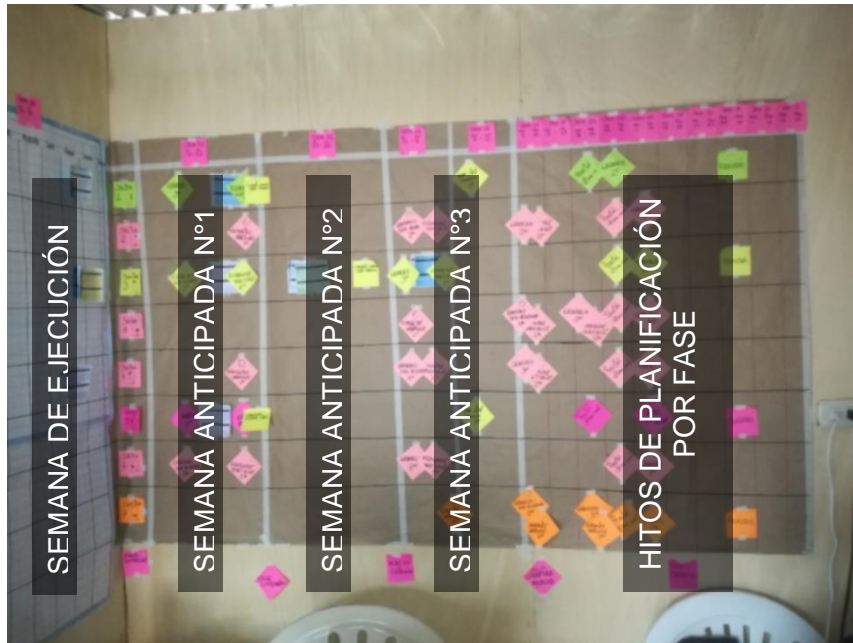


Figura 43. Tablero Lookahead
Fuente: Elaboración propia

4.1.4.3.2. Análisis de restricciones (Make ready)

Se cuentan con 15 Análisis de restricciones de la fase de estructuras (Anexos 5), desde la semana N°45 hasta la semana N°07. A continuación, se procederá a describir el procedimiento llevado a cabo para realizar el Análisis de restricciones correspondiente a la semana N°51.

Análisis de restricciones semana N°51

Durante la reunión, se parte del Lookahead actualizado a la semana N°51, el cual es mostrado a todo el equipo. La fig. 44 muestra una reunión típica para el análisis de restricciones.



Figura 44. Reunión semanal de Análisis de restricciones
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se verifican que compromisos se han cumplido hasta la fecha del Análisis de restricciones realizado la semana N°50. y se empieza a realiza el Análisis

de restricciones en base a las 7 precondiciones de la semana N°52, semana N°01 y semana N°02 (horizonte de 4 semanas). La fig. 45 muestra el análisis de restricciones de la semana N°52 que se realizó a la semana N°02.

Frente	ITEM	Cuadrillas	S02							Make Ready					Liberación de S02			
			Enero							Diseño de construcción	Materiales	Trabajadores	Equipo	Espacio		Condiciones externas		
			L	M	M	J	V	07	08								09	10
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4														
	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8														
Piso 1	5	Acero vertical																
	6	Encofrado vertical																
	7	Concreto vertical																
	8	Encofrado de viga																
	9	Acero en viga																
	10	Encofrado de gradería (1)																
	11	Encofrado de gradería (2)																
	12	Encofrado de gradería (3)																
	13	Acero de gradería (1)																
	14	Acero de gradería (2)																
	15	Encofrado de	55-56															
	16	Acero de losa	53-55	55-56														
	17	Colocado de l	51-53	53-55	55-56													
	18	Instalaciones	51-53	53-55	55-56													
19	Instalaciones	51-53	53-55	55-56														
20	Instalaciones	53-53	53-55	55-56														
21	Concreto hor	39-44				51-56												
Piso 2	22	Acero vertical	27-28	17-19	19-21	21-22	39-41											
	23	Encofrado ve	25-27	27-28	17-19	19-21	21-22											
	24	Concreto vert	23-25	25-27	27-28	17-19	19-21											
	25	Encofrado de	31-33	33-35	35-37	37-38	11-13											
	26	Acero en viga	29-31	31-33	33-35	35-37	37-38											
	27	Encofrado de	9-10	29-31	31-33	33-35	35-37											
	28	Encofrado de	7-9	9-10	29-31	31-33	33-35											
	29	Encofrado de	5-7	7-9	9-10	29-31	31-33											
	30	Acero de grad	3-5	5-7	7-9	9-10	29-31											
	31	Acero de grad	1-3	3-5	5-7	7-9	9-10											
	32	Encofrado de losa		1-3	3-5	5-7	7-9											
	33	Acero de losa			1-3	3-5	5-7											
	34	Colocado de ladrillos				1-3	3-5											
	35	Instalaciones Electricas				1-3	3-5											
36	Instalaciones Sanitarias (Desague)				1-3	3-5												
37	Instalaciones Sanitarias (Agua)				1-3	3-5												
38	Concreto horizontal																	
Piso 0	49	Relleno	S3,S2.G0.1-4	S3,S2.G0.1-5	S4,S6.G0.1	S4,S6.G0.1-2	S4,S6.G0.1-3											
	50	Encofrado co	S1.G0.2	S1.G0.3	S1.G0.3	S1.G0.4	S1.G0.4											
	51	Concreto ciclo	S1.G0.2	S1.G0.2	S1.G0.3	S1.G0.3	S1.G0.4											
	52	Acero de grad	S1.G0.1	S1.G0.2	S1.G0.2	S1.G0.3	S1.G0.3											
	53	Encofrado de	S1.G0.1	S1.G0.1	S1.G0.2	S1.G0.2	S1.G0.3											
	54	Concreto horizontal		S1.G0.1	S1.G0.1	S1.G0.2	S1.G0.2											
Piso 0	55	Encofrado co	S5.G0.2	S5.G0.3	S5.G0.3	S5.G0.4	S5.G0.4											
	56	Concreto ciclo	S5.G0.2	S5.G0.2	S5.G0.3	S5.G0.3	S5.G0.4											
	57	Acero de grad	S5.G0.1	S5.G0.2	S5.G0.2	S5.G0.3	S5.G0.3											
	58	Encofrado de	S5.G0.1	S5.G0.1	S5.G0.2	S5.G0.2	S5.G0.3											
59	Concreto horizontal		S5.G0.1	S5.G0.1	S5.G0.2	S5.G0.2												

Figura 45. Análisis de restricciones
Fuente: Elaboración propia

Estas restricciones son documentadas en una lista a cuál se le asigna un responsable y una fecha para su liberación, y así poder llevar un control sobre los compromisos de liberación de restricciones. La figura 46 muestra la lista de restricciones de la semana N°51.

Último planificador - LISTA DE RESTRICCIONES									
CONSORCIO SAN ANTONIO		Nombre del proyecto: Coloso San Antonio de Patina							
		Empresa: Consorcio San Antonio							
		Semana: 51							
		20/12/2018							
Item	Actividad afectada	Tipo de restricción	Descripción de restricción	Responsable de liberación	Fecha de ejecución de actividad	Fecha comprometida de liberación	Fecha de liberación	Check	
21	Relleno	Equipo	Se necesita rodillo compactador de 3tn	QH	10/12/2018	09/12/2018	13/12/2018	✓	
25	Varias	Materiales	Gestión de requerimiento de materiales REQ.MAT.S51	QH	17/12/2018	13/12/2018	14/12/2018	✓	
27	Varias	Materiales	Gestión de requerimiento de materiales REQ.MAT.S52	QH	24/12/2018	20/12/2018	14/12/2018	✓	
29	Encofrado concreto ciclopeo	Trabajadores	Gestiona REQ.PER.S52	QH	26/12/2018	20/12/2018	20/12/2018	✓	
31	Concreto ciclopeo	Trabajadores	Gestiona REQ.PER.S52	QH	26/12/2018	20/12/2018	20/12/2018	✓	
32	Varias	Materiales	Metrado de materiales y entrega de requerimiento de materiales REQ.MAT.S01 a Logística	IH	02/01/2019	15/12/2018	15/12/2018	✓	
33	Varias	Materiales	Gestión de requerimiento de materiales REQ.MAT.S01	QH	03/01/2019	27/12/2018			
34	Concreto horizontal	Equipo	Mantenimiento de bomba, planta de concreto y mixer	PC	04/01/2019	28/12/2018			
35	Varias	Materiales	Metrado de materiales y entrega de requerimiento de materiales REQ.MAT.S02 a Logística	IH	07/01/2019	15/12/2018	15/12/2018	✓	
36	Varias	Materiales	Gestión de requerimiento de materiales REQ.MAT.S02	QH	07/01/2019	27/12/2018			
37									
38									

Figura 46. Lista de restricciones semana N°51
Fuente: Elaboración propia

Se ha visto conveniente no poner en detalle los materiales que son restricciones por actividades, ya que se generarían muchos compromisos y sería difícil controlar su cumplimiento, por ello se consideran una global realizar y ejecutar el requerimiento de materiales. La figura 47 muestra el requerimiento correspondiente a la semana anticipada N°52.

CONSORCIO SAN ANTONIO HOJA DE REQUERIMIENTO

"CREACION DEL COLEJO CULTURAL DE LA LOCALIDAD DE PUTINA DISTRITO DE PUTINA PROVINCIA S.A. PUTINA PUNO - COLEJO CUBIERTO"

AREA SOLICITANTE:
NOMBRE : *NBA Cesar Romero Cabelo*
CARGO : *MAESTRO DE OBRA*

USOS y/o JUSTIFICACION

DIA / MES / AÑO
14 / 12 / 2018

HORA:

Especifique y sea claro para lo que va a solicitar:

#	codigo FECHAS	DESCRIPCION	U. M.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO POR EVENTO
		<i>COBRE VULCANIZADO #12 - 3 pds</i>	<i>md</i>	<i>01</i>		
		<i>TELEFONO 1" 120 x 2400</i>	<i>md</i>	<i>10</i>		
		<i>CEMENTO BLENDO X 1500 KG</i>	<i>bs</i>	<i>48</i>		
		<i>CEMENTO BOGSA X 425 KG TARDADO CANCHAS</i>	<i>bs</i>	<i>200</i>		
		<i>CLAVES 3" X CADA 30KG</i>	<i>CADA</i>	<i>02</i>		
		<i>CLAVES 2 1/2" X CADA 30KG</i>	<i>CADA</i>	<i>02</i>		
		<i>DISCO CORTE MADERA 7 1/4"</i>	<i>md</i>	<i>04</i>		
		<i>DISCO CORTE METAL 14"</i>	<i>md</i>	<i>10</i>		
		<i>MANEJO EQUIPOS HUMANOS / MANTENIMIENTO</i>	<i>md</i>	<i>09</i>		
		<i>TALADRO ELECTRICOS Y COLONIAS ELECTRICAS</i>	<i>md</i>	<i>150</i>		
		<i>COMBUSTIBLE CARBONATADO / OILS / OILS</i>	<i>md</i>	<i>30</i>		

Figura 47. Hoja de requerimiento de materiales semana anticipada 52
Fuente: Consorcio San Antonio

4.1.4.4. Plan de trabajo semanal (Weekly Work Planning)

En este plan, se definen los días lunes para llevar a cabo la reunión semanal para evaluar y definir el trabajo semanal correspondiente a la semana de ejecución, con la asistencia de: ingeniero residente, ingeniero de producción, administradora de obra, maestro de obra, seguridad, capataces.

En esta fase, se cuentan con 17 planes de trabajo semanal (Anexos 5), desde la semana N°43 hasta la semana N°07. A continuación, se procederá a describir el plan de trabajo semanal correspondiente a la semana N°51.

Plan de trabajo semana N°51

Para realizar el plan semanal se debe de contar con el lookahead de la semana 50 actualizado, y el análisis de restricciones de la semana N°50 con la liberación de todas las precondiciones de la semana N°51. Con estas dos condiciones se puede asegurar la ejecución de las actividades programadas en la semana N°51.

En el plan se deberá indicar la actividad, el lugar en donde se ejecutará, la fecha de ejecución y el responsable de esa actividad, adicionalmente se puede necesitar de

un último Make Ready necesario que se puede ejecutar en el transcurso de la semana N°51.

La figura 48 muestra una reunión semanal en la cual participan los últimos planificadores.



Figura 48. Reunión semanal
Fuente: Elaboración propia

La figura 49 muestra el plan de trabajo correspondiente a la semana N°51.

Módulo	Código	Descripción de actividad	Actividad de apoyo	Métricas de Rendimiento							Módulo de origen	Módulo de destino
				1	2	3	4	5	6	7		
San Antonio		Actividad de apoyo - Sector 4, Subsector 41-43, 51-53, 54-56, 57-59, 60-62, 63-65, 66-68, 69-71, 72-74, 75-77, 78-80, 81-83, 84-86, 87-89, 90-92, 93-95, 96-98, 99-101, 102-104, 105-107, 108-110, 111-113, 114-116, 117-119, 120-122, 123-125, 126-128, 129-131, 132-134, 135-137, 138-140, 141-143, 144-146, 147-149, 150-152, 153-155, 156-158, 159-161, 162-164, 165-167, 168-170, 171-173, 174-176, 177-179, 180-182, 183-185, 186-188, 189-191, 192-194, 195-197, 198-200, 201-203, 204-206, 207-209, 210-212, 213-215, 216-218, 219-221, 222-224, 225-227, 228-230, 231-233, 234-236, 237-239, 240-242, 243-245, 246-248, 249-251, 252-254, 255-257, 258-260, 261-263, 264-266, 267-269, 270-272, 273-275, 276-278, 279-281, 282-284, 285-287, 288-290, 291-293, 294-296, 297-299, 300-302, 303-305, 306-308, 309-311, 312-314, 315-317, 318-320, 321-323, 324-326, 327-329, 330-332, 333-335, 336-338, 339-341, 342-344, 345-347, 348-350, 351-353, 354-356, 357-359, 360-362, 363-365, 366-368, 369-371, 372-374, 375-377, 378-380, 381-383, 384-386, 387-389, 390-392, 393-395, 396-398, 399-401, 402-404, 405-407, 408-410, 411-413, 414-416, 417-419, 420-422, 423-425, 426-428, 429-431, 432-434, 435-437, 438-440, 441-443, 444-446, 447-449, 450-452, 453-455, 456-458, 459-461, 462-464, 465-467, 468-470, 471-473, 474-476, 477-479, 480-482, 483-485, 486-488, 489-491, 492-494, 495-497, 498-500, 501-503, 504-506, 507-509, 510-512, 513-515, 516-518, 519-521, 522-524, 525-527, 528-530, 531-533, 534-536, 537-539, 540-542, 543-545, 546-548, 549-551, 552-554, 555-557, 558-560, 561-563, 564-566, 567-569, 570-572, 573-575, 576-578, 579-581, 582-584, 585-587, 588-590, 591-593, 594-596, 597-599, 600-602, 603-605, 606-608, 609-611, 612-614, 615-617, 618-620, 621-623, 624-626, 627-629, 630-632, 633-635, 636-638, 639-641, 642-644, 645-647, 648-650, 651-653, 654-656, 657-659, 660-662, 663-665, 666-668, 669-671, 672-674, 675-677, 678-680, 681-683, 684-686, 687-689, 690-692, 693-695, 696-698, 699-701, 702-704, 705-707, 708-710, 711-713, 714-716, 717-719, 720-722, 723-725, 726-728, 729-731, 732-734, 735-737, 738-740, 741-743, 744-746, 747-749, 750-752, 753-755, 756-758, 759-761, 762-764, 765-767, 768-770, 771-773, 774-776, 777-779, 780-782, 783-785, 786-788, 789-791, 792-794, 795-797, 798-800, 801-803, 804-806, 807-809, 810-812, 813-815, 816-818, 819-821, 822-824, 825-827, 828-830, 831-833, 834-836, 837-839, 840-842, 843-845, 846-848, 849-851, 852-854, 855-857, 858-860, 861-863, 864-866, 867-869, 870-872, 873-875, 876-878, 879-881, 882-884, 885-887, 888-890, 891-893, 894-896, 897-899, 900-902, 903-905, 906-908, 909-911, 912-914, 915-917, 918-920, 921-923, 924-926, 927-929, 930-932, 933-935, 936-938, 939-941, 942-944, 945-947, 948-950, 951-953, 954-956, 957-959, 960-962, 963-965, 966-968, 969-971, 972-974, 975-977, 978-980, 981-983, 984-986, 987-989, 990-992, 993-995, 996-998, 999-1001, 1002-1004, 1005-1007, 1008-1010, 1011-1013, 1014-1016, 1017-1019, 1020-1022, 1023-1025, 1026-1028, 1029-1031, 1032-1034, 1035-1037, 1038-1040, 1041-1043, 1044-1046, 1047-1049, 1050-1052, 1053-1055, 1056-1058, 1059-1061, 1062-1064, 1065-1067, 1068-1070, 1071-1073, 1074-1076, 1077-1079, 1080-1082, 1083-1085, 1086-1088, 1089-1091, 1092-1094, 1095-1097, 1098-1099										

Figura 49. Plan de trabajo semana 51
Fuente: Elaboración propia

4.1.4.4.1. Métricas de Rendimiento

La planificación anticipada se analizará mediante la liberación de restricciones a través del tiempo o conocido como el Porcentaje de Cumplimiento de Restricciones (PCR) y se calcula al final de cada plan semanal (los días jueves).

El plan de trabajo semanal se analiza con el indicador PPC, y se mide en las reuniones de plan de trabajo semanal (los días lunes).

4.1.4.4.1.1. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)

La fig. 50 muestra la evolución del Porcentaje del Plan Cumplido (PPC) a partir de la semana N°43 a la semana N°07:

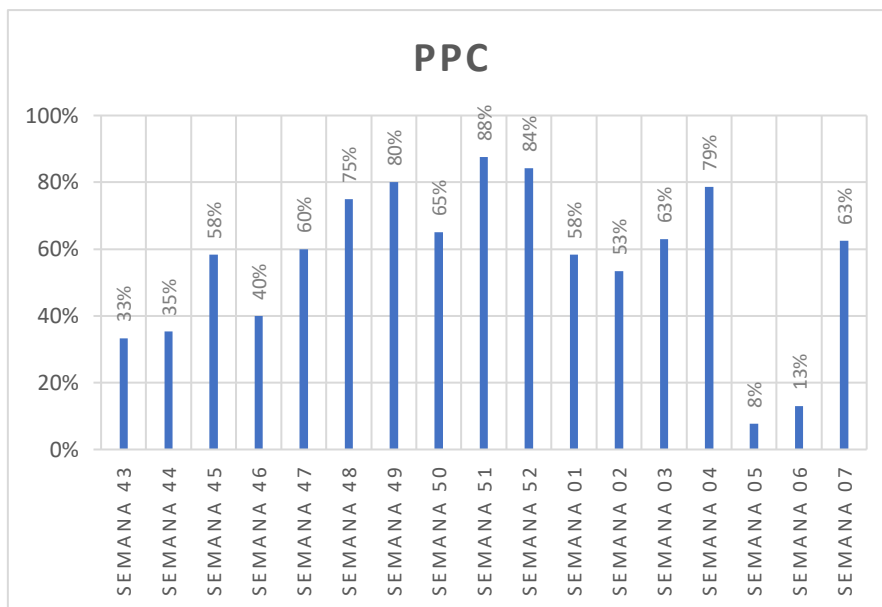


Figura 50 .Evolución semanal del indicador Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran valores bajos en las primeras dos semanas, por debajo del 40%, esto debido al deficiente sistema de planificación llevado hasta el momento, a las tareas no eran anticipadas y/o no tenía cuadrillas balanceadas, lo que ocasionaba que las cuadrillas de excavaciones dejaban frente abiertos, lo cuales generaban re trabajos con la caída de lluvias. En la semana N°45 la productividad se eleva debido a que se realizó un balance de cuadrillas y se aprobó la ejecución del tren de actividades por parte de la empresa. La semana 46 muestra una caída importante debido a retrasos por lluvias y a la nueva programación. Luego se observa que hay un crecimiento constante desde la semana N°47 a la semana N°52, llegando a alcanzar un 88%, la cual es superior al 80% esperado de una buena planificación en el LPS. En las semanas siguientes (semana N°01 y la semana N°02) se observa una decaída de hasta un 53%, esto debido a que el grupo de encofrado no regreso después del feriado por año nuevo. Después se aprecia un incremento en las semanas N°03 y semana N°04, debido a que el personal fue sustituido y se normalizaron los trabajos. La semana N°05 y semana N°06 el llega a tener una caída de hasta un 8%, esto se explica por la época de lluvia de la zona. Para la semana N°07 indicar un PPC regular el cual no cumplió con la meta antes de la paralización de la obra por motivo de lluvias intensas.

4.1.4.4.1.2. PCR

La fig. 51 muestra la evolución de liberación de restricciones partir de la semana N°46 a la semana N°07, esto se debe a que la implementación de la planificación anticipada fue desde la semana N°45.

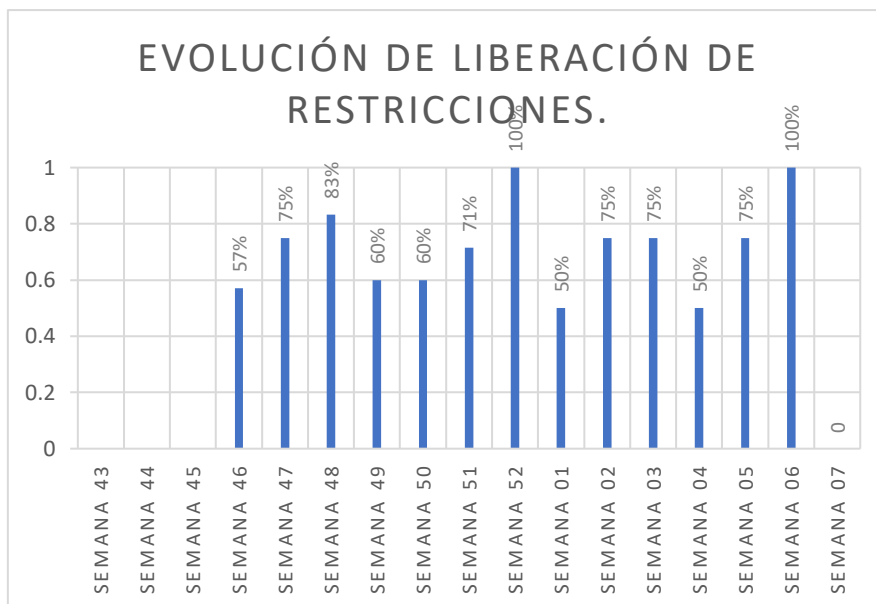


Figura 51 .Evolución de liberación de restricciones (PCR)
Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un crecimiento inicial entre las semanas N°46 a la semana N°48, esto se puede explicar al apoyo que se brindó desde la gerencia al tren de actividades planteado en la semana N°45. En las semanas N°49 y semana N°50, se observa una caída del PCR a un 60%, esto se explica por la segunda sesión pull, la cual genera una variación en la liberación de restricciones. La semana N°51 y semana N°52 llegan a un pico 100% de cumplimiento, lo que demuestra un gran compromiso por parte de la empresa hacia la planificación, puesto que gran cantidad de las restricciones fueron por materiales. La semana N°01, presenta un bajo nivel de liberación de restricciones, esto se explica, a las nuevas restricciones generadas debido a la falta de personal, y debido a los plazos tan cortos se hicieron muy difíciles de liberar. Se nota un crecimiento en las semanas posteriores, pero se mantiene en un promedio de 75 % debido a los cambios que se tuvieron que realizar a los requerimientos, a causa de las constantes lluvias.

4.1.4.4.2. Causas de no Cumplimiento (CNC)

Las CNC se realizaron todas las reuniones del plan de trabajo semanal (días lunes). Para llevar un control de las principales causas se hizo uso de la tabla 10, la misma que muestra los códigos de las CNC a utilizar:

Tabla 13.
Codificación de las causas de no cumplimiento (CNC).

Principales causas de no cumplimiento		
Item	Causas	Código

1	Mala programación	PROG.
2	Materiales	MAT.
3	Mano de obra	MO.
4	Prerrequisitos incompletos	PR.
5	Equipos	EQ.
6	Diseño del proyecto	DIS.
7	Problemas con proveedores	PROV.
8	Fallas de calidad	CAL.
9	Motivos climáticos	CLI.
10	Imprevistos	IMP.
11	Otros	OTROS

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 52, muestra la incidencia porcentual de las Causas de No Cumplimiento (CNC) del proyecto durante la aplicación de la herramienta Last Planner System (para mayor detalle ver anexo 5); además, se observa que la causa principal de no cumplimiento de las tareas programadas fue Motivos climáticos.

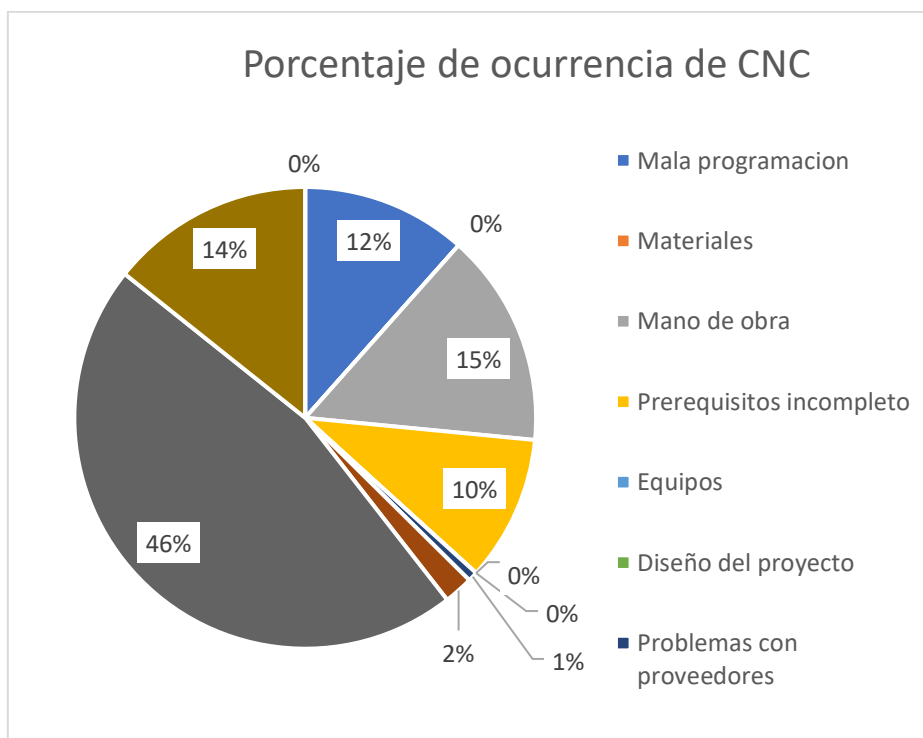


Figura 52. Porcentaje de ocurrencia de CNC
Fuente: Elaboración propia.

Para lograr complementar la información brindada por las CNC, se debe buscar la causa raíz que conlleva a incumplir la ejecución de cierta actividad o entregable. Existen diversas metodologías para hallar la causa raíz de los problemas, una de ellas es la herramienta Los 5 ¿Por qué?.

4.1.5. Los 5 ¿Por qué?

Esta herramienta fue usada como complemento a la herramienta Last Planner System para hallar la causa raíz de los problemas suscitados durante la ejecución de la obra y proponer acciones correctivas que mejoren el sistema de planificación.

Su aplicación se dio en las reuniones de planificación semanal y planificación anticipada, en la cual se realizaba una conversación con los asistentes.

La figura 53 muestra la aplicación de la herramienta retraso en la ejecución del Graderío del piso 1, sector 5, el cual tenía prevista su culminación la semana N°49 sin embargo se culminó la semana N°50. Durante la reunión de planificación de la semana N°50 se empezó la conversación preguntando ¿por qué? cinco veces.



Figura 53. Aplicación de los 5 ¿Por qué?
Fuente: Elaboración propia.

Después de encontradas las causas raíz que originaron el problema, se propusieron posibles soluciones para evitar error en un futuro, y finalmente se documentó dicho análisis. En la figura 54 se muestra el diagrama generado de la conversación de los 5 ¿Por qué?

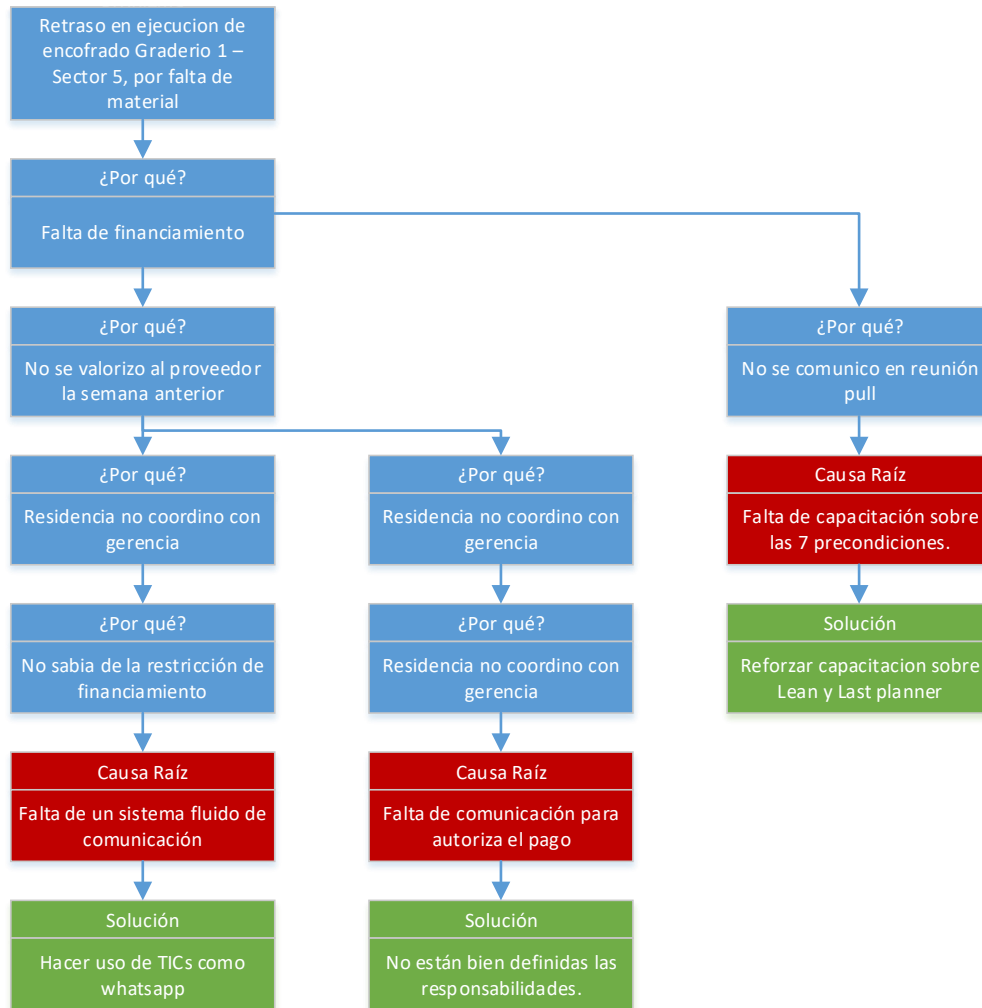


Figura 54. Análisis de los 5 ¿Por qué?
Fuente: Elaboración propia.

La figura 55 muestra la herramienta aplicada al problema: Retraso en llegada de materiales y sus medidas correctivas, la figura 56 muestra el diagrama generado en la aplicación de la herramienta.

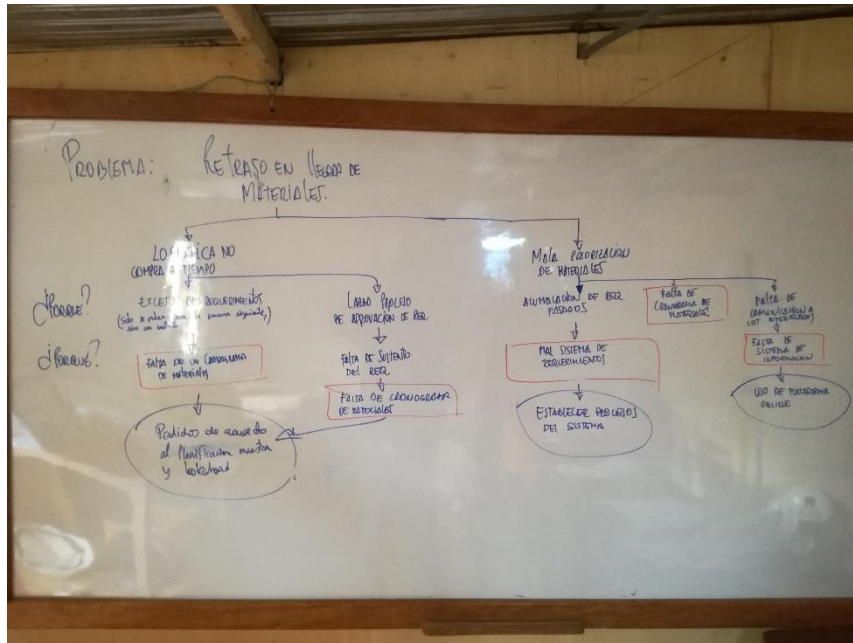


Figura 55. Aplicación de los 5 ¿Por qué?
Fuente: Elaboración propia.

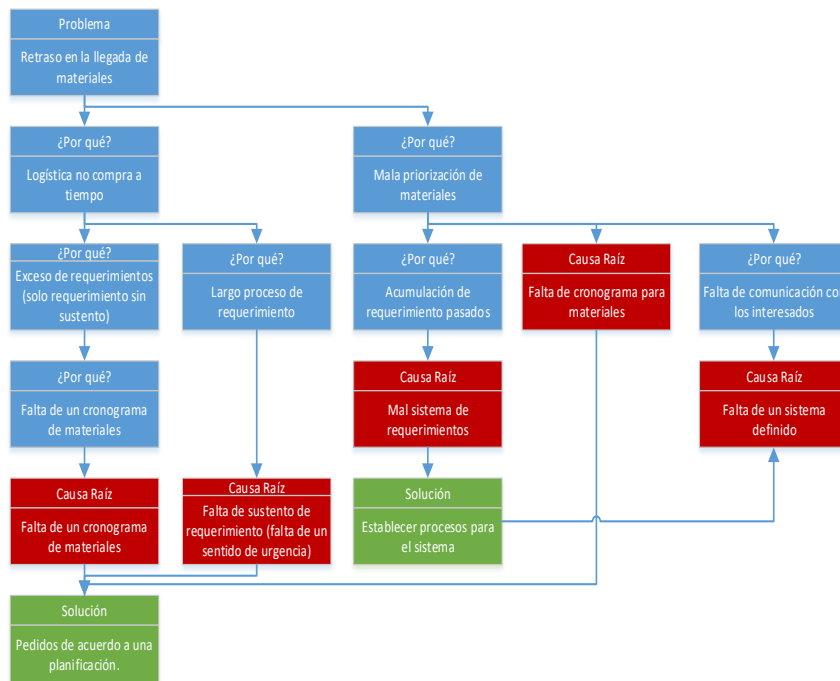


Figura 56. Análisis de los 5 ¿Por qué?
Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Nivel General de Actividad

El nivel general de actividad nos permite tener una estadística del estado general de la obra respecto a la distribución del trabajo realizado en la ejecución de las actividades en la obra, dividiéndolos en Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y Trabajo no Contributorio (TNC).

Se aplicó la herramienta ocho veces, divididas por intervalos de tiempo de 15 días, realizándose 384 mediciones en cada una de ellas tal como se recomienda en el capítulo II. En la tabla 11 se puede apreciar las actividades consideradas para cada tipo de trabajo que se usó para las mediciones correspondientes, se adjuntan los resultados en anexo 6.

Tabla 14.

Descripción de actividades – Nivel general de actividad.

Leyenda	Actividad
TP	
P	Productivo
TC	
T	Transporte
M	Mediciones/Lectura de planos
I	Recibir/Dar instrucciones
L	Limpieza/Ordenar
X	Otros X
TNC	
V	Viajes
N	Tiempo ocioso
E	Esperas
R	Trabajos rehechos
D	Descanso
B	Necesidades biológicas

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se consideró que dentro de la actividad Otros X, se encuentran los trabajos de apoyo a los trabajos productivos como: desencofrado, preparación de herramientas y materiales, y apoyo en general.

Inicialmente se aplicó la herramienta, durante la primera semana de presencia en obra. Obteniéndose los siguientes resultados:

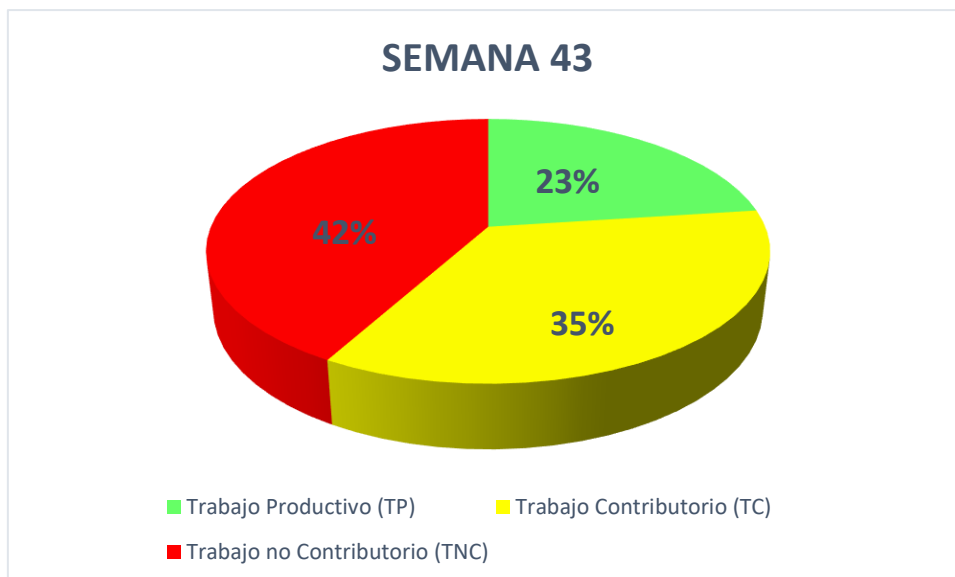


Figura 57. Nivel general de actividad – Semana 43.
Fuente: Elaboración propia.

Comparando los resultados obtenidos con los de Morales y Galeas (2006), podemos notar que nos encontramos 9% por debajo en la distribución de trabajo productivo, y 17% por encima en la distribución de trabajo no contributorio.

Disgregando los resultados obtenidos, se tiene que:

DISTRIBUCION DE TRABAJO CONTRIBUTORIO

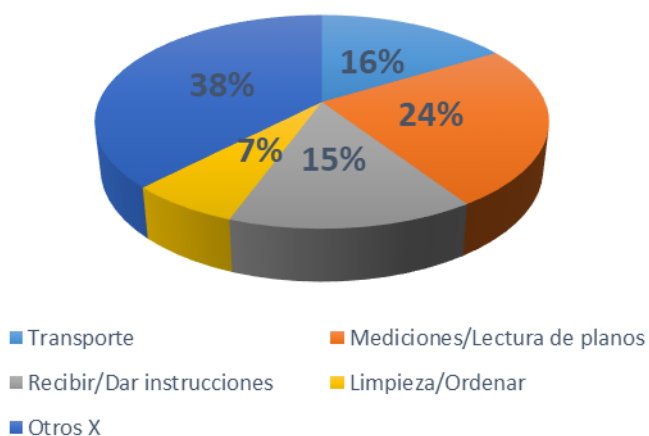


Figura 58. Distribución de trabajo contributorio (TC) – Semana 43.
Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte del tiempo usado en trabajos contributorios corresponde a Otros X con una representación del 38%, en segundo lugar, se encuentra mediciones/lectura de planos con una representación del 24%. Del análisis de estos resultados, se observa

que estas 2 actividades representan el 62% del tiempo total de trabajo contributorio usado.

DISTRIBUCION DE TRABAJO NO CONTRIBUTORIO

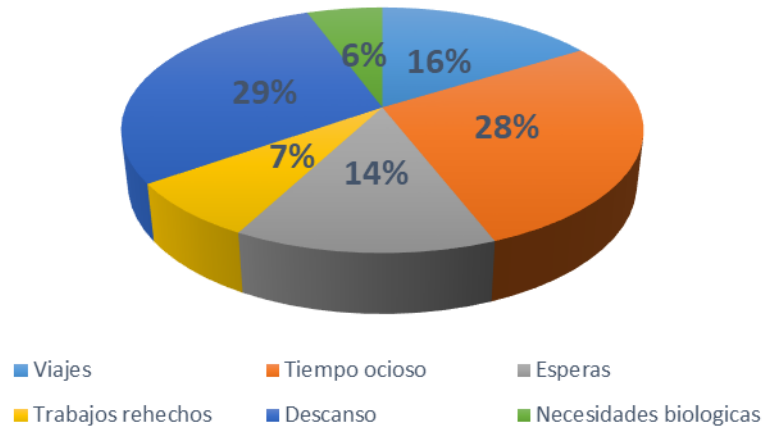


Figura 59. Distribución de trabajo no contributivo (TNC) – Semana 43.
Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte del tiempo usado en trabajos no contributivos corresponde a Descanso con una representación del 29%, seguido de Tiempo ocioso con una representación del 28%. Del análisis de estos resultados, se observa que estas 2 actividades representan el 57% del tiempo total de trabajo no contributivo usado.

Se tiene que tener en cuenta que, los resultados nos sirven para identificar los puntos a mejorar y las actividades que tenemos que atacar para reducir las pérdidas en los trabajos Contributivos, que, aunque son trabajos necesarios para ejecutar la obra no agregan valor al producto final por lo que se debe reducir a lo mínimo posible; y respecto a los trabajos no contributivos, de ser posible eliminarlos.

La figura 60 nos muestra el diagrama de Pareto de los trabajos contributivos y no contributivos del nivel general de actividad de la semana 43, en donde se puede apreciar que las actividades: Otros X, Descanso y Tiempo ocioso, representan el 48% de los trabajos que no agregan valor a la obra.

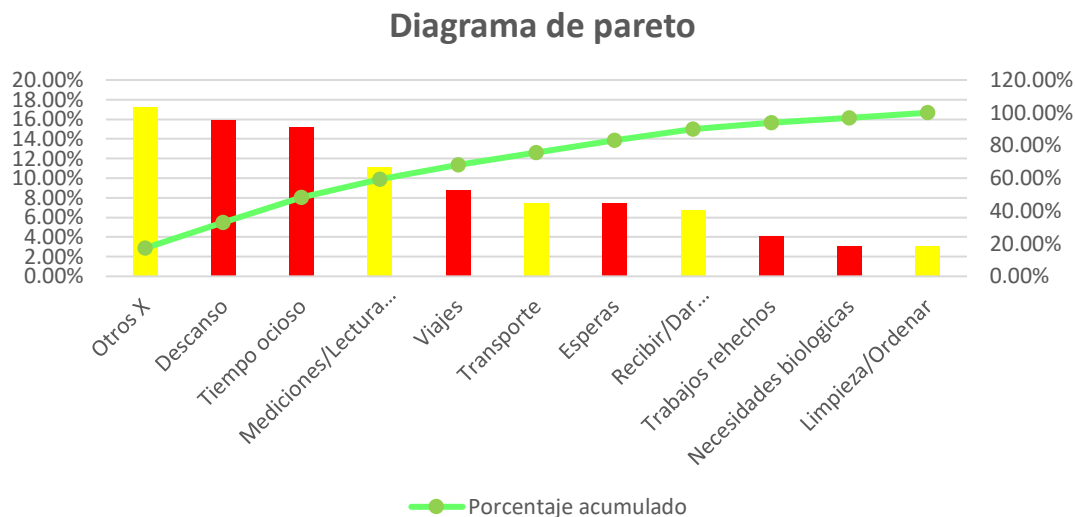


Figura 60. Diagrama de Pareto (TC y TNC) – Semana 43.
 Fuente: Elaboración propia.

Que, la actividad otros X se encuentre como la principal actividad que se realiza entre los trabajos contributivos y no contributivos nos indica, que el personal obrero calificado (operarios) realizan trabajos de personal obrero no calificado (peón), lo cual indica una falta de capacitación en el personal obrero al no tener bien definidas sus funciones.

Que, las actividades Descanso y Tiempo ocioso se encuentren entre las principales en los trabajos no contributivos, nos indica que las cuadrillas de trabajo se encuentran sobre dimensionadas.

Las siguientes mediciones se realizaron con intervalos de 15 días después de cada medición, la figura 61 muestra los resultados de las ocho mediciones realizadas de nivel general de actividad en el proyecto:

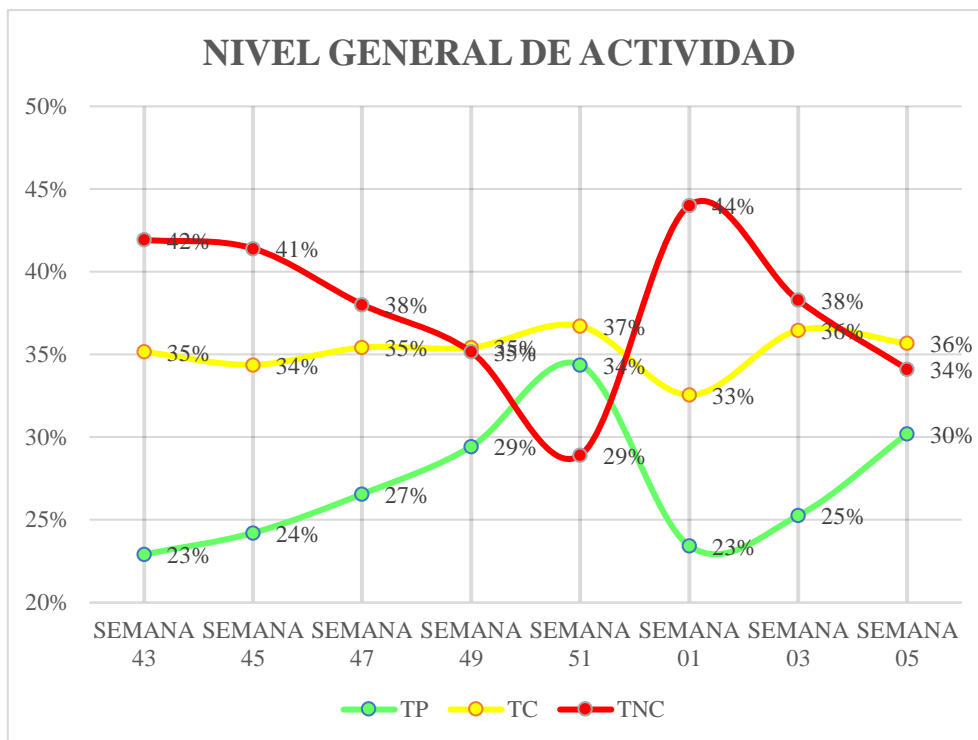


Figura 61. Nivel general de actividad en el proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior, se puede apreciar un incremento a través de las semanas del Trabajo Productivo que inicialmente se encontró a 23%, y luego de la intervención en el proyecto aplicando las herramientas Lean Construction este fue creciendo gradualmente obteniéndose un pico de 35% en la semana 05, sin embargo, se observa también que durante la semana 01 este disminuyó a 23% debido al abandono de obra por parte del personal obrero sin anticipación previa lo que ocasionó un desbalance en las cuadrillas de trabajo que fue regularizado con el pasar de los días al contratar nuevo personal, durante las semanas 03 y 05 se presentaron precipitaciones pluviales en la zona lo que afectó la producción en los trabajos.

4.2. Validación De Hipótesis

4.2.1. Validación Hipótesis General

Se valida la hipótesis general en función a la aceptación de las hipótesis secundarias, las cuales son positivas como se muestra en el ítem 4.2.2.

Por ende, se acepta la hipótesis general: La aplicación de las herramientas Lean Construction mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

4.2.2. Validación Hipótesis Secundarias

4.2.2.1. Hipótesis Secundaria 1

Paso 1: Formulación de hipótesis

Se formulan la hipótesis de investigación: hipótesis alterna (H1), y la hipótesis nula (H0) mostradas a continuación:

- H0= Implementar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System no mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.
- H1= Implementar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

Se considera el promedio de los Porcentajes de Plan Cumplido (PPC) obtenidos en las semanas sin intervención (Ver anexo 5 - semana 43, 44 y 45) como Valor de Prueba: 42%.

Paso 2: Nivel de Significancia

$\alpha = 0.05$, con un 95% de confiabilidad y un error del 5%.

Paso 3: Estadístico de Prueba

T de Student para muestras relacionadas.

Paso 4: Estimación del P-valor

- Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)

De acuerdo al análisis estadístico para una muestra, se observa una media del 59% de Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) en el periodo de intervención, mientras en el promedio del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) en el periodo sin intervención es del 42%, lo que evidencia un incremento de 17% en el cumplimiento de la planificación de la ejecución de los elementos verticales y horizontales de la fase de estructuras ejecutados entre la semana 46 del 2018 y la semana 07 del 2019.

Tabla 15.
Estadísticas para una muestra (PPC)

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
PPC con Intervención	14	,5921	,24411	,06524

Nota: n= muestras. PPC= Porcentaje de Plan Cumplido. Elaboración Propia, SPSS.

De acuerdo a la prueba estadística T para una muestra, se obtuvo un p-valor igual a 0.020 valor menor al nivel de significancia 0.05; por lo tanto, se concluye que existen diferencias significativas entre el PPC de las semanas sin intervención y las semanas con intervención.

Tabla 16.
Prueba T de Student para Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = ,42						
95% de intervalo de confianza de la diferencia						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
PPC con Intervención	2,639	13	,020	,17214	,0312	,3131

Nota: gl= Grados de libertad. PPC= Porcentaje del Plan Cumplido. Sig.=p-valor. Elaboración Propia, SPSS.

Paso 5: Toma de decisión

- Si la probabilidad obtenida p-valor < α , se rechaza H0 y se acepta H1
- Si la probabilidad obtenida p-valor > α , se rechaza H1 y se acepta H0.

Tomando en cuenta los criterios anteriores, tenemos un p valor igual a 0.020 que es menor al nivel de significancia 0.05, rechazamos H0 y aceptamos la hipótesis alterna: Implementar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System mejoran la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

- SIN INTERVENCIÓN

Tabla 17.
PPC en semanas sin intervención

SEMANA	PPC
SEMANA 43	33%
SEMANA 44	35%
SEMANA 45	58%

Nota: PPC=Porcentaje de Plan Cumplido. Elaboración Propia.

- CON INTERVENCIÓN

Tabla 18.

PPC en semanas con intervención

SEMANA	PPC
SEMANA 46	40%
SEMANA 47	60%
SEMANA 48	75%
SEMANA 49	80%
SEMANA 50	65%
SEMANA 51	88%
SEMANA 52	84%
SEMANA 01	58%
SEMANA 02	53%
SEMANA 03	63%
SEMANA 04	79%
SEMANA 05	8%
SEMANA 06	13%
SEMANA 07	63%

Nota: PPC=Porcentaje de Plan Cumplido. Elaboración Propia.

4.2.2.2. Hipótesis Secundaria 2

Paso 1: Formulación de hipótesis

Se formulan la hipótesis de investigación: hipótesis alterna (H1), y la hipótesis nula (H0) mostradas a continuación:

- H0= La herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad no mejora la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.
- H1= Emplear la herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad mejora la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

Paso 2: Nivel de Significancia

$\alpha = 0.05$, con un 95% de confiabilidad y un error del 5%.

Paso 3: Estadístico de Prueba

T de Student para muestras relacionadas.

Paso 4: Estimación del P-valor

- Trabajos Productivos (TP):

De acuerdo al análisis estadístico para las muestras con y sin intervención se observa una media del 24% de trabajo productivo para el grupo sin intervención y una media del 30% para el grupo con intervención; lo que indica el aumento de un 6% de trabajos productivos en la planificación de la ejecución de los elementos verticales y horizontales de la fase de estructuras ejecutados entre la semana 46 del 2018 y la semana 07 del 2019.

Tabla 19.

Estadísticas para Trabajo Productivo (TP)

Estadísticas de muestras emparejadas				
	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
TP sin intervención	.2383	6	.00408	.00167
TP con intervención	.3000	6	.04561	.01862

Nota: n= muestras. TP= Trabajo Productivo. Elaboración Propia, SPSS.

De acuerdo a la prueba estadística T para muestras relacionadas, se obtuvo un p-valor igual a 0.023 valor menor al nivel de significancia 0.05; por lo tanto, se concluye que existen diferencias significativas entre el trabajo productivo de las semanas sin intervención y las semanas con intervención.

Tabla 20.

Prueba T de Student para Trabajo Productivo (TP)

	Prueba de muestras emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Diferencias emparejadas								
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
			Inferior	Superior					
TP sin intervención - TP con intervención	-.06167	.04665	.01905	-.11063	-.01271	3,238	5	.023	

Nota: gl= Grados de libertad. TP= Trabajos Productivos. Sig.=p-valor. Elaboración Propia, SPSS.

- Trabajos Contributorios

Según la siguiente tabla de estadísticas de las muestras con y sin intervención para los Trabajos Contributorios (TC), se tiene que los trabajos contributorios para las semanas sin intervención tiene un 34% y las semanas con intervención obtiene un 37%, lo que indica un aumento del 3% de mejora en los trabajos contributorios luego de aplicar la herramienta del Nivel General de Actividades.

Tabla 21.*Estadísticas para Trabajos Contributorios (TC).*

Estadísticas de muestras emparejadas				
	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
TC sin intervención	.3417	6	.00408	.00167
TC con intervención	.3700	6	.03406	.01390

Nota: n= muestras. TC= Trabajo Contributivo. Elaboración Propia, SPSS.

Luego de procesar los datos de Trabajo Contributivo para las semanas de estudio, se obtuvo un p-valor de 0.077 valor que es mayor al nivel de significancia 0.05, lo que indica que entre los trabajos contributorios de las semanas sin intervención y las semanas con intervención no existen diferencias significativas. (ver tabla 15).

Tabla 22.*Prueba T de Student para Trabajos Contributorios (TC).*

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl (bilateral)	Sig.
				Inferior	Superior			
TC sin intervención - TC con intervención	-.02833	.03125	.01276	-.06113	.00446	-2,221	5	,077

Nota: gl= Grados de libertad. TC= Trabajos Contributivos. Sig.=p-valor. Elaboración Propia, SPSS.

- Trabajos No Contributorios

Al procesar los datos recolectados, se obtiene un 41% de trabajo No Contributivo en las semanas sin intervención y 33% en las semanas con intervención, es decir, que con la aplicación de las herramientas Lean Construction se logró la disminución de un 8% de Trabajos No Contributorios lo que indica que la aplicación de las herramientas Lean Construction ha contribuido a la mejora de la productividad en la planificación de la obra ejecutada.

Tabla 23.*Estadísticas para Trabajos No Contributorios (TNC).*

Estadísticas de muestras emparejadas				
	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
SIN_INTERVENCION_TNC	.4117	6	.00408	.00167
CON_INTERVENCION_TNC	.3283	6	.07468	.03049

Nota: n= muestras. TNC= Trabajos No Contributivos. Elaboración Propia, SPSS.

Al procesar los datos de Trabajos No Contributorios (TNC), se obtiene un p-valor de 0.045, dato menor al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, se concluye que existen

diferencias significativas entre el trabajo no contributivo de las semanas sin intervención y las semanas con intervención.

Tabla 24.
Prueba T de Student para Trabajos No Contributivos (TNC).

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
TNC sin intervención								
- TNC con intervención	.08333	.07659	.03127	.00295	.16371	2,665	5	.045

Nota: gl= Grados de libertad. TNC= Trabajos No Contributivos. Sig.=p-valor. Elaboración Propia, SPSS.

Paso 5: Toma de decisión

- Si la probabilidad obtenida p-valor < α , se rechaza H0 y se acepta H1.
- Si la probabilidad obtenida p-valor > α , se rechaza H1, y se acepta H0.

Tomando en cuenta los criterios anteriores:

Respecto al Trabajo Productivo, tenemos un p valor igual a 0.023 que es menor al nivel de significancia 0.05, rechazamos H0 y aceptamos la hipótesis alterna: Emplear la herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad mejora la planificación en la ejecución de la obra del Creación Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

Tabla 25.
Prueba T de Student para muestras emparejadas

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 TP sin intervención - TP con intervención	-	.04665	.01905	-,11063	-,01271	- 3,238	5	.023
Par 2 TC sin intervención - TC con intervención	-	.03125	.01276	-,06113	.00446	- 2,221	5	.077

Par	TNC sin	,08333	,07659	,03127	,00295	,16371	2,665	5	,045
3	intervención -								
	TNC con								
	intervención								

Nota: TP=Trabajo Productivo. TC= Trabajo Contributorio. TNC= Trabajo No Contributorio. gl= Grados de libertad. Sig.=p-valor. Elaboración Propia, SPSS.

- SIN INTERVENCIÓN

Tabla 26.

Nivel General de actividad sin intervención

SEMANA	TP	TC	TNC
SEMANA 35	24%	34%	41%
SEMANA 37	24%	34%	41%
SEMANA 39	24%	34%	41%
SEMANA 41	24%	34%	41%
SEMANA 43	23%	35%	42%
SEMANA 45	24%	34%	41%

Nota: TP=Trabajo Productivo. TC= Trabajo Contributorio. TNC= Trabajo No Contributorio. Elaboración Propia.



Figura 62. Resultados de TP, TNC, TC para las semanas sin intervención

- CON INTERVENCIÓN

Tabla 27.

Nivel General de Actividad con intervención

SEMANA	TP	TC	TNC
SEMANA 47	27%	35%	38%
SEMANA 49	29%	35%	35%
SEMANA 51	34%	37%	29%
SEMANA 01	23%	33%	44%

SEMANA 03	32%	42%	26%
SEMANA 05	35%	40%	25%

Nota: TP=Trabajo Productivo. TC= Trabajo Contributorio. TNC= Trabajo No Contributorio.
Elaboración Propia.

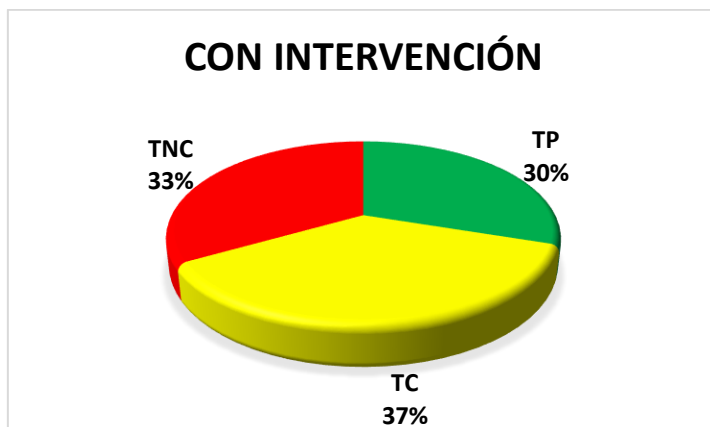


Figura 63. Resultados de TP, TNC, TC para las semanas con intervención.

Tabla 28.

Estadística de las muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	TP sin intervención	,2383	6	,00408	,00167
	TP con intervención	,3000	6	,04561	,01862
Par 2	TC sin intervención	,3417	6	,00408	,00167
	TC con intervención	,3700	6	,03406	,01390
Par 3	TNC sin intervención	,4117	6	,00408	,00167
	TNC con intervención	,3283	6	,07468	,03049

Nota: TP=Trabajo Productivo. TC= Trabajo Contributorio. TNC= Trabajo No Contributorio.
Elaboración Propia, SPSS.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

La aplicación de las Herramientas Lean Construction mejoró la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno.

Implementar las herramientas Lean Construction: Buffer de tiempo, Sectorización, Tren de Actividades, Los 5 ¿Por qué? y Last Planner System mejoró la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno, además, de acuerdo al análisis estadístico para las muestras con y sin intervención:

- ✓ Se logró un aumento del 17% en el Porcentaje del Plan Cumplido (PPC) luego de aplicar las herramientas Lean Construction.

Emplear la herramienta Lean Construction: Nivel General de Actividad mejoró la planificación en la ejecución de la obra Creación del Coliseo Cultural Polideportivo de la Localidad de Putina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno, además, de acuerdo al análisis estadístico para las muestras con y sin intervención:

- ✓ Se logró un aumento del 6% en los Trabajos Productivos (TP) luego de aplicar las herramientas Lean Construction.
- ✓ Se logró un aumento del 3% en los Trabajos Contributorios (TC) luego de aplicar las herramientas Lean Construction.
- ✓ Se logró disminuir un 8% los Trabajos No Contributorios (TNC) luego de aplicar las herramientas Lean Construction.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda aplicar las herramientas Lean Construction como un método en la planificación y producción de diferentes proyectos de construcción, recalcando en aquellos que tengan actividades repetitivas, como trabajos que requieran el mismo tipo de actividades, ya que ello facilitara la incorporación de los conceptos y herramientas de esta metodología y así llegar a establecer un sistema óptimo de disminución de pérdidas en menor tiempo de ejecución.

Respecto al Buffer de tiempo se recomienda:

- Tener en cuenta que todos los trabajos presentan variabilidad y no pueden ser controlados sin un margen de error, por ende, se debe considerar un buffer de tiempo para aliviar posibles retrasos en la ejecución de los trabajos y así cumplir con la planificación de obra, en la presente investigación se planteó 2 métodos para aplicar un buffer de tiempo (ver ítem 4.1.1).
- Se debe tener una bolsa de trabajo disponible en todo momento, para así usar el buffer de tiempo en su totalidad, ya sea por trabajos que no se culminaron en su tiempo de planificado o por trabajos adicionales de la bolsa de trabajo disponible, a fin de no generar trabajos no contributorios por causas de una mala planificación.

Respecto al Tren de Actividades y Buffer de tiempo se recomienda:

- Para asegurar el flujo continuo del tren de actividades se debe contar con un cronograma de adquisición de materiales que prevea la utilización de los mismos en los tiempos planificados, debido a que existen materiales y/o insumos que son escasos y/o su puesta en obra puede tardar incluso meses, también se debe contar con un cronograma de utilización de maquinaria y equipos, debido a que si se tiene más de un frente de trabajo estos pueden ser requeridos en un mismo periodo de tiempo por 2 o más frentes de trabajo perjudicando el flujo continuo del tren de actividades por no prever la disponibilidad de la maquinaria o equipo.

Respecto al Last Planner System se recomienda:

- Contar con el apoyo de los interesados y del equipo de proyecto para facilitar la implementación del Last Planner System, y así garantizar la predisposición de todos los involucrados durante la ejecución del proyecto.
- Se deben de establecer un plan de capacitación en temas relacionados a la filosofía Lean y al Last Planner System.

- Definir los formatos para todos los componentes del Last Planner System, definir horarios para las reuniones de planificación y funciones que las personas deberán cumplir dentro del sistema.
- Crear vínculos en todos los involucrados en la planificación del proyecto, para poder facilitar la colaboración durante las reuniones del Last Planner System, debido a que si no existe una comunicación constante entre los involucrados no se podrá aplicar eficientemente el sistema.
- Utilizar WhatsApp o alguna plataforma de comunicación en tiempo real para facilitar el flujo de información referente a la planificación.
- Emplear nuevos indicadores de control que permitan implementar el Last Planner System de manera más eficiente, en la presente investigación se usó el indicador PPC y PCR como medidas de control.
- Asegurar la liberación de las restricciones una semana antes de la ejecución de los trabajos, ya que programar una actividad que no se realizara por tener restricciones genera Trabajo No Contributorio imputable a una mala planificación.
- Durante la planificación maestra, realizar una presentación del alcance de los hitos de nivel 1 y 2 del plan maestro, para que los participantes de la reunión puedan generar las mayores restricciones.
- Durante la planificación por fases: (1) es importante la preparación del guía de la reunión para poder generar un flujo de comunicación entre todos los participantes; (2) usar ayuda visual, como el modelado en 3D para facilitar el entendimiento de la fase del proyecto; (3) usar formatos sencillos que faciliten el llenado de los Post-it.
- Durante la planificación anticipada: (1) presentar en un tablero el Lookahead, para tener un control visual del Lookahead y ver el estado de las restricciones de las actividades; (2) el uso de un formato exclusivo para los materiales; (3) Si se presentan restricciones que no fueron previstas en las sesiones de la planificación anticipada que no puedan ser liberadas dentro del tiempo límite para el inicio de un trabajo, se recomienda desplazar dicho trabajo para la siguiente semana y suplirlo por uno de la bolsa de trabajo disponible.
- Retroalimentar el sistema aplicando la mejora continua.

REFERENCIAS

Abdelhamid, T. (2007). Lean Construction Principles [Principios Lean Construction]. Presentación de grado en *Michigan University*. Consultado en: www.slideshare.net/tabdelhamid/lean-construction-introduction [9 Mar 2019]

Alarcón, L. F. & Salvatierra, J. L. & Letelier, J. A. (2014). Using last planner indicators to identify early signs of project performance [Uso de los últimos indicadores del planificador para identificar los primeros signos del desempeño del proyecto]. Trabajo presentando en *the 22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Oslo, Noruega.

Alsehaimi, A., (2011) *Improving Construction Planning Practice In Saudi Arabia by means of Lean Construction Principles and Techniques* [Mejora de la práctica de planificación de la construcción en Arabia Saudita mediante los Principios y Técnicas de Lean Construction]. (Tesis de doctorado). University of Salford, UK.

Arshad, H., Qasim, M., Thaheem, M. J., & Gabriel, H. F. (2017). Quantification of Material Wastage in Construction Industry of Pakistan: An Analytical Relationship between Building Types and Waste Generation [Cuantificación de materiales de desperdicio en la industria de la construcción de Pakistán: Una relación analítica entre los tipos de edificios y la generación de residuos]. *Journal of Construction in Developing Countries*, 22(2), 19-34.

Ballard, G. (1993). "Lean Construction and EPC Performance Improvement." Proceedings of the 1 st Annual Meeting of the International Group for Lean Construction, Espoo, Finland.

Ballard, G. (1994), *The Last Planner* [El Ultimo Planificador]. Northern California Construction Institute Monterey, California.

Ballard, G. (1997). Lookahead planning: the missing link in production control [Planificación Lookahead: el enlace que falta en el control de producción]. Trabajo presentado en *5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Griffith University, Gold Coast, Australia.

Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control* [El Last Planner System de control de producción]. (Tesis de doctorado). The University of Birmingham, Birmingham, England.

Botero, L. F. & Álvarez, M. (2004) Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento). *Revista universidad EAFIT*, 40(136), 50- 64.

Castillo, I. R. (2014). *Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Chávez, C. A. (2016). *Aplicación de herramientas Lean en la ejecución de obras civiles para la instalación de estaciones base celular* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Chávez, J. R. & De la Cruz, C. A. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en una obra de edificación (caso: Condominio Casa Club Recrea – El agustino)* (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.

Chun, L. & Sevillano, E. (2015). *Planificación maestra aplicando líneas de balance a la obra “Edificio multifamiliar residencial Pedro Urraca” – Trujillo, en la mejora de la eficiencia* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Dauber, V. F. (2003). *Measuring and minimising waste in construction by applying lean thinking [Medición y minimización de desperdicios en la construcción mediante la aplicación del Lean Thinking]* (Tesis de doctorado). University of Dundee, Dundee, Escocia.

Drevland, F. & Tillmann, P. A. (2018). Value for whom? [¿Valor para quien?]. Trabajo presentado en el *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Chennai, India.

Eadbox (2018) *Diagrama de Pareto: qué es y cómo funciona*. Consultado en: <https://es.eadbox.com/diagrama-de-pareto/> [12 Mar 19]

Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción Diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Guzmán, A. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Hamzeh, F. R. (2009). *Improving construction workflow- The role of production planning and control [Mejora del flujo de trabajo en la construcción: El papel de la planificación y control de la producción]*. (Tesis de doctorado). University of California, Berkeley, USA.

Hamzeh, F. R., Ballard, G., & Tommelein, I. D. (2008). Improving construction workflow-the connective role of lookahead planning [Mejora del flujo de trabajo de la construcción: el papel conectivo de la planificación anticipada]. Trabajo presentado en *16th annual conference of the International Group for Lean Construction*, Manchester, United Kingdom.

Inokuma, A. (20 de setiembre de 2017) *The Present State of Lean Construction in Japan and a Better Way Forward [El estado actual de Lean Construction en Japon y un mejor camino hacia adelante]*. Consultado en: <http://leanconstructionblog.com/The-present-state-of-Lean-Construction-in-Japan.html> [09 Mar 19]

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Compendio Estadístico PUNO 2017*. Recuperado de: <https://www.inei.gob.pe/>

Kalsaas, B.T. , Skaar, J. & Thorstensen, R.T., (2015). Pull vs. Push in Construction Work Informed by Last Planner [Empujar vs Jalar en el trabajo de construcción informado por el Last Planner]. Trabajo presentando en el *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Perth, Australia.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to Construction [Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción]*. Stanford, California, USA.: Stanford University

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to Construction [Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción]*. Stanford, California, USA.: Stanford University

Koskela, L. (1999). Management of Production in Construction: A Theoretical View [La Gestión de la Producción en la Construcción: Una Visión Teórica]. Trabajo presentando en *the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, University of California, Berkeley, California, USA.

Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to Construction [Una exploración hacia una teoría de la producción y su aplicación a la construcción]*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.

Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of lean Construction [Los fundamentos de Lean Construction]. *Design and construction: Building in value*, 291, 211-226.

Lean Construction Institute-Canadá (2019) *What is Lean Construction? [¿Qué es Lean Construction?]*. Consultado en: <http://www.lcicanada.ca/about-us/what-is-lean-construction/> [08 Mar 19]

Liker, J. E. (2003). *The Toyota Way [El camino Toyota]*. New York, USA: McGraw-Hill.

Márquez, J. (2014). *Identificar y disminuir desperdicios de materiales y mano de obra, en la ejecución de obra, aplicando las técnicas del sistema “Justo a Tiempo”* (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Colima, Villa de Álvarez, Colima, México.

Miranda, D. (2012). *Implementación del Sistema Last Planner® en una habilitación urbana* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Morales, N. & Galeas, J. (2006) *Diagnóstico y evaluación de la relación entre el grado de industrialización y los sistemas de gestión con el nivel de productividad en obras de construcción* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Morales, P. (2013). *Investigación experimental, diseños y contraste de medias*. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.

Mossman, A. (2018). What is lean construction: another look [¿Qué es el Lean Construction?: otra mirada]. Trabajo presentado en el *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Chennai, India.

O'Neill, D. (27 de abril de 2016) *Understanding Lean and Lean Construction in Ireland [Entendiendo Lean y Lean Construction en Irlanda]*. Consultado en <https://www.irishbuildingmagazine.ie/2016/04/27/understandinglean-and-lean-construction-in-ireland/> [9 Mar 19]

Orihuela, P. (Abril del 2011). Lean Construction en el Perú. *Construcción Integral*, 1(12), 7-9.

Pekuri, A., Herrala, M., Aapaoja, A. & Haapasalo, H. (2012). Applying Lean in Construction – Cornerstones for Implementation [Aplicación de Lean en la construcción – Pilares angulares para la implementación]. Trabajo presentado en el *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, California, USA.

Quiñones, A. (2017). Inventario de herramientas LEAN, flujos y procesos eficientes. Trabajo presentando en la conferencia *Gestión, innovación y tecnología en la industria de la construcción*, Lima, Perú.

Rodríguez, W. y Valdez, D. (2008). *Gerencia de Proyectos con MS PROJECT 2007 Planificación, Organización y Programación de proyectos*. Lima, Perú: ISAGRAF.

Rodríguez, W. y Valdez, D. (2012). *Mejoramiento de la productividad en la construcción de obras con Lean Construction, Trenchless, CYCLONE, EZStrobe y BIM*. Lima, Perú: Culturaabierta.

Sacks, R., Dave, B., Koskela, L., & Owen, R. (2009). Analysis framework for the interaction between lean construction and building information modelling [Marco de análisis para la interacción entre Lean Construction y el modelado de información de edificios]. Trabajo presentado en *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Taipei, Taiwan.

Salem, O. & Zimmer, E. (2005). Application of lean manufacturing principles to Construction [Aplicación de los principios Lean Manufacturing a la Construcción]. *Lean Construction Journal*, 2(2), 51-54.

Salvatierra-Garrido, J., Pasquire, C. & Miron, L. (2012). Exploring Value Concept Through the IGLC Community: Nineteen Years of Experience [Explorando el concepto de valor a través de la comunidad IGLC: diecinueve años de experiencia]. Presentado en el *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, California, USA.

Sanchis, I. (2013). *Last Planner System: un caso de estudio* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Schonberger, R. J. (1996). *World Class Manufacturing: The Next Decade* [Fabricación de clase mundial: la próxima década]. New York, USA: Free Press.

Schwab, K. (2018). *The Global Competitiveness Report 2018 [Reporte de Competitividad Global 2018]*. World Economic Forum.

Skhmot, N. (5 de agosto del 2017) The 8 Wastes of Lean [los 8 desperdicios Lean]. Recuperado de <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean> [20-03-19]

Soberanis, R. W. F. (2014) *Implementación del Sistema Last Planner en la construcción de una subestación eléctrica de 138/22.9/10 kv.* (Tesis de pregrado). Universidad nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Thomson, D. S, Austin, S. A., Devine-Wright, H., Mills, G. R. (2003). Managing Value and Quality in Design[Gestionando valor y calidad en diseño]. *Building Research & Information Journal*, 31(5), 334- 345.

Tommelein, I.D. and Ballard, G. (1997). "Look-ahead Planning: Screening and Pulling." Technical Report No. 97-9, Construction Engineering and Management Program, Civil and Environmental Engineering Department, University of California, Berkeley, CA, USA.

Womack, J. P., and Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation [Lean Thinking: Desterrar los Desperdicios y Crear Riqueza en su Corporación]*. New York, USA: Simon & Schuster.

Zelada, A. & Tuesta, M. (2016). *Implementación del sistema Last Planner para la mejora de la productividad en la construcción de instituciones educativas públicas de nivel primario en zona de selva* (Tesis de maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1

FORMATOS

ANEXO 2

BUFFER DE TIEMPO

ANEXO 3

SECTORIZACION

ANEXO 4

TREN DE ACTIVIDADES

ANEXO 5

LAST PLANNER SYSTEM

SEMANA 43, 44 y 45

(Base)

SEMANA 46

SEMANA 47

SEMANA 48

SEMANA 49

SEMANA 50

SEMANA 51

SEMANA 52

SEMANA 01

SEMANA 02

SEMANA 03

SEMANA 04

SEMANA 05

SEMANA 06

SEMANA 07

ANEXO 6

NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD

ANEXO 7

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA CONTRACTUAL

(HASTA HITOS DE SEGUNDO NIVEL)

ANEXO 8

CERTIFICADO DE ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN