

# UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

#### **DEPARTAMENTO DE POSGRADO**

# MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTION DE LA CONSTRUCCIÓN

# TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

#### **TEMA**

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA

**AUTOR** 

ING. JORGE JOSÉ ARROYO OROZCO, Mg.

TUTOR

ING. MIGUEL TORRES RODRÍGUEZ, PhD.

**GUAYAQUIL-ECUADOR** 

2024







# REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA FICHA DE REGISTRO DE TESIS

# TITULO Y SUBTITULO:

Evaluación de la aplicación de la metodología Lean Construction en la Planificación de un proyecto de infraestructura

AUTOR:	REVISORES O TUTORES:
Arroyo Orozco Jorge José	PhD. Miguel Torres Rodríguez
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	GRADO OBTENIDO: Magister en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción
FACULTAD:	CARRERA:
Ingeniería, Industria y Construcción	Ingeniería Civil
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024	<b>N. DE PAGS:</b> 120

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Lean Construction, planificación, infraestructura, tiempo,

costos

#### **RESUMEN:**

La investigación se centró en evaluar la aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de un proyecto de infraestructura, comparándola con el método tradicional de ruta crítica. El objetivo principal fue analizar los costos y tiempos en la planificación de un proyecto de infraestructura sanitaria, buscando mejoras en eficiencia y resultados. Los resultados de la aplicación de la metodología Lean Construction en un proyecto de alcantarillado sanitario demostraron un ahorro significativo de \$167,463.82, lo que representa una reducción del 3.28% en el presupuesto de la oferta planificada en base del método de ruta crítica. También se logró incrementar los costos indirectos del 19% al 24% puesto que la utilidad aumentó en un 5%, lo que resultó en un costo final mejorado del 8.28%. Este ahorro es notable en proyectos de esta naturaleza. En términos de tiempo, la metodología ayudó a mantener un control preciso sobre el avance del proyecto, evidenciado por la curva de avance ejecutado acumulado, que se mantuvo por encima de la curva programada, demostrando que no se presentaron atrasos en el proyecto hasta el cierre de esta investigación. Además, se prevé una reducción de un mes en el tiempo total del proyecto, equivalente al 4.16% del plazo inicialmente ofertado. Estos resultados demuestran la eficacia de Lean Construction en la optimización de costos y tiempos en un proyecto de infraestructura sanitaria. La metodología no solo permitió reducciones significativas en el presupuesto, sino que también garantizó un control efectivo del progreso del proyecto, lo que resultó en el cumplimiento de los montos planificados, en plazos más cortos y una mayor eficiencia en la ejecución.







N. DE REGISTRO:	N. DE CLASIFICA	ACIÓN:
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI	NO
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono:	Email:
Arroyo Orozco Jorge José	0998059505	jarroyoo@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	-	@ulvr.edu.ec oso Riera, M.Sc. laestría 500 Ext: 170 or@ulvr.edu.ec es Rodriguez 500 Ext: 170

# **DEDICATORIA**

A mi padre, un maestro en el sentido completo de la palabra.

A mi madre, quien siempre ha sido mi apoyo en todo momento.

A mi hermana, ejemplo de estudio y dedicación.

A mis hijos, con el más profundo deseo que siempre vean al conocimiento como una fuente inagotable de crecimiento y oportunidades en la vida.

# **AGRADECIMIENTO**

A Dios, en quien encuentro fortaleza y guía espiritual.

A todos los docentes de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción, cuyo compromiso con la enseñanza es invaluable.

# IMPRESIÓN DE INFORME ANTIPLAGIO



Turnitin Página 2 of 178 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::1:2852574231

# 4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

#### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Trabajos entregados

#### **Exclusiones**

N.º de fuentes excluidas

#### **Fuentes principales**

Publicaciones

Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

# Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Turnitin Página 2 of 178 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::1:2852574231

turnitin Página 3 of 178 - Descripción general de integridad

#### **Fuentes principales**

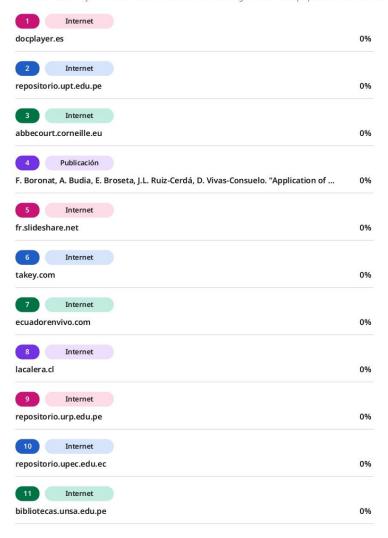
## Fuentes de Internet

1% Publicaciones

Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

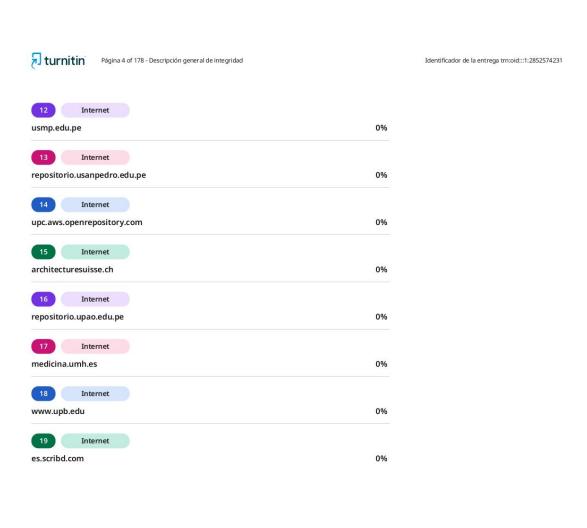
#### **Fuentes principales**

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.



Turnitin Página 3 of 178 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::1:2852574231



turnitin	Página 4 of 178 - Descripción general de integridad
----------	---

Identificador de la entrega trn:oid:::1:2852574231

Firma del Tutor:

PhD. Miguel Alberto Torres Rodríguez

CERTIFICADO DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Guayaquil, 30 de octubre de 2024

Yo, JORGE JOSÉ ARROYO OROZCO, declaro bajo juramento, que la autoría

del presente trabajo me corresponde totalmente y me responsabilizo con los criterios

y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la

investigación realizada.

De la misma forma, cedo mis derechos de autor a la UNIVERSIDAD LAICA

VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, según lo establecido por las normativas

Institucionales vigentes.

Firma:\_\_\_\_\_

Jorge José Arroyo Orozco

ix

# **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DE LA TESIS**

Guayaquil, 30 de octubre de 2024

Certifico que el trabajo titulado "EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA", ha sido elaborado por JORGE JOSÉ ARROYO OROZCO bajo mi tutoría, y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el tribunal examinador que se designe al efecto.

Firma:	_
PhD. Miguel Alberto Torres Rodrígue	z

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La investigación se centró en evaluar la aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de un proyecto de infraestructura, comparándola con el método tradicional de ruta crítica. El objetivo principal fue analizar los costos y tiempos en la planificación de un proyecto de infraestructura sanitaria, buscando mejoras en eficiencia y resultados. Los resultados de la aplicación de la metodología Lean Construction en un proyecto de alcantarillado sanitario demostraron un ahorro significativo de \$167,463.82, lo que representa una reducción del 3.28% en el presupuesto de la oferta planificada en base del método de ruta crítica. También se logró incrementar los costos indirectos del 19% al 24% puesto que la utilidad aumentó en un 5%, lo que resultó en un costo final mejorado del 8.28%. Este ahorro es notable en proyectos de esta naturaleza. En términos de tiempo, la metodología ayudó a mantener un control preciso sobre el avance del proyecto, evidenciado por la curva de avance ejecutado acumulado, que se mantuvo por encima de la curva programada, demostrando que no se presentaron atrasos en el proyecto hasta el cierre de esta investigación. Además, se prevé una reducción de un mes en el tiempo total del proyecto, equivalente al 4.16% del plazo inicialmente ofertado. Estos resultados demuestran la eficacia de Lean Construction en la optimización de costos y tiempos en un proyecto de infraestructura sanitaria. La metodología no solo permitió reducciones significativas en el presupuesto, sino que también garantizó un control efectivo del progreso del proyecto, lo que resultó en el cumplimiento de los montos planificados, en plazos más cortos y una mayor eficiencia en la ejecución.

Palabras clave: Lean Construction, planificación, infraestructura, tiempo, costos

#### **ABSTRACT**

The research focused on evaluating the application of the Lean Construction methodology in the planning of an infrastructure project, comparing it with the traditional critical path method. The main objective was to analyze the costs and times in the planning of a health infrastructure project, seeking improvements in efficiency and results. The results of the application of the Lean Construction methodology in a sanitary sewer project demonstrated a significant savings of \$167,463.82, which represents a reduction of 3.28% in the planned bid budget based on the critical path method. It was also possible to increase indirect costs from 19% to 24% since the profit increased by 5%, which resulted in an improved final cost of 8.28%. This savings is notable in projects of this nature. In terms of time, the methodology helped maintain precise control over the progress of the project, evidenced by the accumulated executed progress curve, which remained above the programmed curve, demonstrating that there were no delays in the project until closure. of this research. In addition, a reduction of one month is expected in the total time of the project, equivalent to 4.16% of the period initially offered. These results demonstrate the effectiveness of Lean Construction in optimizing costs and times in a healthcare infrastructure project. The methodology not only allowed significant reductions in the budget, but also guaranteed effective control of project progress, resulting in compliance with planned amounts, in shorter deadlines and greater efficiency in execution.

**Keywords:** Lean Construction, planning, infrastructure, time, costs

# **ÍNDICE GENERAL**

II.	NTRODUCCIÓN	1
С	APÍTULO 1: MARCO GENERAL DE INVESTIGACIÓN	3
1.1.		
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Formulación del Problema	5
1.4.	Sistematización del Problema	5
1.5.	Delimitación del Problema de investigación	5
1.6.	Línea de Investigación Institucional / Facultad	5
1.7.	Objetivo General	5
1.8.	Objetivos específicos	6
1.9.	Justificación de la investigación	6
1.10	). Hipótesis de la investigación	7
1.11	. Variables	7
С	APÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1.	Marco Teórico	8
2.1.	1. Antecedentes	8
2.1.		
2.1.	3. Clasificación de los desperdicios en Lean Construction	14
2.1.	4. Teoría de las restricciones	15
2.2.	Marco Conceptual	16
2.2. plar	1. Tipos de planes (plan maestro, planificación estratégica, planificación táctic nificación operativa)	
2.2.	2. Look Ahead Planning	17
2.2.	3. Sectorización	18
2.2.	4. Tren de actividades	19
2.2.	5. Cuellos de botella	19
2.2.	6. Análisis de restricciones	21
2.2.	7. Gestión de producción	21
2.3.	Marco Legal	22
	APÍTULO 3: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
3.1.	Enfoque de la investigación	
3.2.	Tipo de investigación	
3.3.	Método de investigación	
3.4.	Técnicas utilizadas	
3.5.	Instrumento	
3.6.	Población	
3.7.	Muestra	
3.8.	Descripción de los pasos a desarrollar	28

3.9.	Proyecto de Estudio	. 29
3.9.1	. Antecedente del Proyecto	. 29
3.9.2	. Alcance del proyecto de construcción	. 29
3.10. (CPM)	Planificación del Proyecto metodología Tradicional – Método de la Ruta Crítica 30	3
3.11.	Planificación del Proyecto mediante la metodología Lean Construction	. 30
3.11	1. Planificación Maestra	. 31
3.11	2. Estructura de Desglose de Trabajo del Plan Maestro	. 32
3.11	3. Identificación de los colectores	. 33
3.11	4. Sectorización del Proyecto	. 35
3.11	5. Frentes de trabajo	. 35
3.11	6. Look Ahead Planning	. 41
3.11	7. Análisis de Restricciones	. 41
3.11	8. Tren de actividades	. 49
3.11	9. Programación Semanal de hormigonado para cámaras	. 52
3.11	10. Avance mensual en tramos intervenidos	. 56
3.11	11. Avance semanal de colectores	. 65
3.11	12. Avance semanal acumulado de colectores	. 68
3.11 actua	13. Análisis comparativo entre el valor planificado, planificación tradicional alizada costos 2023 (CPM) y Lean Construction	. 68
3.11 Cons	14. Resultados de disminución de costos mediante la aplicación de Lean truction 70	
3.11 Cons	15. Resultados de disminución de tiempo mediante la aplicación de Lean truction 71	
3.11	16. Indicadores de desempeño	. 72
3.11	2 In this desired acceptation of the first and the first and the first acceptation of the first and the first and the first and the first acceptance of the first acceptance o	
	STRUCTION	
3.11	, 3	
3.12.	Análisis e interpretación de resultados	
	APÍTULO 4: PROPUESTA DE SOLUCIÓN	.79
	Propuesta para la implementación de la metodología Lean Construction en la ación de Proyectos de Infraestructura	. 79
4.1.1	. Título de la propuesta	. 79
4.1.2		
4.1.3	·	
4.1.4		
4.1.5		
4.1.6		
4.2.	Beneficios que aporta la propuesta	
4.2.1		
Cons	truction en la Planificación de Provectos de Infraestructura	

4.2.2.	Beneficios que aporta a los profesionales del sector de la construcción	91
CON	CLUSIONES	92
REC	OMENDACIONES	95
BIBLI	IOGRAFÍA	96

# **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Componentes Principales del proyecto de construcción	30
Tabla 2 Planificación Maestra	31
Tabla 3 Colectores Zona 1	33
Tabla 4 Colectores Zona 3	33
Tabla 5 Colectores Zona 5	34
Tabla 6 Colectores Etapa 2	34
Tabla 7 Principales Restricciones del Proyecto para las actividades de Colec	tores
Principales y secundarios	42
Tabla 8 Tren de trabajo con optimización de recursos (16 octubre al 31 de die	ciembre
de 2023)	49
Tabla 9 Planificación semanal de hormigonado de cámaras (15 al 20 de novi	embre)
	52
Tabla 10 Control de calidad de hormigones	53
Tabla 11 Estadístico descriptivo de los Ensayos de Hormigón (octubre 2022	a enero
2024)	54
Tabla 12 Ejemplo de la Programación Semanal de la Gestión Social (Semana	a <b>26</b> ).56
Tabla 13 Tramos intervenidos en el mes # 1 (octubre 2022)	56
Tabla 14 Tramos intervenidos en el mes # 2 (noviembre 2022)	58
Tabla 15 Tramos intervenidos en el mes # 3 (diciembre 2022)	60
Tabla 16 Tramos intervenidos en el mes # 4 (enero 2023)	63
Tabla 17 Avance de colectores con corte a la semana 7 (fecha de corte 16-1	1-2022)
	65
Tabla 18 Avance de colectores con corte a la semana 8 (fecha de corte 23-1	1-2022)
	66

Tabla 19 Avance de colectores con corte a la semana 9 (fecha de corte 26-11-20	)22)
	67
Tabla 20 Avance semanal acumulado colectores (Semana 66 a 70)	68
Tabla 21 Comparativo de resultados entre Planificación CPM 2021, CPM	
actualizado costos mano de obra 2023 y aplicación de metodología Lean	
Construction 2023	69
Tabla 22 Comparativo del avance programado, avance ejecutado y costo real	70
Tabla 23 Variación del cronograma y costo e Indicadores de desempeño del	
cronograma y costo acumulados	72
Tabla 24 Medidas aplicadas para eliminación de desperdicios	73
Tabla 25 Flujos del proyecto	81
Tabla 26 Condiciones para realizar un plan semanal	82
Tabla 27 Pasos a seguir para el Porcentaje del Plan Cumplido	82
Tabla 28 Pasos en el desarrollo de Planes Diarios	83
Tabla 29 Estrategias y actividades para la reducción del tiempo de ejecución	87

# **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Área del proyecto Alcantarillado Sanitario del Sistema 3 de Flor de l	Bastión
	29
Figura 2 Pasos a seguir en la planificación Lean Construction	31
Figura 3 EDT - Plan Maestro	32
Figura 4 Estructura de Desglose de Trabajo (Zona 1)	32
Figura 5 Sectorización de colectores principales	35
Figura 6 Plano 1 de colectores Etapa 1 – Zona 1	36
Figura 7 Plano 2 de colectores Etapa 1 – Zona 1	37
Figura 8 Plano 1 de colectores Etapa 1 – Zona 3	38
Figura 9 Plano 1 de colectores Etapa 1 – Zona 5	39
Figura 10 Plano 2 de colectores Etapa 1 – Zona 5	40
Figura 11 Look Ahead Planning en base a la sectorización del proyecto	41
Figura 12 Entregables del Proyecto	47
Figura 13 Tipo de Restricción	47
Figura 14 Descripción de la restricción	48
Figura 15 Responsable de liberar las restricciones	49
Figura 16 Resultado del ensayo a la compresión a los 7 días	54
Figura 17 Resultado del ensayo a la compresión a los 14 días	55
Figura 18 Resultado del ensayo a la compresión a los 28 días	55
Figura 19 Plano de Avance de la Zona 1 (octubre 2022)	57
Figura 20 Plano de Avance de la Zona 5 (octubre 2022)	57
Figura 21 Plano de Avance de la Zona 1 (noviembre 2022)	59
Figura 22 Plano de Avance de la Zona 3 (noviembre 2022)	59
Figura 23 Plano de Avance de la Zona 5 (noviembre 2022)	60

Figura 24 Plano de Avance de la Zona 1 (diciembre 2022)	61
Figura 25 Plano de Avance de la Zona 3 (diciembre 2022)	62
Figura 26 Plano de Avance de la Zona 5 (diciembre 2022)	62
Figura 27 Plano de Avance de las Zonas 1, 3 y 5 (enero 2023)	64
Figura 28 Curva de avance programado, avance ejecutado y costo actual .	71
Figura 29 Indicadores de desempeño (SPI y CPI)	72
Figura 30 Variación del Cronograma (SV) y del Costo (CV)	73
Figura 31 Modelo de un Plan Maestro	81
Figura 32 Sectorización del proyecto y control de avance	83
Figura 33 Implantación del proyecto en Google Earth	84

# INTRODUCCIÓN

La planificación eficiente de proyectos de infraestructura es fundamental para su éxito, pero enfrenta desafíos únicos en la industria de la construcción. Este estudio se enfoca en evaluar cómo la metodología Lean Construction puede impactar positivamente en la planificación.

El sector de la construcción se caracteriza por una serie de desafíos, que incluyen una curva de aprendizaje limitada, condiciones climáticas variables, ejecución bajo presión de cronogramas, fragmentación del proyecto, capacitación insuficiente y deficiente planificación. Estos factores conllevan a retrasos, costos adicionales y problemas legales, afectando la reputación de las empresas constructoras.

La planificación de proyectos de infraestructura debe abordar estos desafíos desde el principio para evitar problemas durante la ejecución. Es esencial anticipar y mitigar riesgos, así como identificar oportunidades de mejora. Sin embargo, la naturaleza variable e incierta de los procesos de construcción dificulta esta tarea.

La variabilidad en la construcción afecta el flujo de trabajo y presenta un desafío para los equipos técnicos. La falta de control sobre los índices de producción y la capacitación insuficiente en planificación son problemas comunes en proyectos de infraestructura.

La metodología Lean Construction ofrece un enfoque innovador para abordar estos desafíos, centrándose en la maximización del valor y la minimización del desperdicio a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Al aplicar la metodología Lean Construction en la planificación de proyectos de infraestructura, se espera mejorar la eficiencia, reducir los costos y los tiempos de ejecución, y minimizar los problemas asociados con la variabilidad en la construcción.

Los objetivos son evaluar los costos y tiempos en la planificación de un proyecto de infraestructura mediante la aplicación de la metodología Lean Construction en comparación con los métodos tradicionales. Los resultados

preliminares muestran ahorros significativos en costos y mejoras en los tiempos de ejecución.

Se han identificado herramientas específicas para abordar diferentes aspectos de la planificación del proyecto de alcantarillado. Estos incluyen la implementación de una planificación a mediano plazo o Look Ahead Planning, análisis de restricciones, tren de actividades y definir criterios en la gestión de producción, todos ellos centrados en mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio en el proyecto.

El estudio también aborda la falta de comprensión e implementación de Lean Construction en la industria de la construcción en Ecuador y es que, a pesar de los beneficios potenciales, muchos actores en la industria de la construcción aún prefieren métodos tradicionales de planificación, como el método de la ruta crítica. Esto resalta la necesidad de una mayor conciencia y educación sobre la metodología Lean Construction y su aplicación en proyectos de infraestructura.

# **CAPÍTULO 1: MARCO GENERAL DE INVESTIGACIÓN**

#### 1.1. Título

Evaluación de la aplicación de la metodología Lean Construction en la Planificación de un proyecto de infraestructura

# 1.2. Planteamiento del problema

El sector de la construcción como industria posee un comportamiento con características únicas que explican, aunque no justifican el grado de desarrollo en que se encuentra, como son la curva de aprendizaje muchas veces limitada, incidencia de las condiciones de clima, ejecución de trabajos bajo presión de cumplimiento de cronogramas, fragmentación del proyecto, pobre capacitación, deficiente planificación o ausencia de la misma y la falta de investigación y desarrollo (Botero y Álvarez, 2004), lo que trae como consecuencia atrasos, sobrecostos, multas y una caída en la imagen corporativa de las empresas constructoras.

Rodríguez (2007), señala que los grandes proyectos de infraestructura deben contemplar desde la planificación todos los posibles riesgos o problemas inherentes al mismo, para que, al ser analizados con anticipación, se puedan considerar acciones preventivas u oportunidades de mejora y así evitar que se presenten problemas durante la ejecución que genere sobrecostos, atrasos, multas entre otros problemas legales.

Para Hamzeh et al. (2009), los procesos en el sector de la arquitectura, ingeniería y construcción son intrínsecamente variables e inciertos, puesto que la variabilidad socava los rendimientos del proyecto e interrumpe el flujo de las actividades.

Es así que, Hopp y Spearman (2008), determinan que en la construcción existen varios tipos de variabilidad que afectan el flujo de los trabajos e imponen un reto al equipo técnico en el momento de gestionarlo.

En la investigación de Burneo (2013), en Perú establece que uno de los

problemas que tuvo el contratista durante la ejecución de un proyecto de infraestructura en el tramo Sullana – Macará fue el incumplimiento de los niveles de servicio asociado a la baja de productividad en sus procesos.

Para Gómez y Orobio (2015), indica que en los proyectos de construcción de infraestructura en Colombia son cotidianas las demoras y sobrecostos, por la imprecisión en la estimación de costos y tiempo durante la planificación.

Para Núñez y Díaz (2021), los problemas más comunes en la planificación en proyectos de infraestructura en el Perú, se deben a la falta de control de los índices de producción o rendimientos de las actividades que componen el proyecto, además de la poca capacitación en el área de planificación.

Lyon (2018), concluye que en Chile aun la metodología Lean presenta una baja comprensión e implementación en los proyectos por considerarse que esto aumentaría sus costos o personal, sin conocer los beneficios de su implementación. Por otra parte, desde los contratantes tampoco existe exigencia para aplicar la metodología en los proyectos públicos, lo que garantizaría el desarrollo de proyectos con una mejor partida presupuestaria.

En el Ecuador, en muchas constructoras aún se utilizan métodos tradicionales de planificación para los proyectos como el método de la ruta crítica (CPM), que son la base de los métodos innovadores en la planificación como el Lean Construction, Building Information Modeling entre otras propias de la industria de la Construcción 4.0 que se utilizan en otros países como Estados Unidos (Polanco, 2020), pero que aún en nuestro país son desconocidos o no se aplican.

Para Gondim et al. (2024), de manera general el escenario de la industria de la construcción civil se caracteriza por una gran cantidad de desperdicios, desechos y actividades sin valor añadido. Los desperdicios de improvisación son un tipo importante de desperdicio, ya que causan una disminución en la productividad, la seguridad y la motivación de los trabajadores, la calidad y la repetición de trabajos y sugiere la aplicación de la metodología Lean para minimizar los desperdicios.

# 1.3. Formulación del Problema

¿De qué manera la metodología "Lean Construction" impacta en la planificación de un proyecto de infraestructura?

#### 1.4. Sistematización del Problema

¿Cómo una herramienta de planificación ayuda a seccionar el proyecto en partes eficientes y eficaces?

¿De qué manera se puede establecer los puntos críticos o cuellos de botella en la planificación del proyecto?

¿Cómo se pueden optimizar los recursos en la planificación del proyecto?

¿De qué forma se pueden mejorar los rendimientos en los rubros principales del proyecto?

# 1.5. Delimitación del Problema de investigación

Campo: Construcción

Área: Innovación en la Construcción Aspecto: Investigación descriptiva

Tema: Evaluación de la aplicación de la metodología Lean Construction en la

Planificación de un proyecto de infraestructura

Delimitación Espacial: Nueva Prosperina, Guayaquil, Ecuador

Delimitación Temporal: El proyecto de investigación se realizará en 6 meses

# 1.6. Línea de Investigación Institucional / Facultad

Línea de investigación institucional: Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción

Líneas de investigación de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción:

Materiales de Construcción

Sublíneas de investigación de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción:

Tecnologías de construcción y materiales innovadores

# 1.7. Objetivo General

Evaluar costos y tiempos en la planificación de un proyecto de infraestructura, mediante la aplicación de la metodología "Lean Construction" frente a los métodos tradicionalmente empleados en la planificación.

# 1.8. Objetivos específicos

La presente investigación define los siguientes objeticos específicos:

- 1) Establecer una programación a mediano plazo mediante la aplicación de la herramienta Look Ahead Planning para la sectorización en la planificación del proyecto, con el fin último de lograr la optimización de los costos y tiempos de la planificación de un proyecto de infraestructura, en relación con los métodos tradicionales de planificación.
- 2) Realizar un análisis de restricciones de la programación para la determinación de los puntos críticos (cuellos de botella) en la planificación del proyecto, logrando la optimización de costos y tiempos.
- 3) Implementar un tren de actividades para la optimización del uso de recursos en la planificación del proyecto.
- 4) Definir criterios en la gestión de producción para la mejora de los rendimientos en los rubros principales del proyecto

# 1.9. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación es importante porque permitirá desarrollar una buena planificación del proyecto, garantizando que durante la etapa de construcción disminuya la probabilidad de existir sobrecostos, atrasos y por ende multas que deben cancelar las empresas constructoras, con el riesgo de ser declarado contratista incumplido, además de generar una mala imagen corporativa por incumplimiento.

Y es así como se precisa la utilización de una metodología novedosa que no ha sido difundida ni aplicada en proyectos de construcción en el Ecuador, a diferencia de otros países y que con ello han logrado optimizar costos y tiempos en los proyectos de ingeniería civil.

Por lo que, en esta investigación mediante la aplicación de la metodología Lean Construction, se espera establecer una programación a corto plazo para la sectorización en la planificación del proyecto de estudio. Además de realizar un análisis de restricciones de la programación para la determinación de los cuellos de botella en la planificación, para posteriormente implementar un tren de actividades

que permita la optimización del uso de recursos en la planificación del proyecto.

Finalmente se definirá criterios en la gestión de producción para la mejora de los

rendimientos en los rubros principales del proyecto

Como referencia a nivel mundial se tiene que, en el 2011 en Lima por iniciativa

de la academia y empresa privada de la construcción se funda el Capítulo Peruano

Lean Construction Institute, cuyo objetivo es la de clarificar los fundamentos teóricos

de la construcción, mejorando principios y métodos de tal manera que al aplicarlos al

sector impacten de manera positiva en los proyectos de ingeniería, arquitectura y

construcción (Orihuela, 2011).

Así mismo, para Rojas et al. (2017), con la aplicación de la metodología Lean

Construction en los proyectos en Chile, se elimina las pérdidas por demoras en los

procesos internos, así como se previene interrupciones, identificando a tiempo los

cuellos de botella del proyecto, evitando pérdidas en la producción y con ello

mejorando la rentabilidad, además de cumplir con los plazos establecidos.

Por lo tanto, la implementación de la Metodología Lean Construction merece

estudiarse por los argumentos antes expuestos porque mejoran el desempeño en

costos y tiempos del proyecto. Además, que será un aporte académico que se podrá

replicar en la carrera de pregrado de ingeniería civil y en posgrado, en la Maestría en

Ingeniería Civil con mención en Gestión de Construcción de la Universidad Laica

Vicente Rocafuerte.

1.10. Hipótesis de la investigación

La aplicación de la metodología "Lean Construction" optimiza los costos y

tiempos de la planificación de un proyecto de infraestructura, en relación con los

métodos tradicionales de planificación.

1.11. Variables

Variable dependiente:

Planificación de un proyecto de infraestructura

Variable independiente: Lean Construction

7

# **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Marco Teórico

#### 2.1.1. Antecedentes

Según un estudio realizado por Ballard y Howell (1998), la aplicación de la metodología Lean Construction en un proyecto de infraestructura en los Estados Unidos, donde se aplicaron diversas herramientas que incluyeron la gestión de producción y la sectorización de actividades permitió una reducción del 20% en los costos totales del proyecto y una disminución del 30% en los tiempos de ejecución, gracias a una mejor coordinación y flujo de trabajo en el sitio de construcción.

Para Ballard y Howell (2003), un método innovador para planificar y ejecutar proyectos de infraestructura es la metodología Lean Construction. Esta técnica se basa en los principios de Lean Manufacturing, que se enfocan en la maximización del valor para el cliente, la optimización de procesos y la eliminación de desperdicios

Según una investigación realizada por Lingard y Powell (2007), la implementación de Lean Construction en un proyecto de alcantarillado en Melbourne, Australia, donde se aplicó la metodología Lean Construction, incluyendo herramientas como el Look Ahead Planning y el análisis de restricciones, permitió reducir los tiempos de ejecución del proyecto y los costos asociados, gracias a una mejor gestión de la producción y una mayor eficiencia en la planificación y ejecución de actividades.

Koskela y Howell (2002), concluyen que el Look Ahead Planning (LAP) es una herramienta importante de Lean Construction que permite establecer una programación a mediano plazo mediante la identificación y sectorización de actividades. Esto facilita la anticipación de problemas potenciales y la toma de decisiones proactivas para optimizar los costos y los tiempos del proyecto. Por lo tanto, el uso de LAP en la planificación de proyectos de infraestructura mejora significativamente la programación y la ejecución de actividades en comparación con los métodos de planificación convencionales.

Asimismo Ballard y Howell (1998), señalaron que la implementación de un tren

de actividades, consiste en la secuenciación lógica y optimizada de las actividades del proyecto, reduciendo los tiempos de espera y mejorando el uso de los recursos. Gracias a la incorporación de un tren de actividades en la planificación del proyecto, se maximiza la productividad y se reduce el mal uso de los recursos, lo que resulta en una ejecución del proyecto más eficiente y rentable.

Para Tommelein y Emdanat (2022), el análisis de restricciones de programación permite identificar los puntos críticos o cuellos de botella en el flujo de trabajo del proyecto, es otro componente esencial de Lean Construction además del LAP. Al concentrar los recursos y esfuerzos en los aspectos del proyecto que tienen el mayor impacto, este análisis contribuye a la optimización de costos y tiempos

En el estudio de Lagos et al. (2024), se propone el uso de un sistema basado en inteligencia artificial para mejorar la identificación y eliminación de restricciones en el sistema Last Planner. Este sistema demostró una mejora del 60% en la precisión al identificar restricciones en comparación con los sistemas tradicionales. La aplicación de esta tecnología permite un análisis más profundo de las restricciones, lo que ayuda a identificar puntos críticos y a prevenir los motivos de no cumplimiento (RNCs), optimizando así costos y tiempos

En un estudio realizado por Miranda-Mejia et al. (2020), titulado "Evaluación de la eficacia de la aplicación de Last Planner System en un proyecto de construcción en la etapa de acabados", el objetivo de la investigación fue analizar y evaluar la aplicación del Last Planner System (LPS) en un proyecto de edificación de cinco pisos en Perú, centrándose en la etapa de acabados. La metodología incluyó la sectorización de la obra en tres zonas por cada nivel, y la implementación del Look Ahead Planning para la planificación intermedia y un Plan Semanal. Los resultados mostraron que la aplicación de LPS permitió un ahorro significativo en tiempos de ejecución, con un Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) del 76%. La investigación concluye que la metodología LPS es eficaz para proyectos de mediana envergadura, optimizando tanto los tiempos de ejecución como la productividad del equipo, especialmente en actividades repetitivas como las observadas en las partidas de acabados

En la investigación de Paredes-Gutierrez et al. (2020), titulada "Programación

de la construcción del tercer anillo de muros anclados de una edificación aplicando el método de Líneas de Balance", donde el objetivo fue mejorar la gestión del tiempo en la construcción mediante la implementación de la técnica de Líneas de Balance (LDB). La metodología empleada incluyó la sectorización del proyecto y la implementación de un tren de actividades para asegurar la optimización del uso de los recursos en las actividades planificadas. Los resultados mostraron que la implementación de LDB junto con trenes de actividades redujeron el tiempo de ejecución en un 3.57%, mejorando el rendimiento de las cuadrillas y reduciendo costos asociados a la mano de obra en un 17.51%. La investigación concluye que el método de Líneas de Balance y trenes de actividades optimizan el uso de los recursos, mejorando tanto la gestión del tiempo como el rendimiento en la ejecución de actividades críticas del proyecto

Moura et al. (2024), analizaron la aplicación de Lean Construction en su proyecto en el Brasil, enfocándose en la efectividad de la programación diaria frente a la semanal en proyectos de infraestructura complejos. Concluyeron que la programación diaria mejora la capacidad de adaptación a las necesidades del cliente, los cambios frecuentes y las incertidumbres del proyecto. Los resultados destacan un aumento del 22% en el Porcentaje de Eliminación de Restricciones y un 93% de cumplimiento de la Planificación Maestra.

Merrill et al. (2024), discuten el uso de la planificación por tiempo Takt (Takt Time Planning), que alinea las tasas de producción de los oficios para crear un flujo continuo y confiable de trabajo, lo que facilita una mejor utilización de los recursos. Esta metodología, junto con principios de Lean Construction, permite optimizar el uso de mano de obra y reducir el desperdicio, asegurando que los recursos se utilicen de manera eficiente en cada etapa del proyecto

En el estudio de Bou Hatoum et al. (2021), se destaca la importancia de diagnosticar el estado actual del proceso para identificar las restricciones y obstáculos que limitan su eficiencia. La metodología de reingeniería de procesos propuesta en este trabajo utiliza herramientas Lean y principios de mejora continua para mapear las restricciones y optimizar los flujos de trabajo, lo que permite identificar y eliminar cuellos de botella antes de que afecten de manera significativa el cronograma y los

Tommelein (2024), aborda los intercambios entre tiempo y costo en la planificación por tiempo Takt, mostrando cómo la planificación adecuada puede reducir la duración de los proyectos sin aumentar significativamente los costos. El uso de buffers de tiempo y capacidad permite una mayor confiabilidad en la ejecución de los planes, mejorando el rendimiento general de las actividades críticas

En un proyecto de alcantarillado en Japón, se implementaron herramientas de Lean Construction como el análisis de restricciones y la gestión de producción. Según un artículo de investigación publicado por Koskela (2000), la aplicación de Lean Construction en este proyecto resultó en una reducción del 15% en los costos totales del proyecto y una aceleración del 25% en los tiempos de ejecución, gracias a una mejor planificación y coordinación de actividades.

En la investigación de Meng (2019), titulada "Lean management in the context of construction supply chains", el objetivo principal fue explorar la implementación de principios lean en cadenas de suministro basadas en proyectos de construcción. Aplico metodologías cuantitativas y cualitativas, como encuestas y entrevistas a expertos, para evaluar la integración de la gestión lean y la colaboración en la cadena de suministro. Los resultados indicaron que el 68.2% de los proyectos implementaron colaboración en la cadena de suministro, lo que mejoró significativamente el rendimiento del proyecto en términos de tiempo, costo y calidad. Además, las correlaciones entre la adopción de principios lean y el rendimiento del proyecto fue evidente, con un impacto más fuerte en el rendimiento de costos. Por ejemplo, el compromiso con la mejora continua mostró una correlación significativa con el rendimiento del costo (p=0.029), tiempo (p=0.050) y calidad (p=0.046). La investigación concluye que la colaboración a largo plazo en la cadena de suministro mejora la efectividad de la gestión lean, maximizando el valor y minimizando los desperdicios.

Para Salem et al. (2006), dentro del marco de Lean Construction, la gestión de producción enfatiza la importancia de establecer criterios claros y específicos para mejorar los rendimientos en las áreas principales del proyecto. Estos estándares

incluyen la estandarización de procesos, la capacitación del personal y la implementación de sistemas de retroalimentación para detectar y corregir errores en el desempeño.

En el estudio realizado por Millones (2020), titulado "Metodología de gestión basada en Lean Construction y PMBOK para mejorar la productividad en proyectos de construcción", cuyo objetivo fue proponer una metodología para optimizar la productividad de los proyectos de construcción mediante la integración de Lean Construction y la guía PMBOK. La metodología incluyó la planificación Last Planner y un sistema de monitoreo y control basado en PMBOK. Los resultados mostraron una reducción significativa en el tiempo de ejecución, de 98 días a 68 días, y en los costos, de S/. 255,851.59 (USD 70,686) a S/. 230,061.70 (USD 63,561). La investigación concluye que la combinación de Lean Construction y PMBOK mejora notablemente la eficiencia y productividad en proyectos de construcción al optimizar la planificación y el control de los procesos productivos

Estos antecedentes proporcionan ejemplos concretos de cómo la metodología Lean Construction ha sido aplicada con éxito en proyectos de alcantarillado e infraestructura en diferentes partes del mundo, resultando en una optimización de costos y tiempos mediante la aplicación de herramientas como el Look Ahead Planning, el análisis de restricciones, la gestión de producción, la sectorización del proyecto y trenes de actividades.

## 2.1.2. Lean construction

Lean Construction es un enfoque de gestión y organización utilizado en la industria de la construcción con el objetivo de mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio y agregar valor para todas las partes involucradas en un proyecto de construcción. Lean Construction se basa en los principios del sistema Lean Manufacturing, nacido en el sector manufacturero que busca eliminar actividades que no añaden valor y optimizar los procesos para obtener resultados más eficientes.

La teoría detrás Lean Construction se basa en varios conceptos clave como el tratamiento de los desechos, centrarse en el valor, colaboración y comunicación, planificación y programación, mejora continua y flexibilidad y adaptabilidad. Se busca

identificar y eliminar todas las actividades, procesos o recursos que no agregan valor al proyecto. Este desperdicio puede incluir pérdida de tiempo, mal uso de materiales, tareas redundantes y cualquier cosa que no contribuya directamente al producto final.

Se fomenta la cooperación y la comunicación abierta entre todas las partes interesadas del proyecto, incluidos contratistas, proveedores, arquitectos, ingenieros y trabajadores. El objetivo es derribar barreras entre diferentes grupos y promover un flujo continuo de información.

Aquí el énfasis en la planificación detallada y el calendario preciso de todas las actividades del proyecto. Esto ayuda a evitar retrasos y garantiza que los recursos estén disponibles cuando sea necesario, basándose en un enfoque de mejora continua, donde continuamente se analizan los procesos y se buscan formas de optimizarlos. Esto implica aprender de experiencias pasadas y aplicar el conocimiento adquirido a proyectos futuros.

Como los proyectos de construcción a menudo enfrentan desafíos imprevistos, la Lean Construction fomenta la flexibilidad y la adaptabilidad para que pueda responder a los cambios de manera efectiva y ajustar el plan según sea necesario. Además, busca aplicar principios de eficiencia y cero desperdicios a la industria de la construcción, con el objetivo de entregar proyectos de manera más eficiente, reducir costos y mejorar la satisfacción del cliente.

Lean es una metodología de gestión que ha demostrado un gran desempeño en el sector de la industria automotriz. El sistema de fabricación ajustada se deriva principalmente de la industria de producción de Toyota, en Japón entre los años 50 y 60. Taichii Ohno (ingeniero industrial de Toyota) y Eiji Toyoda (futuro presidente de Toyota e inventor de la filosofía just-in-time), inventaron el Sistema de Producción Toyota (TPS) basado en las fallas de la industria automotriz estadounidense Ford, que se caracterizó por la falta de una estrategia para la reducción de residuos (Bajjou et al., 2017).

El Sistema de Producción Toyota (TPS) puso en evidencia los desperdicios resultantes de la producción en masa del Sistema Ford en los Estados Unidos, y los

criterios y conceptos del TPS se difundieron a América y Europa por 1975 gracias a la industria automotriz (Accostupa et al., 2022).

El término producción ajustada o lean, su empleo por primera vez por Jhon Krafcik en 1988 en su artículo "Triumph of the Lean Production System" (Triunfo del Sistema de Producción Esbelta). En este artículo se identificó y comparó el sistema de producción en masa con tecnología avanzada; y el sistema frágil de Toyota, con reducidos stocks y tecnología simple. A posteriori el término "frágil" se reemplazó por el término Lean, que significa en inglés, magro, sin grasa o esbelto (Accostupa et al., 2022).

Lean construction es un sistema basado en el enfoque Lean Production o Lean Manufacturing desarrollado en Japón, que permitió a las fábricas de Toyota producir unidades con una mayor eficiencia en comparación a las industrias americanas, producir unidades con menores recursos, en tiempos menores, y con un número menor de errores de fabricación (Brioso, 2015), su adaptación al sector de la construcción se dio desde 1992 por Lauri Koskela, profesor de Construcción y Gestión de Proyectos en la Universidad de Salford, quien fundamenta la teoría de Lean Construction, y en 1993 funda el International Group for Lean Construction (IGLC). En 1997 se funda en los Estados Unidos de Norteamérica el Lean Construction Institute (LCI).

En Latinoamérica se aplica la metodología Lean Construction con éxito en algunos países donde se ha fundado sus capitulo como en Perú desde 2011 con el Lean Construction Perú, así como el Instituto Colombiano de Lean Construction, Lean Construction Institute Argentina, Lean Institute Chile y Lean Institute Brasil.

# 2.1.3. Clasificación de los desperdicios en Lean Construction

Tanto en la metodología Lean Construction como en el Lean Manufacturing, se clasifican los desperdicios en categorías específicas para identificar áreas de ineficiencia y oportunidades de mejora. Estas categorías se conocen como los "Siete Desperdicios" o los "Siete Mudas", y fueron propuestas por Taiichi Ohno, uno de los principales impulsores del Sistema de Producción Toyota (TPS), que sirvió como base para la filosofía Lean. Lean identifica siete categorías de desperdicios que son:

sobreproducción, tiempo de espera, transporte innecesario, sobreprocesamiento, inventario, movimientos innecesarios y defectos (Pons y Rubio, 2019).

Con la identificación y eliminación de estos siete tipos de desperdicios de la construcción, las empresas constructoras lograrán una mayor eficiencia, menores costos y un mejor desempeño de los proyectos. Cada uno de estos residuos representa una oportunidad para mejorar los procesos y agregar valor a los clientes.

#### 2.1.4. Teoría de las restricciones

La Teoría de las Restricciones (TOC) es una teoría de control desarrollada por el físico y experto en control israelí Eliahu M. Goldratt. Este concepto se centra en identificar y eliminar barreras u obstáculos que impiden que la organización alcance su potencial y alcance sus objetivos.

La Teoría de las Restricciones se basa en la idea de qué en cualquier sistema, ya sea una empresa, una cadena de suministro o un proceso de producción, siempre hay uno o más factores que actúan como restricciones y reducen el rendimiento general. Estos límites pueden cambiar con el tiempo y pueden cambiar según las circunstancias. El objetivo de la teoría es identificar esas restricciones, enfocar los recursos en superarlas y, una vez superadas, encontrar la siguiente restricción y repetir el proceso.

El ciclo de mejora continua propuesto por Goldratt incluye los pasos como la identificación de restricciones, donde la primera etapa es identificar la restricción principal en el sistema, también conocida como "cuello de botella". Esto se hace a través de análisis y observación detallados del flujo de trabajo y los procesos. Una vez identificada la restricción, se trata de aprovecharla al máximo, asegurando que siempre esté funcionando y produciendo al ritmo máximo posible. Esto puede implicar la asignación de recursos adicionales o la optimización de las operaciones cercanas a la restricción. Las actividades sin restricciones deben planificarse y organizarse de manera que no excedan el poder de coerción. Esto evita la acumulación de bienes innecesarios y asegura un flujo constante.

Una vez que se elimina el cuello de botella, se identifica el siguiente cuello de

botella más importante en el sistema y se repite el proceso para mejorar el desempeño general de la organización.

La Teoría de las Restricciones se centra en identificar y superar los obstáculos que impiden que la organización funcione de forma eficaz. Es un enfoque pragmático y sistemático destinado a mejorar la eficiencia y los resultados generales mediante la identificación y eliminación de barreras a la implementación.

# 2.2. Marco Conceptual

# 2.2.1. Tipos de planes (plan maestro, planificación estratégica, planificación táctica y planificación operativa)

La planificación es un proceso esencial en la gestión de proyectos y organizaciones. En este contexto, se utilizan varios tipos de planes que varían en función del alcance y en el horizonte temporal. Los tipos de planes son: plan maestro, planificación estratégica, planificación táctica y planificación operativa (Gonzalez et al., 2019).

El plan maestro se la realiza a largo plazo y a menudo se relaciona con la visión y los objetivos estratégicos de una organización o proyecto. La planificación estratégica similar al plan maestro, pero a menudo se enfoca más en la estrategia y en cómo una organización logrará sus objetivos a largo plazo. La planificación táctica se realiza a medio plazo y se concentra en cómo se llevarán a cabo los planes estratégicos y la planificación operativa se desarrolla a corto plazo y se enfoca en la ejecución diaria de tareas y actividades.

Es importante destacar que estos tipos de planes están interconectados. Los planes maestros establecen la dirección estratégica, la planificación estratégica detalla cómo alcanzar ese camino, la planificación táctica aborda la ejecución a medio plazo y la planificación operativa se enfoca en la ejecución diaria. Todos estos niveles de planificación son esenciales para la gestión efectiva de proyectos y organizaciones.

# 2.2.2. Look Ahead Planning

Es una planificación a mediano plazo, el cual tiene un horizonte que dependerá del proyecto, pero que normalmente está entre 3 a 6 semanas, según la duración del proyecto, la complejidad, el plazo de abastecimiento, etc. El objetivo principal es la de llevar un control en el flujo de trabajo y de la correcta secuencia de las actividades de la programación general. Se debe considerar todos los aspectos que afecten o podrían afectar a cada actividad como son los temas logísticos, coordinación con oficina para actualización de planos o diseños, recursos humanos, información para la elección de mano de obra, etc. (Brioso, 2015).

Look Ahead Planning es una técnica de planificación utilizada en el ámbito de la gestión de proyectos de construcción y, en particular, en el contexto de la metodología Lean Construction. El término "Look Ahead Planning" se asocia comúnmente con la investigación y las prácticas desarrolladas por Lauri Koskela quien es un destacado experto en Lean Construction.

Look Ahead Planning es una técnica que busca mejorar la eficiencia y la flexibilidad en la ejecución de proyectos de construcción al permitir una planificación más precisa y adaptable en función de las condiciones cambiantes del sitio y la disponibilidad de recursos.

Para el profesor Ballard (2000), Look Ahead Planning en el contexto de Lean Construction se refiere a una técnica de planificación que se utiliza para gestionar proyectos de construcción de manera más eficiente. La idea detrás del "Look Ahead Planning" es anticipar y planificar las actividades y tareas que se realizarán en un futuro cercano, generalmente en un período de una o varias semanas. El objetivo principal es garantizar una secuencia de trabajo fluida y optimizar la utilización de recursos.

Look Ahead Planning es una técnica que busca mejorar la coordinación, la eficiencia y la productividad en proyectos de construcción al centrarse en el mediano plazo y alinear las actividades y recursos de manera más efectiva. Al hacerlo, se reduce la probabilidad de retrasos y se optimiza la ejecución del proyecto.

#### 2.2.3. Sectorización

Se lo conoce como el proceso de dividir una actividad o tarea de la obra en partes más pequeñas llamadas sectores. Cada sector deberá comprender un metrado aproximadamente igual a los demás para así mantener un flujo continuo entre sectores. En la construcción se la realiza con la finalidad de dividir el trabajo en partes más manejables y poder formar lo que se conoce como el tren de trabajo o actividades, con esto se podrá separar las cuadrillas o frentes de trabajo por especialidad y optimizar los rendimientos haciendo uso de la curva de aprendizaje (Moreno, 2019).

La sectorización, según Ballard (2000), es una estrategia que busca mejorar la eficiencia y reducir los desechos en el proceso de construcción al dividir el sitio de construcción en secciones o sectores más pequeños y manejables. Estos sectores se gestionan de manera independiente, lo que permite un mayor control y una ejecución más eficiente de las tareas.

La sectorización se basa en principios del control local, donde cada sector es supervisado por un líder o equipo de trabajo responsable de planificar y gestionar las actividades en ese sector específico. Se utiliza para fomentar un flujo continuo de trabajo dentro de cada sector. Esto significa que las actividades se planifican y se ejecutan de manera que los recursos y la información fluyan sin interrupciones innecesarias.

Al dividir el sitio de construcción en sectores y enfocarse en el control local y el flujo continuo, se reduce la posibilidad de desechos y demoras, lo que mejora la eficiencia en la ejecución del proyecto. La sectorización también mejora la comunicación y la coordinación entre los equipos de trabajo, ya que cada sector opera de manera más autónoma y puede adaptarse a las circunstancias locales.

Por medio de la sectorización se optimizará la gestión de los proyectos de construcción al dividirlo en sectores manejables y fomentando un flujo de trabajo más eficiente, lo que conduce a una mayor productividad y a la reducción de desechos en el proceso de construcción.

#### 2.2.4. Tren de actividades

En la industria manufacturera, las estaciones son localizaciones fijas donde se realizan uno o más procesos a los productos que van recorriendo la línea de producción. En cambio, en la industria de la construcción los procesos (actividades) recorren los productos (edificaciones, obras de infraestructura, puertos, etc.), y en cada zona de trabajo (frentes o localizaciones) se ejecutan uno o más procesos en un tiempo específico hasta la culminación de la fase y obra (Brioso, 2017).

Así también, para Brioso (2017), en el Perú a la línea de producción se le denomina "tren de actividades", y en los proyectos que trabajan con la Metodología Lean Construction, los trenes de actividades (flujo de producción constante) se diseñan utilizando zonas en las que se ejecutarán las actividades con un takt-time (unidad de tiempo en la que se debe producir un producto) de un día de trabajo.

Los trenes de actividades se los utilizan en la gestión de proyectos para optimizar la programación y ejecución de tareas en un proyecto, permitiendo un flujo continuo y eficiente de trabajo. A menudo, los trenes de actividades se aplican en la construcción de edificios y proyectos de infraestructura considerando la secuencia de tareas, agrupación de trenes, flujo continuo, optimización de recursos, minimización de desperdicios y colaboración entre los distintos frentes de trabajo (Hamzeh et al., 2012).

La implementación de trenes de actividades es una estrategia específica que se utiliza para mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos de construcción logrando la eliminación de desperdicios y optimizando los procesos en la construcción.

#### 2.2.5. Cuellos de botella

Los cuellos de botella son puntos o etapas en un proceso o sistema donde la capacidad o el flujo de trabajo se restringen, lo que resulta en una disminución de la productividad, la eficiencia y la capacidad de procesamiento. Estos cuellos de botella representan un estrangulamiento en el flujo de trabajo y pueden tener un impacto negativo en el rendimiento general del sistema. Los aspectos clave relacionados con los cuellos de botella son restricción de capacidad, impacto en el tiempo, gestión de

recursos, optimización y mejora continua, modelo y simulación y enfoque en la teoría de las restricciones (Álvarez, 2018).

Los cuellos de botella son generalmente el resultado de una limitación en la capacidad de una etapa particular en un proceso. Esto significa que esa etapa no puede procesar o completar el trabajo tan rápido como las etapas anteriores o posteriores del proceso.

Los cuellos de botella pueden ralentizar todo el proceso, ya que todas las demás etapas deben esperar a que la etapa con el cuello de botella complete su trabajo antes de avanzar.

La gestión efectiva de recursos, como mano de obra, maquinaria, materiales, y tiempo, es esencial para abordar los cuellos de botella. A menudo, se requiere un aumento en los recursos en la etapa del cuello de botella o una redistribución de los recursos para resolver el problema.

El identificar y eliminar los cuellos de botella es fundamental en la optimización de procesos y la mejora continua, encontrando soluciones para aumentar la capacidad de la etapa afectada o mejorando la eficiencia de todo el proceso. En la planificación de proyectos o procesos, a menudo se utiliza la modelación y la simulación para identificar posibles cuellos de botella antes de que ocurran, lo que permite tomar medidas preventivas.

La Teoría de las Restricciones es una metodología de gestión que se basa en identificar y resolver cuellos de botella en los sistemas, proponiendo estrategias para maximizar la productividad identificando y gestionando las restricciones críticas.

La identificación y gestión de los cuellos de botella son esenciales en la gestión de proyectos y la optimización de procesos, ya que permiten mejorar la eficiencia y la capacidad de un sistema, lo que puede llevar a una mayor productividad y a la reducción de retrasos.

#### 2.2.6. Análisis de restricciones

Son los prerrequisitos de una actividad, que de no ser analizados y resueltos podrían producir paralizaciones en los flujos de producción. Al programar las partidas del Look ahead planning, se las somete a un análisis que tiene por objetivo dejarlas totalmente activadas, libre de restricciones cuyo incumplimiento podrían generar paralizaciones en los flujos, pérdidas y retrasos. Normalmente las restricciones que se encuentran en la construcción son de materiales, mano de obra, equipos, seguridad, tarea previa, información, espacio (zonas de trabajo) y condiciones externas (Brioso, 2015).

Una restricción en obra se refiere a cualquier factor que limite o afecte la capacidad de llevar a cabo una tarea o actividad de manera normal o planificada en el proyecto de construcción. Estas restricciones pueden surgir por diversas razones y pueden variar en su naturaleza y gravedad. Algunos ejemplos comunes de restricciones en obra son: tiempo, presupuesto, espacio, ambientales, recursos humanos, acceso, climáticas y regulatorias.

Gestionar de forma correcta y superando estas restricciones es fundamental para el éxito de los proyectos de construcción. Los profesionales de la construcción deben identificar y planificar cómo abordar estas restricciones para asegurarse de que el proyecto se complete de manera eficiente y dentro de los plazos establecidos.

#### 2.2.7. Gestión de producción

La gestión de la producción en la construcción se refiere a la planificación, organización y control de los procesos y actividades relacionados con la ejecución de proyectos de construcción con el fin de optimizar la productividad, la eficiencia y la calidad. Implica además la coordinación de recursos humanos, materiales, maquinaria y tiempo para asegurarse de que el proyecto se complete de manera efectiva y dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

La gestión de producción ofrece numerosas ventajas tanto para las empresas constructoras como para los proyectos. Algunos aspectos clave de la gestión de la producción en la construcción incluyen: planificación, programación, control de costos, gestión de recursos humanos, gestión de materiales y suministros.

optimización de procesos, gestión de riesgos y control de calidad.

La gestión de la producción en la construcción es importante para mantener grandes y complejos proyectos logrando la optimización de procesos y recursos, la reducción de costos, la mejora de la calidad y la satisfacción del cliente lo que contribuirá al éxito y la rentabilidad del proyecto y de la empresa constructora.

## 2.3. Marco Legal

En Ecuador, las obras de construcción están reguladas por la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (2016), así como por el Reglamento a la Ley Orgánica Ordenamiento de Territorial, Uso y Gestión Del Suelo (2019). Estas normativas establecen los requisitos para la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura, incluyendo aspectos como los permisos de construcción, las especificaciones técnicas y los estándares de seguridad en el lugar de trabajo.

La contratación de obras públicas en Ecuador está regida por la Ley Orgánica Del Sistema Nacional de Contratación Pública (2024). Esta ley establece los procedimientos y requisitos que deben seguir las entidades estatales al realizar procesos de contratación para la ejecución de obras públicas, incluyendo la planificación, la convocatoria a licitación y la adjudicación de contratos

En la actualidad en el Ecuador, no existe un marco legal para la implementación de la metodología Lean Construction para los proyectos de construcción públicos o privados, aunque si se menciona tanto en la Ley Orgánica Del Sistema Nacional de Contratación Pública reformado en 2024, como en las Normas de Control Interno de la Contraloría General del Estado la importancia de un sistema o mecanismo en la etapa de planificación de los proyectos públicos que garanticen su cumplimiento.

En el artículo 280 de la Constitución de la República del Ecuador indica que el Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las

competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. Su observancia será de carácter obligatorio para el sector público e indicativo para los demás sectores (2021), considerando esta disposición constitucional, resulta imperativo adoptar en la gestión de proyectos públicos en el Ecuador enfoques innovadores y eficientes, como Lean Construction. La implementación de Lean Construction permitiría optimizar los recursos públicos, mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos y garantizar una mayor satisfacción de las necesidades de la ciudadanía, en consonancia con los principios de transparencia, eficacia y eficiencia que rigen la administración pública.

Así mismo en Normas de Control Interno de La Contraloria General Del Estado indica que tanto las entidades del sector público como las personas jurídicas que dispongan de los recursos públicos implementarán un sistema de planificación que incluya entre sus partes la formulación, ejecución y control de sus proyectos (2009), con el fin de optimizar procesos, garantizando la entrega de los proyectos en el plazo y presupuesto establecido.

En el artículo 54 de la Ley Orgánica Del Sistema Nacional de Contratación Pública sobre el Procedimiento de Selección de ofertas, indica que los oferentes deberán presentar el cronograma de la provisión, instalación y funcionamiento de los bienes y equipos; así como la puesta en operación del proyecto contratado (2024), donde siempre se presenta por mismo formato del SERCOP un cronograma en diagrama de barras.

Así mismo en el artículo 86.1 del Reglamento a La Ley Orgánica Sistema Nacional Contratación Pública sobre la evaluación de ofertas en obras, indica que en el caso de las contrataciones de obras la metodología y cronograma de ejecución de la obra, serán exigidos en los pliegos pero como una obligación de ejecución contractual, por lo que no serán verificados o evaluados en la fase precontractual ni en la fase de suscripción. Siendo esta una herramienta valiosa comprobar el cumplimiento de la obra en la fase de ejecución, será revisada una vez que el oferente que quede adjudicado suscriba el contrato, y previo a la autorización de inicio de obra, será presentado al fiscalizador para su aprobación (2024), por lo tanto, la implementación de enfoques innovadores como Lean Construction podría optimizar

aún más la gestión de proyectos, permitiendo una ejecución más eficiente y una mejor asignación de recursos. Por lo tanto, sería beneficioso considerar la integración de principios Lean en el diseño y la ejecución de obras públicas, lo que contribuiría a mejorar la calidad, reducir los tiempos de ejecución y minimizar los costos asociados a los proyectos de infraestructura.

En el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas en el artículo 127 cita sobre la responsabilidad de la entidad u organismo público contratante será la responsable de la ejecución de los proyectos o programas que se financien con dichos recursos (2022), considerando esta responsabilidad es esencial que las entidades públicas motiven a los contratistas sobre la adopción de enfoques eficientes y efectivos para la gestión de proyectos, como Lean Construction. La implementación de Lean Construction no solo puede ayudar a optimizar los procesos de construcción, sino que también puede contribuir a garantizar una asignación eficaz de los recursos financieros, reducir los plazos de ejecución y mejorar la calidad de las obras públicas, en línea con los principios de transparencia y eficiencia que rigen la gestión de recursos públicos.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación de este proyecto se centra en la aplicación de métodos cuantitativos para abordar los objetivos establecidos. La investigación se basó en la recolección y el análisis de datos numéricos y estadísticos para evaluar el rendimiento y la eficiencia en la planificación y gestión del proyecto de infraestructura.

La elección del enfoque cuantitativo para esta investigación se justifica por la naturaleza de los objetivos, los cuales requieren una medición precisa y el análisis de datos numéricos para evaluar el impacto de diferentes estrategias y herramientas en la optimización de costos, tiempos y recursos en proyectos de infraestructura.

Según Creswell "el enfoque cuantitativo se utiliza para probar teorías que han sido formuladas previamente y para evaluar la relación entre variables a través del análisis estadístico de datos numéricos" (2014, p. 89). En este caso, comprueba la eficacia de la aplicación de herramientas como Look Ahead Planning, tren de actividades y criterios de gestión de producción, en la optimización de costos, tiempos y recursos en proyectos de infraestructura. Además, Mohammad-Zyoud et al. señala que "la investigación cuantitativa se utiliza cuando el investigador desea identificar la asociación entre variables y determinar la fuerza y la dirección de esa asociación" (2024, p.12). Por lo tanto, al analizar los datos numéricos recolectados, se podrá identificar de manera precisa las relaciones entre las variables relacionadas con la planificación y gestión de proyectos de infraestructura, así como determinar la efectividad de las estrategias propuestas para mejorar los rendimientos en los rubros principales del proyecto.

## 3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación llevado a cabo en este proyecto es descriptivo. Se lo seleccionó con el propósito de proporcionar una descripción precisa y detallada de los fenómenos y procesos relacionados con la planificación y gestión de proyectos de infraestructura, en particular, en lo que respecta a la optimización de costos, tiempos y recursos.

Este tipo de investigación se adecúa al proyecto de estudio debido a que se busca entender los aspectos específicos de la planificación y gestión de proyectos de infraestructura, así como el impacto de diferentes estrategias y herramientas Lean en la optimización de costos, tiempos y recursos.

#### 3.3. Método de investigación

El método de investigación utilizado en este proyecto es el hipotéticodeductivo. Este método se alinea con el enfoque cuantitativo y el nivel de investigación descriptivo previamente establecido, ya que busca probar una hipótesis específica mediante la recolección y el análisis de datos numéricos como costos y tiempos. La esencia de este método consiste en hacer uso de la verdad o falsedad del enunciado básico (a partir de su contrastación empírica), para inferir la verdad o la falsedad de la hipótesis que ponemos a prueba (Rodríguez y Pérez, 2017).

El método hipotético-deductivo permite probar empíricamente la hipótesis planteada en el contexto de la investigación descriptiva, utilizando un enfoque cuantitativo para analizar los datos y obtener conclusiones válidas y generalizables sobre la planificación y gestión de proyectos de infraestructura.

#### 3.4. Técnicas utilizadas

Para la recolección de datos del proyecto, se utilizaron dos técnicas para alcanzar los objetivos específicos del proyecto, primero mediante la observación directa de las condiciones del sitio y de las distintas actividades o rubros en obra con el fin de recopilar datos sobre el proceso de trabajo, el flujo de actividades y posibles problemas que se podrían presentar.

También se realizó revisión de documentos como pliegos, análisis de precios unitarios, cronogramas y metodología de construcción presentados en la etapa de licitación y que corresponden a una planificación inicial realizada bajo métodos tradicionales como el método de ruta crítica (CPM), todo esto con el fin de realizar un registro sistemático, válido y confiable de situaciones observables (Hernández et al., 2014).

#### 3.5. Instrumentos

Para llevar a cabo el levantamiento de información de un proyecto de infraestructura utilizando las técnicas de observación en obra y revisión documental, se utilizaron como instrumentos de recolección de datos: tablas de avance semanal y mensual de la instalación de colectores, planos en AutoCAD, cronogramas en Excel, cronogramas en Project, etc., que sirvieron para la realización de una descripción específica del proyecto de infraestructura analizado (Arias, 2018).

#### 3.6. Población

La población de estudio u objeto de estudio en esta investigación es el proyecto del alcantarillado sanitario del Sistema 3 Fase 3 ubicado al noroeste de Guayaquil, donde se aplicó la metodología Lean Construction en la planificación. La selección del proyecto se lo realizó en el área específica del alcantarillado sanitario antes mencionado, donde por motivos laborales también se pudo realizar la recolección de datos y el análisis detallado de las operaciones y procesos relacionados con la planificación del proyecto.

La población objeto de estudio para la investigación se refiere al proyecto de infraestructura en su totalidad, abarcando redes principales, secundarias y terciarias. En este caso específico, la población consta de 54,537 metros lineales de redes de infraestructura.

#### 3.7. Muestra

Dada la extensión y complejidad de estas instalaciones, así como la limitación de tiempo para la recolección de datos, se optó como indican Sanda et al. por seleccionar una muestra intencionada que permita un análisis representativo de las características y desafíos asociados con la planificación y gestión de este tipo de infraestructuras (2021).

Por lo tanto, la investigación se centró en las redes primarias y secundarias, la muestra seleccionada para el estudio incluye únicamente los 8,341 metros lineales correspondientes a estas redes. Esta muestra representa una parte significativa y representativa del proyecto en su conjunto, permitiendo así realizar una evaluación

precisa de la aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de la infraestructura.

La exclusión de las redes terciarias y conexiones intradomiciliarias de la muestra se debe a que estas representan una parte más específica y detallada del sistema de alcantarillado, y su inclusión aumentaría significativamente el tiempo en la toma de datos y el alcance de la investigación, así como los recursos necesarios para su ejecución. Por lo tanto, se focaliza el análisis en los componentes principales del sistema de alcantarillado, que son los colectores principales y secundarios, lo cual permite una evaluación macro de la gestión y operación de la infraestructura (Ahmad et al., 2019).

## 3.8. Descripción de los pasos a desarrollar

El proyecto de estudio son las redes de colectores principales y secundarios de las Zonas 1, 3 y 5 del Sistema 3 Fase 3 donde se realiza la planificación de las actividades de construcción que incluyen movimiento de tierras, suministro e instalación de tuberías de hormigón de 24, 30 y 33 pulgadas, así como la instalación de tuberías de PVC de 220 mm a 440 mm, cámaras de hormigón tipo 1A, 1B, 2C, 3B y 3C mediante la aplicación de las herramientas de la Metodología Lean Construction como Look Ahead Planning y la sectorización en la planificación del proyecto.

A continuación, se realiza un análisis de restricciones de la programación para la determinación de los puntos críticos (cuellos de botella) en la planificación del proyecto. Se proponen medidas a implementarse para liberar las restricciones identificadas, logrando con ello el flujo continuo de las actividades del proyecto. Posteriormente, se implementa un tren de actividades para la optimización del uso de recursos en la planificación del proyecto. Luego se definen los criterios en la gestión de producción para la mejora de los rendimientos en los rubros principales del proyecto.

Para finalizar, se realiza un análisis comparativo de la planificación del proyecto mediante el método tradicional con la planificación realizada con las herramientas de la Metodología Lean Construction para evaluar su impacto en el costo y tiempo.

## 3.9. Proyecto de Estudio

## 3.9.1. Antecedente del Proyecto

El proyecto de estudio es la construcción de las redes de alcantarillado sanitario de las Zonas 1, 3 y 5, que beneficiará a 22.100 habitantes aproximadamente de las Cooperativas Reynaldo Quiñonez, San Ignacio de Loyola y Nueva Prosperina (Bloques 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8). En la Figura 1 se aprecia las Zonas 1,3 y 5 de la Fase 3 donde se realiza el proyecto de alcantarillado sanitario.

Zona 21

Zona 17

Zona 17

Zona 17

Zona 17

Zona 17

Zona 17

Zona 19

FASE 2

Zona 9

FASE 1

Zona 19

Zona 10

Zona 11

Zona 12

Zona 13

Figura 1 Área del proyecto Alcantarillado Sanitario del Sistema 3 de Flor de Bastión

Fuente: (EMAPAG-EP, 2021). Elaborado por: Arroyo (2024)

#### 3.9.2. Alcance del proyecto de construcción

El proyecto comprende como entregables la construcción de Redes Principales, Secundarias, Terciarias y Conexiones al Usuario en las Zonas 1, 3, y 5 del Alcantarillado Sanitario del Sistema 3, incluyendo los principales componentes y sus cantidades que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1
Componentes Principales del proyecto de construcción

Entregables	Componentes	Cantidades
Redes principales y	Colector de Tubería de Hormigón Armado	3.316,16 m
	Colector tubería de PVC	8.538,10 m 5.221,94 m
secundarias	Tirantes	1.812,85 m
	Cámaras de inspección	174 u
Redes Terciarias	Ramal Domiciliario	41.739,70 m
Redes Tercianas	Cajas de Hormigón y PVC	5.628 u
Conexiones al usuario		5.040 u

Fuente (EMAPAG-EP, 2021). Elaborado por: Arroyo (2024)

El proyecto se descompone en 5 capítulos principales que son: materiales, obra civil, costos disposición materiales de desalojo a iguanas, indemnizaciones y compromiso ciudadano. Estos subcapítulos se desglosan en 857 rubros o actividades de obra.

# 3.10. Planificación del Proyecto metodología Tradicional – Método de la Ruta Crítica (CPM)

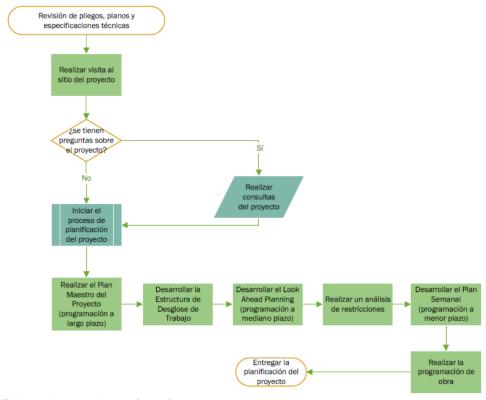
Durante la etapa de licitación se realizó la planificación del proyecto de alcantarillado mediante la metodología tradicional o método de la ruta crítica, adjuntando en la oferta una programación en Diagrama de Barras (Diagramas de Gantt) con los montos ejecutados mensualmente por cada uno de los 857 rubros y una representación de ruta crítica aplicando el software MS Project, lo cual en la práctica se vuelve difícil su seguimiento y control.

## 3.11. Planificación del Proyecto mediante la metodología Lean Construction

En la figura 2 se detalla los pasos a seguir en una planificación de proyecto mediante la metodología Lean Construction.

Figura 2

Pasos a seguir en la planificación Lean Construction



## 3.11.1. Planificación Maestra

En la tabla 2 se presenta la planificación maestra por cada una de las zonas a ser intervenidas.

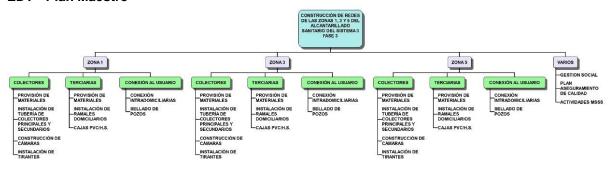
Tabla 2 Planificación Maestra

	DESCRIPCION	04-10-22 al 31-10-22	01-11-22 al 30-11-22	01-12-22 al 31-12-22	01-01-23 al 31-01-23	01-02-23 al 28-02-23	01-03-23 al 31-03-23	01-04-23 al 30-04-23
Α	ZONA 1							
	COLECTORES							
	PROVISIÓN DE MATERIALES							
	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE COLECTORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS							
	CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS							
	INSTALACIÓN DE TIRANTES							
В	ZONA 3							
	COLECTORES							
	PROVISIÓN DE MATERIALES							
	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE COLECTORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS							
	CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS							
	INSTALACIÓN DE TIRANTES							
D	VARIOS							
	GESTION SOCIAL							
	PLAN ASEGURAMIENTO DE CALIDAD							
	ACTIVIDADES MSSS							

## 3.11.2. Estructura de Desglose de Trabajo del Plan Maestro

La Figura 3 representa la estructura de desglose trabajo de todo el proyecto, divido en colectores, terciarias y conexión al usuario por cada una de las zonas (1, 3 y 5) y de forma general los entregables de gestión social, plan de aseguramiento de la calidad y actividades medioambientales, salud y seguridad.

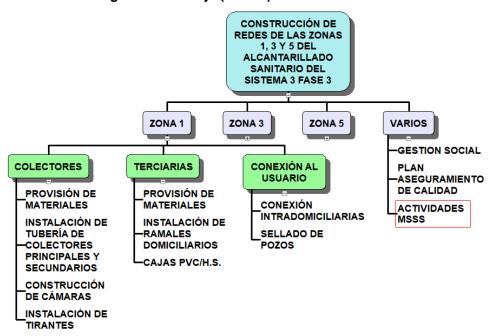
Figura 3 EDT - Plan Maestro



Elaborado por: Arroyo (2024)

La Figura 4 representa la estructura de desglose trabajo de la zona 1 en colectores, redes terciarias, conexión al usuario y varios.

Figura 4
Estructura de Desglose de Trabajo (Zona 1)



# 3.11.3. Identificación de los colectores

Para efecto de poder realizar la sectorización del proyecto previamente se identifican los tramos de colectores a ejecutarse por cada una de las zonas del proyecto como se detallan en las Tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3
Colectores Zona 1

ZONA 1										
Cole	ector	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Col	ector	Diámetro (mm)	Longitud (m)			
AS_79	AS_80	700	13.41	121_7	AS_75-1	220	54.56			
AS_9	AS_10	800	126.00	104_1	AS_104	220	15.24			
AS_10	AS_11	800	78.91	117_2	117_3	220	25.98			
AS_11	AS_12	800	76.28	117_3	117_4	220	19.43			
AS_12	AS_13	800	81.85	117_1	117_4	220	15.31			
AS_13	AS_14	800	95.91	117_4	117_7	220	24.60			
AS_14	AS_15	800	85.32	117_8	117_7	220	12.27			
AS_15	AS_16	800	40.75	117_5	117_6	220	40.48			
AS_17	AS_18	800	125.37	117_6	117_7	220	37.99			
AS_18	AS_19	800	93.58	117_8	AS_101	220	79.48			
AS_19	AS_20	800	82.84	AS_101	AS_102	400	24.00			
AS_20	AS_21	800	42.02	AS_102	AS_103	400	59.00			
AS_21	AS_22	800	40.29	AS_103	AS_104	400	61.09			
AS_22	AS_77	800	28.21	AS_104	AS_105	400	39.58			
122_1	122_2	220	71.28	AS_105	AS_106	400	36.94			
122_2	122_3	220	26.86	AS_106	AS_107	400	37.05			
122_3	122_4	220	21.29	AS_107	AS_108	400	37.90			
122_4	122_5	220	39.45	AS_108	AS_109	400	37.67			
122_5	122_6	220	37.89	AS_109	AS_110	400	54.27			
122_6	122_7	220	37.34	AS_110	AS_111	400	40.34			
122_7	AS_1	220	44.28	AS_111	AS_112	400	37.34			
AS_1	AS_2	220	28.19	AS_112	AS_78	400	34.87			
AS_2	AS_79	220	20.65	AS_73	AS_74	700	75.28			
AS_79	AS_78	700	47.82	AS_74	AS_75	700	86.54			
121_1	121_2	220	38.25	AS_75	AS_75-1	700	36.52			
121_2	121_3	220	36.29	AS_75-1	AS_76	700	43.46			
121_3	121_4	220	36.56	AS_76	AS_77	700	66.56			
121_4	121_5	220	36.40	AS_77	AS_77-1	700	35.68			
121_5	AS_110	220	36.06	AS_77-1	AS_78	700	44.81			
AS_110	AS_110_1	220	16.29							
		Subtotal	1,585.64			Subtotal	1,214.24			

Tabla 4 Colectores Zona 3

	ZONA 3									
Colector		Diámetro (mm)	Longitud (m)	Colector		Diámetro (mm)	Longitud (m)			
120_1	120_2	220	92.34	113_3	113_4	220	35.50			
120_2	AS_72	220	78.11	113_4	113_5	220	39.37			
119_3	119_4	220	40.42	113_5	113_6	220	43.74			
119_4	119_5	220	31.20	113_6	113_7	220	31.06			
119_1	119_2	220	23.01	113_7	113_8	220	37.70			
119_2	119_5	220	23.23	AS_3	AS_4	600	32.82			
119_5	119_6	220	62.66	AS_4	AS_5	600	35.96			
119_6	AS_68	220	16.47	AS_5	AS_60	600	41.83			

	ZONA 3									
Col	lector Diámetro (mm) Longitud (m)		Longitud (m)	Colector		Diámetro (mm)	Longitud (m)			
114_1	114_2	220	28.68	AS_68	AS_69	700	139.75			
114_2	114_3	220	54.50	AS_69	AS_70	700	26.56			
114_3	114_4	220	45.45	AS_70	AS_71	700	56.73			
114_4	114_5	220	36.38	AS_71	AS_72	700	56.96			
114_5	114_6	220	29.03	AS_72	AS_73	700	91.75			
114_6	AS_3	220	42.20							
		Subtotal	603.68			Subtotal	669.73			

Tabla 5
Colectores Zona 5

			ZC	DNA 5			
Cole	ctor	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Cole	ector	Diámetro (mm)	Longitud (m)
104_2	104_3	220	28.59	AS_100	AS_101	335	39.16
104_3	104_4	220	38.85	118_9	AS_102	220	15.10
104_4	104_5	220	37.60	118_1	118_2	220	38.90
104_5	104_6	220	73.65	118_2	118_3	220	39.38
104_6	104_7	220	75.83	118_3	118_4	220	40.18
104_7	104_8	220	81.73	118_4	118_5	220	25.75
104_8	104_9	220	39.84	118_5	118_6	220	26.80
104_9	104_10	220	42.26	118_6	118_7	220	37.20
104_10	104_11	220	41.14	118_7	AS_103	220	14.51
104_1	104_11	220	39.83	AS_115	AS_116	220	40.81
104_11	104_12	220	69.39	AS_116	AS_117	220	8.61
104_13	AS_29	220	38.30	AS_117	AS_118	220	40.42
AS_29	AS_30	220	12.07	AS_118	AS_119	220	35.90
AS_30	AS_31	220	110.66	AS_119	AS_120	220	47.42
110_1	110_2	220	45.40	AS_120	AS_121	220	61.57
110_2	AS_31	220	45.45	AS_121	AS_122	220	23.29
AS_12	AS_13	220	41.56	AS_122	AS_123	220	36.31
AS_13	AS_14	220	41.56	AS_123	AS_124	220	38.64
AS_14	AS_15	220	46.56	AS_124	AS_125	220	34.40
AS_15	AS_16	220	43.29	116_1	116_2	220	36.02
AS_16	AS_17	220	41.78	116_2	AS_93	220	40.04
112_8	AS_17	220	33.22	AS_125	AS_126	250	29.87
112_1	112_6	220	104.53	AS_126	AS_127	250	34.42
112_6	112_7	220	33.80	AS_127	AS_128	250	49.91
112_7	112_8	220	48.19	AS_128	AS_128-1	250	35.21
112_2	112_3	220	47.94	AS_128-1	AS_98	250	8.79
112_3	112_4	220	46.28	AS_90-E	AS_93	335	110.59
112_4	112_5	220	42.41	AS_93	AS_94	335	32.77
112_5	112_6	220	37.07	AS_94	AS_95	335	18.68
115_1	113	220	100.04	AS_95	AS_96	335	82.34
111_1	111_2	220	40.72	AS_96	AS_97	335	37.10
111_2	AS_113	220	26.77	AS_97	AS_98	335	41.70
AS_113	AS_114	220	41.81	AS_98	AS_99	335	27.81
AS_114	AS_115	220	15.36	AS_99	AS_100	335	38.39
		Subtotal	1,653.48		<u> </u>	Subtotal	1,267.99

Elaborado por: Arroyo (2024)

Tabla 6 Colectores Etapa 2

Zona	Colector		Diámetro (mm)	Longitud (m)
	AS_80	AS_1	800	100.13
1	AS_16	AS_17	800	106.65
	AS_1	AS_9	800	627.37
	AS_60	AS_65	600	254.37
3	AS_65	AS_68	700	297.87
	AS_65_1	AS_65	400	26.40

34

Zona	Colector		Diámetro (mm)	Longitud (m)	
	113_1	113_2	220	52.48	
	113_2	113_3	220	43.57	
5	104_12	AS_29	220	34.40	
			Total	1,543.24	

# 3.11.4. Sectorización del Proyecto

La sectorización del proyecto es fundamental para dividir el alcance total del proyecto en partes más pequeñas y por consiguiente más fáciles de planificar y controlar el avance durante la ejecución.

En la figura 5 se detalla la sectorización de los trabajos en las redes principales y secundarias.

Figura 5
Sectorización de colectores principales



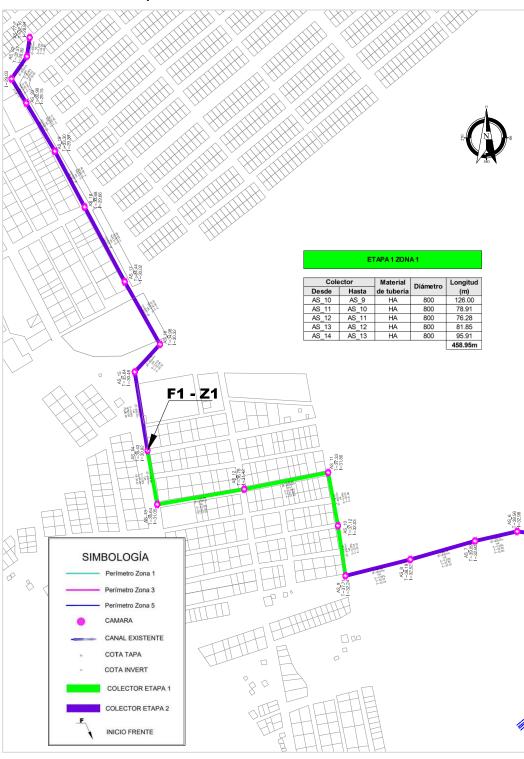
Fuente: Google Earth, Elaborado por: Arroyo (2024)

## 3.11.5. Frentes de trabajo

Una vez que se tienen identificados los tramos de colectores en cada una de las zonas, se procede a establecer gráficamente los frentes de trabajo.

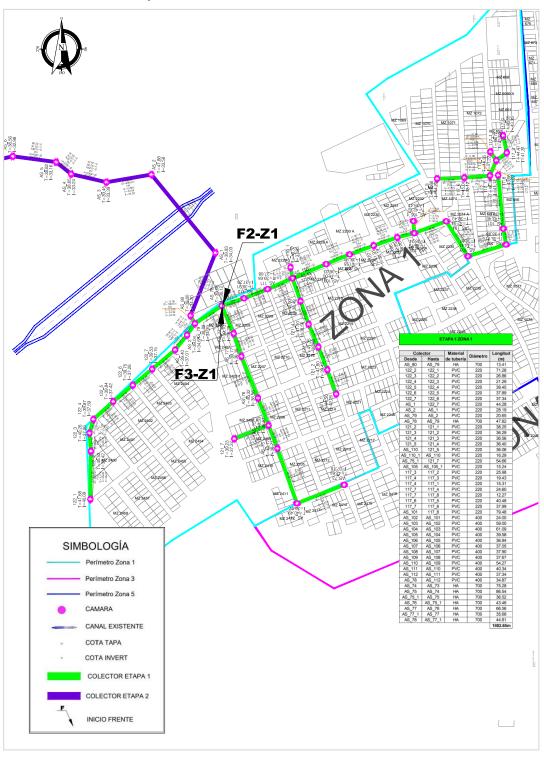
En la Figura 6 se visualiza el Frente 1 de la Zona que detallan los 5 tramos de colectores a intervenir.

Figura 6 Plano 1 de colectores Etapa 1 – Zona 1



En la figura 7 se aprecian los 46 tramos de colectores entre los frentes # 2 y # 3 que incluyen 1802,65 metros lineales de tuberías de PVC de 220 y 400 mm y de hormigón armado de 700 mm.

Figura 7 Plano 2 de colectores Etapa 1 – Zona 1



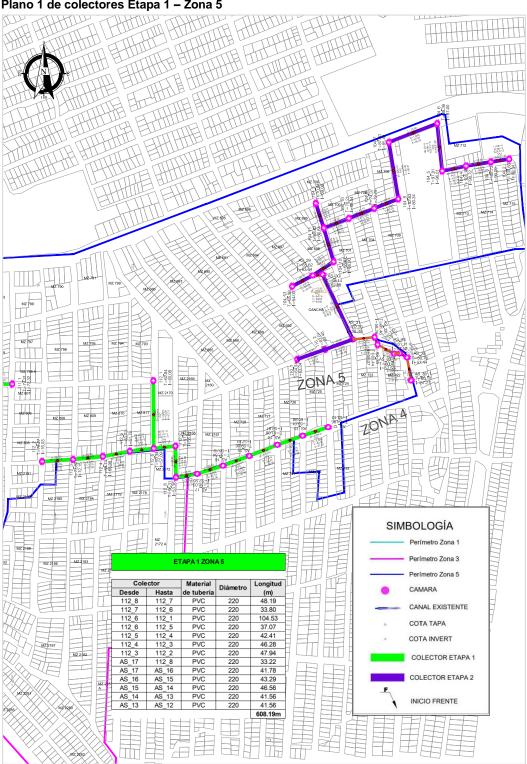
En la figura 8 se aprecian los tramos de colectores entre los frentes # 1 y # 2 de la Zona 3 que incluyen 739,19 metros lineales de tuberías de PVC de 220 mm y de hormigón armado de 700 mm.

SIMBOLOGÍA ETAPA 1 ZONA 3 COTA TAPA COTA INVERT INICIO FRENTE

Figura 8
Plano 1 de colectores Etapa 1 – Zona 3

En la figura 9 se aprecian los tramos de colectores del frente # 3 de la Zona 5 que incluyen 608,19 metros lineales de tuberías de PVC de 220 mm.

Figura 9 Plano 1 de colectores Etapa 1 – Zona 5



En la figura 10 se aprecian los tramos de colectores de los frentes # 1 y # 2 de la Zona 5 que incluyen 1492,69 metros lineales de tuberías de PVC de 220, 250 y 335 mm.

Plano 2 de colectores Etapa 1 - Zona 5 MZ 2292 MZ 763 MZ 764 MZ 812 MZ 766 MZ 768 MZ\767 MZ 1071 170 **F2**-MZ 2192 SIMBOLOGÍA F1 - Z5 Perímetro Zona 1 Perímetro Zona 3 Perímetro Zona 5 CAMARA CANAL EXISTENTE MZ 1079 COTA TAPA COTA INVERT COLECTOR ETAPA 1 **COLECTOR ETAPA 2** INICIO FRENTE

Figura 10

#### 3.11.6. Look Ahead Planning

La figura 11 representa la secuencia lógica de actividades del proyecto mediante la utilización del Software MS Project, en una ventana de tiempo de 5 semanas.

Figura 11 Look Ahead Planning en base a la sectorización del proyecto

Elaborado por: Arroyo (2024)

#### 3.11.7. Análisis de Restricciones

Una vez definidas las actividades a ejecutarse, se debe identificar las restricciones que podrían convertirse en cuellos de botella y generar un incremento en costo y tiempo. Además de asignar un responsable que hará seguimiento a las medidas propuestas para liberar las restricciones identificadas en cada actividad.

Las principales restricciones encontradas en el proyecto para las actividades de colectores principales y secundarios se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7
Principales Restricciones del Proyecto para las actividades de Colectores Principales y secundarios

ACTIVIDAD	TIPO DE RESTRICCION	DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	RESPONSABLE	MEDIDA PROPUESTA	STIONES LIZADAS
COMPROMISO CIUDADANO	RREG	Falta de liberación de área de trabajo	Relacionador comunitario	Actividades de socialización del proyecto con la comunidad	Terminado
1. MATERIALES					
1.1. SUMINISTRO					
1.1.1. SUMINISTRO DE TUBERÍA PARA COLECTORES					
TUBO PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D INT 350 MM SERIE 5	2250	Pendiente de aprobación del	Especialista de	Planificar y ejecutar los	- · ·
TUBERÍA DE HA D=33" CLASE III (INCLUYE NEOPRENO)	RREG	material por parte de Fiscalización	Control de Calidad	ensayos respectivos en planta	Terminado
1.1.2. SUMINISTRO DE TUBERÍA PARA TIRANTES					
TUBERÍA DE PVC DE DOBLE PARED ESTRUCTURADA PARA ALCANTARILLADO, D INTERIOR=200 MM, SERIE 6 (TUBOS DE 6 M). (*)	RREG	Pendiente de aprobación del material por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Planificar y ejecutar los ensayos respectivos en planta	Terminado
2. OBRA CIVIL					
2.1. INSTALACIÓN.					
2.1.1. ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA					
ELABORACIÓN DE PLANOS AS BUILT (INCLUYE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO).	RREG	Falta de dibujante con certificación de Interagua	Especialista en Programación y Control	Realizar controles de seguimiento semanal	Terminado
FOTOGRAFÍA DE OBRA.	RREG	Falta de fotografías con membrete (coordenadas, fecha, hora, etc.)	Especialista en Programación y Control	Realizar controles de seguimiento semanal	Terminado
PLANOS DE ESQUINEROS PARA AA.SS. O AA.LL (INCLUYE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y DIBUJO)	RREG	Falta de dibujante con certificación de Interagua	Especialista en Programación y Control	Realizar controles de seguimiento semanal	Terminado
CENSO DE CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AA.SS.	RREG	Falta de proveedor calificado	Especialista en Programación y Control	Realizar controles de seguimiento semanal	Terminado
2.1.2. PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEOS.					
PREPARACIÓN DEL SITIO, REPLANTEO DE LA OBRA PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	RRH	Falta de personal calificado (Topógrafo y cadenero)	Especialista en Programación y Control	Realizar controles de seguimiento semanal	Terminado
2.1.3. EXCAVACIÓN Y RELLENO.					
EXCAVACIÓN A MANO HASTA 1.50 M DE PROFUNDIDAD	RCL	Presencia de Iluvias anticipadas por Fenómeno del Niño	Especialista en Programación y Control /	Planificar trabajos con rendimientos considerando época invernal	Terminado

ACTIVIDAD	TIPO DE RESTRICCION	DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	RESPONSABLE	MEDIDA PROPUESTA	STIONES LIZADAS
EXCAVACIÓN A MÁQUINA HASTA 2.00M DE PROFUNDIDAD			Residente de Obra		Terminado
EXCAVACIÓN A MÁQUINA MAYOR A 2.00M HASTA 3.50M DE PROFUNDIDAD					Terminado
EXCAVACIÓN A MÁQUINA MAYOR A 3.50M DE PROFUNDIDAD	REQU	Falta de equipos para atender frentes de obra	Especialista en Programación y Control	Consultar con proveedores disponibilidad de equipos	Terminado
EXCAVACIÓN A MÁQUINA EN SUELO DURO MAYOR A 2.00M HASTA 3.50M DE PROFUNDIDAD					Terminado
EXCAVACIÓN EN ROCA CLASE A HASTA 2 M. DE PROFUNDIDAD	RT	Avance no acorde a	Residente de	Realizar controles de	Terminado
EXCAVACIÓN EN ROCA CLASE C HASTA 2.00 M DE PROFUNDIDAD	KI	lo planificado	Obra	seguimiento semanal	Terminado
DESALOJO DE MATERIAL DE HASTA 10 KM. (INCLUYE ESPONJAMIENTO)					Terminado
DESALOJO DE MATERIAL DE 10,01 KM. A 20 KM (INCLUYE ESPONJAMIENTO)	RACC	Ubicación de botadero	Especialista en Mediomabiente, Seguridad y Salud Ocupacional	Gestionar el permiso de botadero	Terminado
DESALOJO DE MATERIAL DE 20,01 KM. A 30 KM (INCLUYE ESPONJAMIENTO)					Terminado
REPLANTILLO Y RECUBRIMIENTO DE PIEDRA GRADUADA DE 1/2" - 3/4" COMPACTADO	RACC				Terminado
RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL DEL LUGAR	RACC	Pendiente de aprobación del material por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Planificar y ejecutar los ensayos respectivos en planta	Terminado
RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL CASCAJO IMPORTADO.	RACC				Terminado
BOMBEO DE D=4"	PEOLI	Falta de equipos para atender frentes	Especialista en	Consultar con proveedores	Terminado
BOMBEO NOCTURNO DE D=4"	REQU	de obra	Programación y Control	disponibilidad de equipos	Terminado
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PÌEDRA BASE > 15CM (PARA MEJORAMIENO DE SUELO)	RACC	Pendiente de aprobación del material por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Planificar y ejecutar los ensayos respectivos en planta	Terminado
ENTIBADO DE PROTECCIÓN A PARTIR DE 1.50 M DE PROFUNDIDAD.					Terminado
TABLESTACA METÁLICA PARA EXCAVACIONES A PARTIR DE 2.01 HASTA 3.50 METROS DE PROFUNDIDAD PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Planificar el suministro adecuado de las tablestacas y entibados en función de los frentes de trabajo	Terminado
TABLESTACA METÁLICA PARA EXCAVACIONES A PARTIR DE 3.51 HASTA 5.00 METROS DE PROFUNDIDAD PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO					Terminado
2.1.4. INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA COLECTORES.					
TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D=200 -220 MM. PARA COLECTOR.	RT	Incumplimiento avance de obra	Residente de Obra / Especialista en Programación y Control	Controlar avance semanal	Terminado

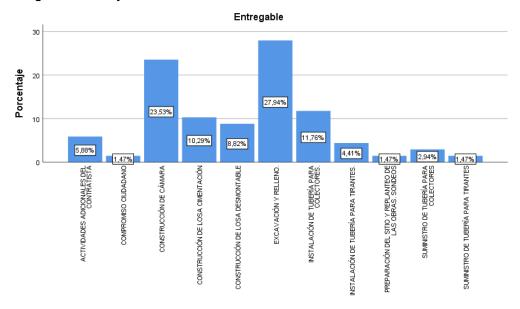
ACTIVIDAD	TIPO DE RESTRICCION	DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	RESPONSABLE	MEDIDA PROPUESTA	STIONES LIZADAS
PRUEBA DE ESTANQUEIDAD DE TUBERÍA PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D=200 - 220 MM.	RRH	Falta de mano de obra calificada	Residente de Obra	Contratar personal calificado	Terminado
TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D=400 MM. PARA COLECTOR.	RT	Incumplimiento avance de obra	Residente de Obra / Especialista en Programación y Control	Controlar avance semanal	Terminado
PRUEBA DE ESTANQUEIDAD DE TUBERÍA PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D=400 MM.	RRH	Falta de mano de obra calificada	Residente de Obra	Contratar personal calificado	Terminado
INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE HA DE D=33"	RT	Incumplimiento avance de obra	Residente de Obra / Especialista en Programación y Control	Controlar avance semanal	Terminado
INSPECCIÓN CCTV DE COLECTORES DESDE 200 MM HASTA 400 MM INCLUYE DOCUMENTACION	REQU	Falta de equipos (del subcontratista) para atender frentes de obra	Especialista en Programación y Control	Consultar con proveedores disponibilidad para realizar pruebas	Terminado
INSPECCIÓN CCTV DE COLECTORES DESDE 825 MM HASTA 1500 MM INCLUYE DOCUMENTACION	REQU	Falta de equipos (del subcontratista) para atender frentes de obra	Especialista en Programación y Control	Consultar con proveedores disponibilidad para realizar pruebas	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN CÁMARA DE CAÍDA DE 8"	RREG	Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar el diseño de hormigón a la planta, realizar visita a planta de hormigones y a laboratorios junto con la fiscalización	Terminado
2.1.5. INSTALACIÓN DE TUBERÍA PARA TIRANTES.					
TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D-200 -220 MM. PARA TIRANTE	RT	Incumplimiento avance de obra	Residente de Obra / Especialista en Programación y Control	Controlar avance semanal	Terminado
PRUEBA DE ESTANQUEIDAD DE TUBERÍA PVC RÍGIDO DE PARED ESTRUCTURADA E INTERIOR LISA D=200 - 220 MM.	RRH	Falta de mano de obra calificada	Residente de Obra	Contratar personal calificado	Terminado
INSPECCIÓN CCTV DE RAMALES DOMICILIARIOS, TIRANTES Y CRUCES INCLUYE DOCUMENTACION	REQU	Falta de equipos (del subcontratista) para atender frentes de obra	Especialista en Programación y Control	Consultar con proveedores disponibilidad para realizar pruebas	Terminado
2.1.8. CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA TIPO I_A					
EXCAVACIÓN A MANO HASTA 1.50 M DE PROFUNDIDAD	RCL	Presencia de Iluvias anticipadas por Fenómeno del Niño	Especialista en Programación y Control / Residente de Obra	Planificar trabajos con rendimientos considerando época invernal	Terminado
EXCAVACIÓN A MÁQUINA HASTA 2.00M DE PROFUNDIDAD	REQU	Falta de equipos para atender frentes de obra	Especialista en Programación y Control	Consultar con proveedores disponibilidad de equipos	Terminado
EXCAVACIÓN A MÁQUINA MAYOR A 2.00M HASTA 3.50M DE PROFUNDIDAD	RT	Avance no acorde a lo planificado	Residente de Obra	Realizar controles de seguimiento semanal	Terminado
DESALOJO DE MATERIAL DE HASTA 10 KM. (INCLUYE ESPONJAMIENTO)	RACC	Ubicación de botadero	Especialista en Mediomabiente, Seguridad y Salud Ocupacional	Gestionar el permiso de botadero	Terminado
RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL DEL LUGAR	RREG	Pendiente de aprobación del material por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Planificar y ejecutar los ensayos respectivos (proctor, granulometría, IP)	Terminado
ENTIBADO DE PROTECCIÓN A PARTIR DE 1.50 M DE PROFUNDIDAD.	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Planificar el suministro adecuado de las tablestacas y entibados en función de los frentes de trabajo	Terminado

ACTIVIDAD	TIPO DE RESTRICCION	DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	RESPONSABLE	MEDIDA PROPUESTA	 STIONES LIZADAS
TABLESTACA METÁLICA PARA EXCAVACIONES A PARTIR DE 2.01 HASTA 3.50 METROS DE PROFUNDIDAD PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO					Terminado
HORMIGÓN SIMPLE F'C 280 KG/CM2 PARA ESTRUCTURAS CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE- ACELERANTE 1% DEL PESO DEL CEMENTO (INCLUYE ENCOFRADO)	RREG	Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar el diseño de hormigón a la planta, realizar visita a planta de hormigones y a laboratorios junto con la fiscalización	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ARMADURAS PARA ESTRUCTURAS HASTA 3,00 METROS DE ALTURA	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ARMADURAS PARA ESTRUCTURAS MAYORES A 3,01 METROS DE ALTURA	RREG	Pendiente de aprobación de los procesos industrializados de corte, doblado y armado de cámaras en planta parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Entregar los diseños de las cámaras a la planta, realizar visita a planta con la fiscalización para verificar los procesos de corte, doblado y armado de cámaras	Terminado
IMPERMEABILIZANTE POR CRISTALIZACIÓN PARA HORMIGÓN FRESCO	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)	Terminado
ADITIVO ADHESIVO EPÓXICO PARA LIGAR HORMIGÓN NUEVO CON EXISTENTE	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)	Terminado
IMPERMEABILIZACIÓN ASFÁLTICA MÁS IMPRIMANTE.	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CINTA PVC 0-15 CM PARA JUNTAS DE CONSTRUCCION.	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)	Terminado
BOMBEO DE D=4"	REQU	Falta de equipos para atender frentes de obra	Especialista en Programación y Control	Consultar con proveedores disponibilidad de equipos	Terminado
BOMBEO NOCTURNO DE D=4"		30 05/4	33		Terminado
2.1.8.1. CONSTRUCCIÓN DE LOSA CIMENTACIÓN					
RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL CASCAJO GRUESO (PIEDRAS > 15 CM)	RREG	Pendiente de aprobación del material por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Planificar y ejecutar los ensayos respectivos (proctor, granulometría, IP)	Terminado
REPLANTILLO DE HS F'C=140 KG/CM2	RREG	Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar el diseño de hormigón a la planta, realizar visita a planta de hormigones y a laboratorios junto con la fiscalización	Terminado
HORMIGÓN SIMPLE F'C 280 KG/CM2 PARA ESTRUCTURAS CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE- ACELERANTE 1% DEL PESO DEL CEMENTO (INCLUYE ENCOFRADO)	RREG	Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar el diseño de hormigón a la planta, realizar visita a planta de hormigones y a laboratorios junto con la fiscalización	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ARMADURAS PARA ESTRUCTURAS HASTA 3,00 METROS DE ALTURA	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ARMADURAS PARA ESTRUCTURAS MAYORES A 3,01 METROS DE ALTURA	RREG	Pendiente de aprobación de los procesos industrializados de corte, doblado y armado de cámaras en planta parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Entregar los diseños de las cámaras a la planta, realizar visita a planta con la fiscalización para verificar los procesos de corte, doblado y armado de cámaras	Terminado

ACTIVIDAD	TIPO DE RESTRICCION	DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	RESPONSABLE	MEDIDA PROPUESTA		STIONES LIZADAS
SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE SELLADOR ELÁSTICO DE POLIURETANO DE ALTO DESEMPEÑO, PARA RECUBRIMIENTO DE TUBERÍAS	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)		Terminado
HORMIGÓN SIMPLE F'C=210 KG/CM2	RREG	Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar el diseño de hormigón a la planta, realizar visita a planta de hormigones y a laboratorios junto con la fiscalización		Terminado
2.1.8.2 CONSTRUCCIÓN DE LOSA DESMONTABLE						
HORMIGÓN SIMPLE F'C =280 KG/CM2 PARA ESTRUCTURAS HASTA 3 METROS DE ALTURA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE-ACELERANTE 1% DEL PESO DEL CEMENTO Y ADITIVO EN POLVO CON SÍLICE-FUME 5% DEL PESO DEL CEMENTO (INC. ENCOFRADO)	RREG	Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar el diseño de hormigón a la planta, realizar visita a planta de hormigones y a laboratorios junto con la fiscalización	-Commi	Terminado
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ARMADURAS PARA ESTRUCTURAS.	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)		Terminado
SUMINISTRO Y MÁQUINACIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO ASTM A- 36 PARA TUBERÍAS, BRIDAS Y ACCESORIOS INCLUYE SANDBLASTING, CON RECUBRIMIENTO GALVANIZADO E=75 MICRAS EN CALIENTE.	RREG	Pendiente de aprobación de los procesos industrializados de corte, doblado y armado de cámaras en planta parte de Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Entregar los diseños de las cámaras a la planta, realizar visita a planta con la fiscalización para verificar los procesos de corte, doblado y armado de cámaras		Terminado
TAPA DE HIERRO DUCTIL DN 600 MM CLASE D 400 (*)	RREG	Pendiente de aprobación de las especificaciones de las tapas de HD por parte Fiscalización	Especialista de Control de Calidad	Solicitar al proveedor especificaciones de las tapas de HD, ensayos por lotes		Terminado
TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE LOSA DESMONTABLE	RP	Falta de equipo para movilizar las losas desmontables	Especialista en Programación y Control	Planificar el equipo (retroexcavadora para el transporte de las losas desmontables)		Terminado
SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE MORTERO EXPANSIVO	RP	Falta de materiales por frente	Especialista en Programación y Control	Entregar a el proveedor los requerimientos con tiempo (JIT)		Terminado

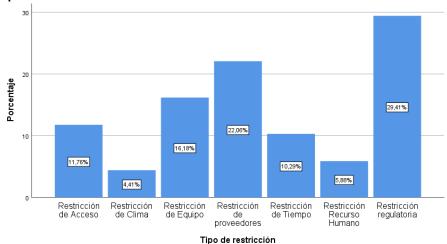
Del análisis de restricciones a las actividades que conforman los colectores principales y secundarios, se identificaron 68 restricciones, de los cuales el 27,94% se encuentran en el entregable Excavación y Relleno, 23,53% a la construcción de cámaras, 11,73% a la instalación de tuberías para colectores, 10,29% a la construcción de losa de cimentación, 8,82 % a la construcción de losa desmontable y el 17,69% equivalente a trabajos preliminares, compromiso ciudadano, instalación de tuberías para tirantes, sondeos, etc., como se detalla en la Figura 12.

Figura 12 Entregables del Proyecto



Se clasificaron las 68 restricciones por tipo, donde el 29,41% corresponden a restricciones regulatorias (cumplimiento de especificaciones técnicas, normas, diseño, entre otras), 22,06% a restricciones de proveedores (aprobación de proveedores, cumplimiento de tiempos, etc.), 16,18% a restricción de equipos (disponibilidad de equipos), 11,76% restricción de accesos (acceso al proyecto, a canteras, botaderos, etc.) como se detalla en la Figura 13.

Figura 13 Tipo de Restricción



De las 68 restricciones la Falta de materiales por frente fue la de mayor peso con el 20,59%, materiales pendientes de aprobación por parte de fiscalización con el 13,24%, falta de equipos por frente con el 11,76% como se detalla en la Figura 14, las cuales fueron atendidas y liberadas antes del inicio de los trabajos.

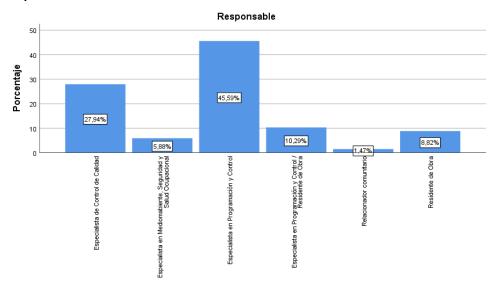
Descripción de la restricción 20 Porcentaje 20,59% 13,24% 11,76% 4,41% 4,41% 4,41% 4,41% 2,94% Pendiente de aprobación del diseño de hormigón por parte de Fiscalización Pendiente de aprobación del material por parte de Fiscalización Fatta de materiales por frente Fatta de equipo para movilizar las losas desmontables Fatta de equipos para atender frentes de obra Fatta de mano de obra calificada Fatta de personal calificado (Topógrafo) cadenero ralta de fotografías con membrete (coorden: fecha, hora,

Figura 14 Descripción de la restricción

Elaborado por: Arroyo (2024)

Cabe resaltar que para garantizar la liberación de restricciones la mayor concentración de supervisión de las mismas recae en el Especialista en Programación y Control con el 55,88% y en el Especialista de Control de Calidad con el 27,94%, como se aprecia en la Figura 15. Con ello asegurando que el 84% de las restricciones no se vuelvan cuellos de botella y certificando que se cumpla con los tiempos y costos establecidos y optimizando recursos.

Figura 15 Responsable de liberar las restricciones



## 3.11.8. Tren de actividades

El tren de actividades definidos por tramos de colectores por frentes de trabajo permite la optimización de los recursos como equipos y personal garantizando un flujo continuo y eficiente de trabajo, como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8
Tren de trabajo con optimización de recursos (16 octubre al 31 de diciembre de 2023)

2023											
Nombre de tarea	Semana 16 -22 oct	Semana 23 -29 oct	Semana 30 oct - 5 nov	Semana 6 -12 nov	Semana 13 -19 nov	Semana 20 -26 nov	Semana 27 nov - 3 dic	Semana 4 - 10 dic	Semana 11 - 17 dic	Semana 18 - 24 dic	Semana 25 - 31 dic
CONSTRUCCIÓN DE REDES DE LAS ZONAS 1, 3 Y 5 DEL ALCANTARILLADO SANITARIO DEL SISTEMA 3- FASE 3	693h	1,637h	1,221h	2,413h	2,875h	2,523h	2,259h	3,059h	3,023h	2,603h	1,669h
Inicio											
Trabajos de construcción	693h	1,637h	1,221h	2,413h	2,875h	2,523h	2,259h	3,059h	3,023h	2,603h	1,669h
Zona 1	198h	902h	726h	1,326h	1,568h	1,200h	992h	1,888h	1,749h	1,369h	855h
Zona 1 - Frente 1 (Colectores)		336h	264h	392h	392h	24h		384h	392h	312h	
Colector AS_10 hasta AS_8		336h	264h	392h	392h	24h					
Excavadora # 1		42h	33h	49h	49h	3h					
Retroexcavadora # 1		42h	33h	49h	49h	3h					
Tubero # 1		42h	33h	49h	49h	3h					
Topografo # 1		42h	33h	49h	49h	3h					
Oficial # 1		42h	33h	49h	49h	3h					
Oficial # 2		42h	33h	49h	49h	3h					
Oficial # 3		42h	33h	49h	49h	3h					
Oficial # 4		42h	33h	49h	49h	3h					
Colector 80_1 hasta AS_79								384h	392h	312h	
Excavadora # 1								48h	49h	39h	
Retroexcavadora # 1								48h	49h	39h	
Tubero # 1								48h	49h	39h	
Topografo # 1								48h	49h	39h	
Oficial # 1								48h	49h	39h	
Oficial # 2								48h	49h	39h	
Oficial # 3								48h	49h	39h	
Oficial # 4								48h	49h	39h	
Colector AS_1 hasta 80_1											
Excavadora # 1											
Retroexcavadora # 1											
Tubero # 1											
Topografo # 1											

	2023												
Nombre de tarea	Semana 16 -22 oct	Semana 23 -29 oct	Semana 30 oct - 5 nov	Semana 6 -12 nov	Semana 13 -19 nov	Semana 20 -26 nov	Semana 27 nov - 3 dic	Semana 4 - 10 dic	Semana 11 - 17 dic	Semana 18 - 24 dic	Semana 25 - 31 dic		
Oficial # 1													
Oficial # 2													
Oficial # 3													
Oficial # 4 Zona 1 - Frente 2 (Colectores)		272h	264h	392h	392h	392h	392h	392h	320h				
Colector AS_8 hasta AS_3		272h	264h	392h	392h	392h	392h	392h	320h				
Excavadora # 2		34h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	40h				
Retroexcavadora # 2		34h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	40h				
Tubero # 2		34h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	40h				
Topografo # 2 Oficial # 5		34h 34h	33h 33h	49h	49h 49h	49h 49h	49h	49h 49h	40h 40h				
Oficial # 6		34n 34h	33h	49h 49h	49h	49h	49h 49h	49h 49h	40h				
Oficial # 7		34h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	40h				
Oficial # 8		34h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	40h				
Zona 1 - Frente 3 (Colectores)				160h	392h	392h	208h			336h	240h		
Colector AS_17 hasta 16_1				160h	392h	392h	208h						
Excavadora # 3 Retroexcavadora # 3				20h 20h	49h 49h	49h 49h	26h 26h						
Tubero # 3				20h	49h	49h	26h						
Topografo # 3				20h	49h	49h	26h						
Oficial # 9				20h	49h	49h	26h						
Oficial # 10				20h	49h	49h	26h						
Oficial # 11				20h	49h	49h	26h						
Oficial # 12  Colector 16_1 hasta AS_16				20h	49h	49h	26h			336h	240h		
Excavadora # 3										42h	30h		
Retroexcavadora # 3										42h	30h		
Tubero # 3										42h	30h		
Topografo # 3										42h	30h		
Oficial # 9										42h	30h		
Oficial # 10 Oficial # 11										42h 42h	30h 30h		
Oficial # 12										42h	30h		
Colector AS_15 hasta AS_14										12.11	00.1		
Excavadora # 3													
Retroexcavadora # 3													
Tubero # 3													
Topografo # 3 Oficial # 9													
Oficial # 10													
Oficial # 11													
Oficial # 12													
Zona 1 - Frente 4 (Perforación Horizontal Dirigida)				88h	98h	98h	98h	98h	80h	84h	82h		
Colector AS_16 hasta AS_15				88h	98h	98h	98h	98h	80h				
Subcontrato PHD  Excavadora # 4				44h 44h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	40h 40h				
Colector AS_2 hasta AS_1				440	4911	4911	4911	4911	40h	84h	82h		
Subcontrato PHD										42h	41h		
Excavadora # 4										42h	41h		
Zona 1 - Frente 5 (Colectores)								384h	320h				
Colector AS_3 hasta AS_2								384h	320h				
Excavadora # 5 Retroexcavadora # 6	<del>                                     </del>							48h 48h	40h 40h				
Tubero # 6	-							48h	40h				
Topografo # 6								48h	40h				
Oficial # 19								48h	40h				
Oficial # 20								48h	40h				
Oficial # 21								48h	40h				
Oficial # 22 Zona 1 - Frente 1 (Terciarias)	198h	294h	198h	294h	294h	294h	294h	48h 294h	40h 294h	294h	246h		
Ramales domiciliarios	198h	294h	198h	294h	294h	294h	294h	294h	294h	294h	246h		
Retroexcavadora # 4	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Tubero # 4	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Oficial # 13	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Oficial # 14	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Oficial # 15	33h	49h 49h	33h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	49h 49h	41h 41h		
Topografo # 4  Zona 1 - Frente 2 (Terciarias)	33h	49n	33h	49n	49n	49n	49n	49h 336h	49h 343h	49h 343h	41h 287h		
Ramales domiciliarios								336h	343h	343h	287h		
Retroexcavadora # 5								48h	49h	49h	41h		
Tubero # 5								48h	49h	49h	41h		
Plomero # 2								48h	49h	49h	41h		
Oficial # 16	<u> </u>	-						48h	49h	49h	41h		
Oficial # 17 Oficial # 18	<del>                                     </del>							48h 48h	49h 49h	49h 49h	41h 41h		
Topografo # 5	<del>                                     </del>							48h	49h	49h	41h		
Zona 3	495h	735h	495h	1,087h	1,307h	1,323h	1,267h	835h	735h	735h	527h		

	2023												
Nombre de tarea	Semana 16 -22 oct	Semana 23 -29 oct	Semana 30 oct - 5 nov	Semana 6 -12 nov	Semana 13 -19 nov	Semana 20 -26 nov	Semana 27 nov - 3 dic	Semana 4 - 10 dic	Semana 11 - 17 dic	Semana 18 - 24 dic	Semana 25 - 31 dic		
Zona 3 - Frente 1 (Colectores)	264h	392h	264h	392h	392h	392h	336h						
Colector AS_68 hasta AS_66'	264h	392h	264h	392h	392h	392h	336h						
Excavadora # 5	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Retroexcavadora # 6	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Tubero # 6	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Topografo # 6	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Oficial # 19	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Oficial # 20	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Oficial # 21	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Oficial # 22	33h	49h	33h	49h	49h	49h	42h						
Zona 3 - Frente 2 (Colectores)				352h	392h	392h	392h	392h	392h	392h	240h		
Colector AS_66' hasta AS_60				352h	392h	392h	392h	392h	392h	392h	240h		
Excavadora # 6				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Retroexcavadora # 7				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Tubero # 7				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Topografo # 7				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Oficial # 23				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Oficial # 24				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Oficial # 25				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Oficial # 26				44h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	30h		
Zona 3 - Frente 3 (MANUAL)					180h	196h	196h	100h					
Colector 113_3 hasta 113_1					180h	196h	196h	100h					
Tubero # 8					45h	49h	49h	25h					
Oficial # 27					45h	49h	49h	25h					
Oficial # 28					45h	49h	49h	25h					
Oficial # 29					45h	49h	49h	25h					
Zona 3 - Frente 1 (Terciarias)	231h	343h	231h	343h	343h	343h	343h	343h	343h	343h	287h		
Ramales domiciliarios	231h	343h	231h	343h	343h	343h	343h	343h	343h	343h	287h		
Retroexcavadora # 8	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Tubero # 9	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Plomero # 3	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Topografo # 8	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Oficial # 30	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Oficial # 31	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Oficial # 32	33h	49h	33h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	49h	41h		
Zona 5								336h	539h	499h	287h		
Zona 5 - Frente 1 (MANUAL)									196h	156h			
Colector 104_12 hasta AS_29									196h	156h			
Tubero # 8									49h	39h			
Oficial # 27									49h	39h			
Oficial # 28									49h	39h			
Oficial # 29									49h	39h			
Zona 5 - Frente 1 (Terciarias)								336h	343h	343h	287h		
Ramales domiciliarios								336h	343h	343h	287h		
Retroexcavadora # 9								48h	49h	49h	41h		
Tubero # 10								48h	49h	49h	41h		
Plomero # 4								48h	49h	49h	41h		
Topografo # 9								48h	49h	49h	41h		
Oficial # 33								48h	49h	49h	41h		
Oficial # 34								48h	49h	49h	41h		
Oficial # 35								48h	49h	49h	41h		

## 3.11.9. Programación Semanal de hormigonado para cámaras

El hormigonado de cámaras fue identificado en el análisis de restricciones, por lo que se tuvo que definir primero la planta de donde se despacharía el hormigón, esto para garantizar la resistencia de diseño. Luego se realizó la programación semanal, la cual siempre se confirmaba el viernes de la semana anterior con el vendedor de hormigones y se comunicaba a la fiscalización para que pudiera constatar en obra con la guía de los camiones de concreto (mixer): la resistencia de diseño y revenimiento del concreto.

En la Tabla 9 se puede apreciar un ejemplo de la planificación semanal enviada al proveedor de hormigón.

Tabla 9
Planificación semanal de hormigonado de cámaras (15 al 20 de noviembre)

Fecha	Cámara	Tipo Cámara	Volumen m3	Elemento	Total volumen por día (m3)	Mixer	Cilindros	Observaciones
	AS_105-1	1B	0.88	1er cuerpo				
Lunes	AS_110	1B	1.584	2do y remate	3.50	1	3	1 mixer 3.50 m3
15/11/2022	AS_96	1B	0.48	remate	3.50	'	3	i illixei 3.30 ili3
	AS_116-2	1A	0.55	solera				
	AS_10	3C	0.72	losa superior				
	AS_9	3C	2.70	1er cuerpo				
	AS_93	1B	0.92	1er cuerpo				
Miércoles 16-11-2022	AS_104	1B	0.92	1er cuerpo	7.42	2	3	1 mixer 4 m3 - 1 mixer 3.50 m3
	AS_3	2C	0.72	solera				
	AS_68	2B	0.72	solera				
	AS_77	2B	0.72	solera				
	116-1	1A	0.24	losa desmontable				
	AS_96	1B	0.43	losa desmontable				
Jueves 17- 11-2022	AS_11	3C	0.43	losa desmontable	1.96	1		1 mixer 2.00m3
	AS_10	3C	0.43	losa desmontable				
	AS_73	2C	0.43	losa desmontable				
	AS_3	2C	1.06	1er cuerpo				
	AS_68	2B	0.84	1er cuerpo		1		
	AS_77	2B	0.84	1er cuerpo				
Viernes 18- 11-2022	AS_10	3C	2.02	2do y 3er cuerpo	6.32			1 mixer 6.50 m3
	118-7	1A	0.52	solera				
	118-5	1A	0.52	solera				
	118-3	1A	0.52	solera				
	116-2	1A	0.24	losa desmontable				
	AS_71	2B	0.43	losa desmontable				
Sábado 19- 11-2022	AS_70	2B	0.43	losa desmontable	1.96	1		1 mixer 2.00m3
	AS_109	1B	0.43	losa desmontable				
	AS_95	1B	0.43	losa desmontable				
			Total volun	21.16		•		

Dentro de los desperdicios identificados en Lean Construction está los errores y los retrabajos, para lo cual se llevó un control estricto en los hormigonados de colectores, para lo cual se tomaron cilindros y se realizó la prueba a la compresión a los 7, 14 y 28 días, constatando el cumplimiento de la resistencia de diseño y garantizando la estructura del elemento de hormigón.

En la Tabla 10 se aprecia un ejemplo del control llevado al concreto vertido en las cámaras detalladas en la misma tabla.

Tabla 10
Control de calidad de hormigones

Item	Fecha De Toma	Fecha De Rotura	Número De Días	Tipo De H. Simple	Identificación	Resistencia De Diseño (Kg/Cm²)	Nro. De Cilindro	Promedio De Resultados ( %)		ultados	Valor Real	Valor Permitido	Observaciones					
nem	De Muestra	De Muestra	Para Rotura	Premezclado / Obra	En Sitio		Tomado	7 días	14 días	28 días	( %)	Norma (%)	Observaciones					
		09-nov- 2022	7 días		Cámara: AS-97 (1B) 2°		1	276.00			98.57%	65.00%	SI CUMPLE					
6	02-nov-	16-nov- 2022	14 días	PREMEZCLADO	Cuerpo, AS-94 (1B) 1° Cuerpo, AS-11 (2C) Remate, AS-13 (3B) Losa	280	2		295.00		105.36%	85.00%	SI CUMPLE					
0	2022	30-nov- 2022	28 días	PREMIEZOLADO	Superior, AS-106 (1B) Solera, AS-105 (1B) Solera,	280	3			319.00	113.93%	100.00%	SICUMPLE					
		30-nov- 2022	28 días		AS-108 (1B) 1° Cuerpo		4			316.00	112.86%	100.00%	SI CUMPLE					
		22-nov- 2022	7 días		Cámara: AS-109 (1B) 2°	ara: (1B) 2°	1	299.00			106.79%	65.00%	SI CUMPLE					
7	15-nov- 2022	29-nov- 2022	14 días	PREMEZCLADO	Cuerpo, 105-1 (1B) 1° Cuerpo, AS-96 (1B) Remate	280	2		312.00		111.43%	85.00%	SI CUMPLE					
		13-dic- 2022	28 días				3			388.00	138.57%	100.00%	SI CUMPLE					
		23-nov- 2022	7 días		Cámara: AS-104 (1B) 1° Cuerpo,		1	260.00			92.86%	65.00%	SI CUMPLE					
8	16-nov- 2022	30-nov- 2022	14 días	PREMEZCLADO	AS-3 (2C) Solera, AS-107 (1B) 1° Cuerpo,	AS-3 (2C) Solera, AS-107 (1B) 1° Cuerpo,	Solera, AS-107 (1B) 1°	AS-3 (2C) Solera, AS-107 (1B) 1° Cuerpo,	Solera, AS-107 (1B) 1° Cuerpo,	Solera, AS-107 (1B) 1° Cuerpo,	280	2		283.00		101.07%	85.00%	SI CUMPLE
		14-dic- 2022	28 días		Cuerpo, AS-68 (2B) Solera		3			352.00	125.71%	100.00%	SI CUMPLE					
		03-dic- 2022	7 días		LOSA		1	255.00			91.07%	65.00%	SI CUMPLE					
9	26-nov- 2022	10-dic- 2022	14 días	PREMEZCLADO	DESMONTABLE (f'c=280 kg/cm2 + microsilice) para cámaras Tipo 1A (1 unidad) + Tipo 1B (4 unidades)	(f'c=280 kg/cm2 + microsílice) para cámaras Tipo 1A (1	(f'c=280 kg/cm2 + microsílice) para cámaras Tipo 1A (1	280	2		282.00		100.71%	85.00%	SI CUMPLE			
		24-dic- 2022	28 días				3			293.00	104.64%	100.00%	SI CUMPLE					

Elaborado por: Arroyo (2024)

Se realizó un análisis estadístico de las pruebas realizadas en el periodo de octubre de 2022 a enero de 2024, en la Tabla 11 se puede apreciar que de los resultados de la prueba a la compresión simple a los 7 días da una media de 255,07

kg/cm2, a los 14 días 299,37 kg/cm2 (por encima de la resistencia de diseño) y a los 28 días una media de 333,24 kg/cm2 superando la resistencia requerida.

Tabla 11
Estadístico descriptivo de los Ensayos de Hormigón (octubre 2022 a enero 2024)

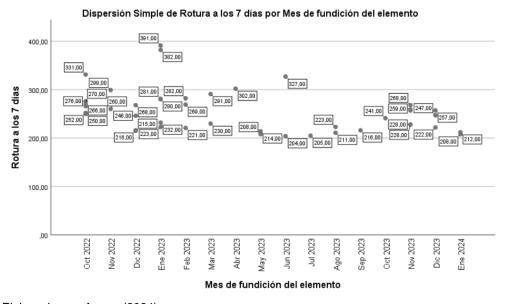
		Rotura a los 7 días	Rotura a los 14 días	Rotura a los 28 días
N	Válido	43	43	38
IN	Perdidos	1	1	6
Media		255,0698	299,3721	333,2368
Error estándar de la media		6,71079	6,68795	6,97419
Mediana		250,0000	289,0000	317,5000
Moda		208,00a	312,00	313,00a
Desv. Desviación		44,00562	43,85584	42,99179
Varianza		1936,495	1923,334	1848,294
Rango		187,00	233,00	201,00
Mínimo		204,00	246,00	283,00
Máximo		391,00	479,00	484,00
Suma		10968,00	12873,00	12663,00
	25	221,00	269,00	306,75
Percentiles	50	250,00	289,00	317,50
	75	276,00	312,00	352,25

Nota: a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Elaborado por: Arroyo (2024)

En la figura 16 se aprecia que de los resultados del ensayo a la compresión a los 7 días estos se encontraron en el rango de 204 kg/cm2 (72,86 % de la resistencia de diseño) a 391 kg/cm2 (139,64 % de la resistencia de diseño)

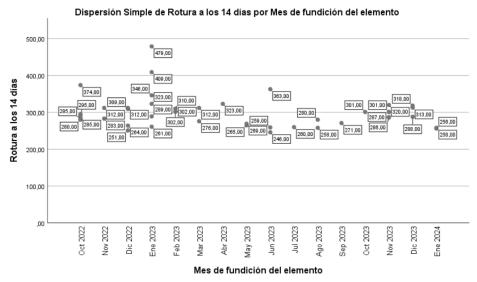
Figura 16
Resultado del ensayo a la compresión a los 7 días



Elaborado por: Arroyo (2024)

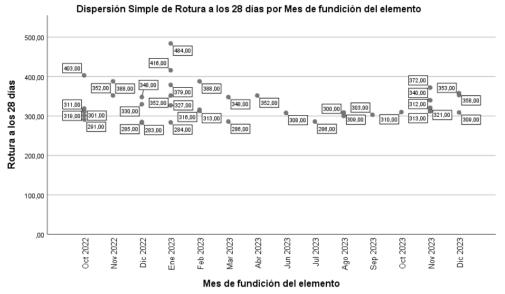
En la figura 17 se aprecia que de los resultados del ensayo a la compresión a los 14 días estos se encontraron en el rango de 246 kg/cm2 (87,86 % de la resistencia de diseño) a 479 kg/cm2 (171,07 % de la resistencia de diseño).

Figura 17 Resultado del ensayo a la compresión a los 14 días



En la figura 18 se aprecia que de los resultados del ensayo a la compresión a los 28 días estos se encontraron en el rango de 283 kg/cm2 (101,07 % de la resistencia de diseño) a 484 kg/cm2 (173,21 % de la resistencia de diseño)

Figura 18
Resultado del ensayo a la compresión a los 28 días



Elaborado por: Arroyo (2024)

Así mismo, se realizaron planificaciones semanales de las actividades de socialización del proyecto, donde se involucraba a la comunidad en actividades inherentes de la obra como se detalla en la tabla 12.

Tabla 12 Ejemplo de la Programación Semanal de la Gestión Social (Semana 26)

Fachs		ACT	IVIDADES GESTIÓN S	OCIAL	PU	NTO DE A	113_7 - 113_4	NITARIA
Martes 28/03/2023 - Miércoles 29/03/2023 - Jueves 30/03/2023 - Viernes 31/03/2023 - Wiernet 2: 104 rente 2: 104 rente 3: 113 rabajo de Gat erifoneo ( DP	TIPO	ZONA	UBICACIÓN	RESPONSABLE	HORARIO	ZONA	UBICACIÓN	RESPONSABLE
	TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 9h00 - 11h00 5 1  RC 3/5 3 Frentes activos (1) Soc. Marcela Miranda  DP 3/5 3 Frentes activos (1) Lcda. Lourdes Murillo  TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  Soc. Marcela Miranda 1  Lcda. Lourdes Murillo 1  Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 1  Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 1  TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  Soc. Marcela Miranda 1  Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 1  TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 1  Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 1  TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  Soc. Marcela Miranda 1  Lcda. Lourdes Murillo 1  TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 1  TG 1 Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) 1  TG 1 Coo							
27/03/2023		RC 3/5 3 Frentes activos (1) Soc. Marcela Miranda 9h00 - 11h00 5 113_7 - 1  RC 3/5 3 Frentes activos (1) Soc. Marcela Miranda 9h00 - 11h00 5 104_7-1  RC 3/5 3 Frentes activos (1) Soc. Marcela Miranda 9h00 - 11h00 5 104_7-1  RC 3/5 3 Frentes activos (1) Soc. Marcela Miranda 9h00 - 11h00 5 104_7-1  RC 3/5 3 Frentes activos (1) Lcda. Lourdes Murillo 104_7-1  Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 104_9-1  Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 104_9-1  Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) Lcda. Sara Alvarado 9h00 - 11h00 5 104_9-1  Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) Revisionez Alvarado 9h00 - 11h00 5 104_9-1  Coop. Reynaldo Quiñonez (Campamento) Revisionez Revisio						
	TG	1	Quiñonez		9h00 - 11h00	5	113_7 - 113_4	Lcda. Lourdes Murillo
26/03/2023					9h00 - 11h00	5	104_7- 104_6	Soc. Norma Heredia
Miércoles	RC	3/5	3 Frentes activos (1)					
29/03/2023								
	DP	3/5	3 Frentes activos (1)					
30/03/2023								
	TG	1	Quiñonez		9h00 - 11h00	5	104_9- 104_7	Soc. Norma Heredia
31/03/2023								
Frente 1: 10 Frente 2: 10 Frente 3: 11 Trabajo de Ga Perifoneo ( DF	semana 2 4_9- 104_ 4_4 - 104 3_8 - 113 abinete (T P): Se rec	_7 _2 / 104_7 _4 G): Se pro orrerá fren	7 - 104_6 cesa la información de la tes activos para recorda	as fichas y registro fo				en mantener
	PP	Socializa	ación puerta a puerta	AS	Reunión de So	cialización	/Asamblea	
	II		miento inventario inicial afectación directa)	MD	Mesas de Diálogo			
	PN	Äplicació negocios	ón ficha pequeños É	DP	Difusión / Perif	oneo		
	PC		ón ficha percepción	INV	Entrega convo	catorias/ ir	vitaciones	

#### 3.11.10. Avance mensual en tramos intervenidos

La Tabla 13 representa el avance en metros lineales para el mes de octubre de 2022 y porcentaje de avance del tramo de los colectores AS\_11 a AS\_13 y AS\_11 a AS\_10 de la zona 1 y los tramos de colectores AS\_98 a AS\_128\_1, AS\_128\_1 a AS\_128, AS\_98 a AS\_97 y AS\_97 a AS\_96 de la Zona 5, así como una representación gráfica en las Figuras 19 y 20.

TG

Trabajo de Gabinete

Tabla 13 Tramos intervenidos en el mes # 1 (octubre 2022)

ciudadana

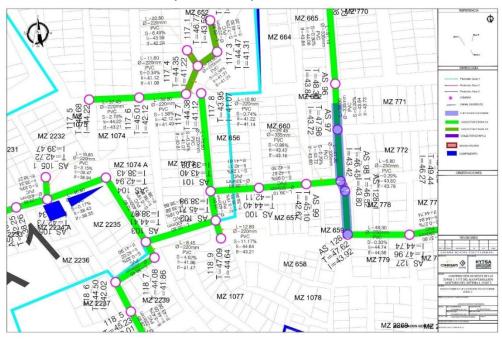
Recorrido Comunitario

Zona	Tra	mo	Material	Diámetro	Longitud (m)	Avance
Zona	Desde	Hasta	Material	Diametro	Longitud (III)	Availce
4	AS_14	AS_13	HA	33"	78,25	100,00%
1	AS_11	AS_10	HA	33"	37,50	47,65%
	AS_98	AS_128-1	PVC	280	7,20	100,00%
_	AS_128-1	AS_128	PVC	280	30,20	100,00%
5	AS_98	AS_97	PVC	335	43,00	100,00%
	AS_97	AS_96	PVC	335	24,00	66,12%
				TOTAL	220,15	

Figura 19 Plano de Avance de la Zona 1 (octubre 2022)



Figura 20 Plano de Avance de la Zona 5 (octubre 2022)



Elaborado por: Arroyo (2024)

La Tabla 14 representa el avance para el mes de noviembre de 2022 en metros lineales y porcentaje de avance del tramo de los colectores en las Zonas 1, 3 y 5

según planificación, así como una representación gráfica en la Figura 21, 22 y 23.

Tabla 14 Tramos intervenidos en el mes # 2 (noviembre 2022)

Zona	Tra	imo	Material	Diámetro	Longitud (m)	Observacione
	Desde	Hasta	-		,	
	AS_13	AS_12	110	33"	126,50	100 %
	AS_12	AS_11	HA	33	47,50	Avance 59,52 9
	AS_11	AS_10	110	22"	38,90	100 %
	AS_10	AS_9	HA	33"	73,00	100 %
	AS_78	AS_112			36,00	100 %
	AS_112	AS_77	НА	30"	78,20	100 %
4	AS_77	AS_76			65,00	100 %
1	AS_112	AS_111			34,90	100 %
	AS_111	AS_110			38,00	100 %
	AS_110	AS_109	PVC		56,05	100 %
	AS_109	AS_108		400	36,87	100 %
	AS_108	AS_107			34,60	100 %
	AS_107	AS_106				35,60
	AS_106	AS_105			18,00	100 %
	AS_73	AS_72			77,50	Avance 92,09
0	AS_71	AS_70	110	20"	51,60	100 %
3	AS_70	AS_69	HA	30"	26,90	100 %
	AS_69	AS_68			7,50	100 %
	AS_97	AS_96			9,00	100 %
	AS_96	AS_95		225	62,00	100 %
_	AS_95	AS_94	PVC	335	27,80	100 %
5	AS_94	AS_93	PVC		38,60	100 %
	AS_93	116-2	-	220	6,00	100 %
	AS_93	AS_90-E	-	335	102,00	100 %
				TOTAL	1.128,02 m	

Figura 21 Plano de Avance de la Zona 1 (noviembre 2022)

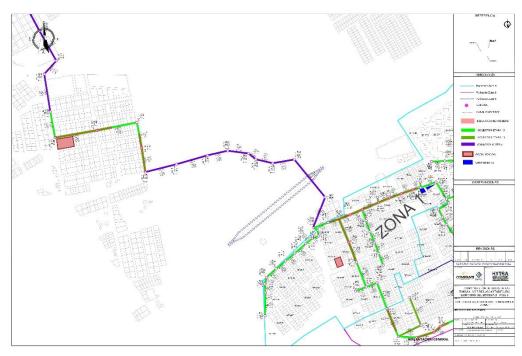


Figura 22 Plano de Avance de la Zona 3 (noviembre 2022)







La Tabla 15 representa el avance para el mes de diciembre de 2022 en metros lineales y porcentaje de avance del tramo de los colectores en las Zonas 1, 3 y 5 según planificación, así como una representación gráfica en las Figuras 24, 25 y 26.

Tabla 15 Tramos intervenidos en el mes # 3 (diciembre 2022)

Zona -	Tr	amo	Material	Diámetro	l ameitud	Observasiones
Zona -	Desde	Hasta	Materiai	Diametro	Longitud	Observaciones
	AS_106	AS_105	PVC	400	5,70	100,00%
	AS_76	AS_75	HA	30"	84,70	100,00%
	AS_74	AS_73	HA	30"	85,70	100,00%
	AS_109	AS_109-1	PVC	400	12,00	100,00%
	AS_105	AS_104	PVC	400	46,80	100,00%
	AS_105	AS_105-1	PVC	220	13,70	100,00%
	AS_79	AS_79-1	PVC	220	20,65	100,00%
	AS_79-1	AS_2	PVC	220	19,00	100,00%
	AS_79	AS_78-1	HA	30"	17,15	100,00%
	AS_78-1	AS_78	HA	30"	22,30	100,00%
1	AS_2	AS_1	PVC	220	28,00	100,00%
	AS_1	122-7	PVC	220	38,13	100,00%
	122-7	122-6	PVC	220	36,30	100,00%
	122-6	122-5	PVC	220	37,80	100,00%
	AS_75	AS_75-1	PVC	220	31,20	100,00%
	AS_75	AS_74	HA	30"	34,70	100,00%
	AS_110	121_5	PVC	220	34,50	100,00%
	121_5	121_4	PVC	220	34,90	100,00%
	121_4	121_3	PVC	220	30,00	Avance 78,74%
	AS_104	AS_103	PVC	400	63,30	100,00%
	AS_103	AS_102	PVC	400	42,00	Avance 75,27%
3	AS_73	AS_72	HA	30"	12,50	100,00%

7	Tra	amo	Material	Diámetre	Lamaitud	Observasiones
Zona -	Desde	Hasta	Wateriai	Diámetro	Longitud	Observaciones
_	AS_69	AS_68	HA	30"	142,30	100,00%
	AS_72	AS_71	HA	30"	54,65	100,00%
	119-6	119-5	PVC	220	59,68	100,00%
	119-5	119-4	PVC	220	30,88	100,00%
	119-4	119-3	PVC	220	36,00	Avance 89,78%
	AS_68	119-6	PVC	220	12,00	Avance 46,51%
	AS_93	116-2	PVC	220	29,60	100,00%
	AS_93	AS_90-E	PVC	335	5,80	100,00%
	116-2	116-1	PVC	220	37,90	100,00%
	AS_128	AS_127	PVC	280	48,90	100,00%
	AS_127	AS_126	PVC	280	34,40	100,00%
5	AS_126	AS_125	PVC	280	26,50	100,00%
5	118-5	118-4	PVC	220	29,50	100,00%
	118-5	118-6	PVC	220	27,45	100,00%
	118-6	118-7	PVC	220	36,45	100,00%
	118-4	118-3	PVC	220	36,05	100,00%
	118-3	118-2	PVC	220	39,10	100,00%
	118-2	118-1	PVC	220	39,10	100,00%
				TOTAL	1.478,19 m	

Figura 24 Plano de Avance de la Zona 1 (diciembre 2022)

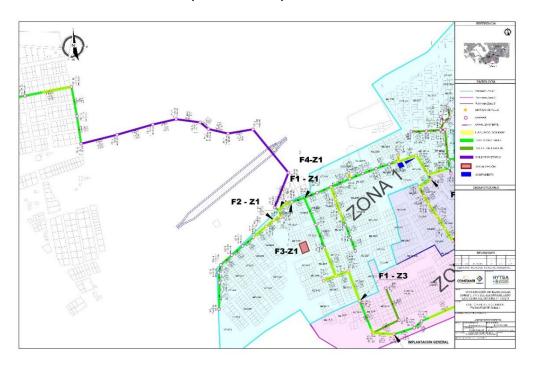


Figura 25 Plano de Avance de la Zona 3 (diciembre 2022)

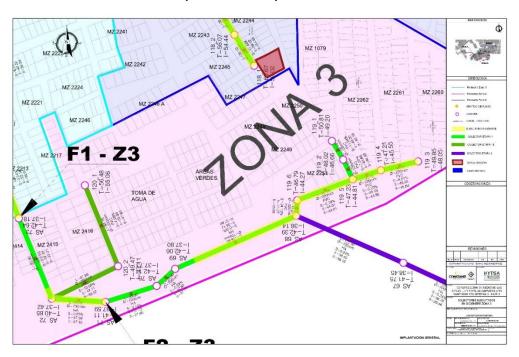


Figura 26

Plano de Avance de la Zona 5 (diciembre 2022)



Elaborado por: Arroyo (2024)

La Tabla 16 representa el avance para el mes de enero de 2023 en metros lineales y porcentaje de avance del tramo de los colectores en las Zonas 1, 3 y 5 según planificación, así como una representación gráfica en la Figura 27.

Tabla 16 Tramos intervenidos en el mes # 4 (enero 2023)

Zono	Tra	mo	Material	Diámetro	Longitud	Observaciones
Zona	Desde	Hasta	Iviateriai	Diametro	Longitud	Observaciones
	122-3	122-2	PVC	220	51,77	100,00%
1	122-2	122-1	PVC	220	37,50	100,00%
1	121_2	121_1	PVC	220	39,10	100,00%
	AS_102	AS_101	PVC	400	23,80	100,00%
	119-4	119-3	PVC	220	1,93	100,00%
3	119-5	119-2	PVC	220	24,55	100,00%
3	119-2	119-1	PVC	220	20,55	100,00%
	AS_68	119-6	PVC	220	2,15	100,00%
	AS_101	AS_100	PVC	335	37,20	100,00%
	AS_100	AS_99	PVC	335	37,40	100,00%
	AS_99	AS_98	PVC	335	16,00	Avance 54,33%
	AS_125	AS_124	PVC	220	35,68	100,00%
5	AS_124	AS_123	PVC	220	24,00	Avance 67,99%
	118-4	118-3	PVC	220	4,05	100,00%
	AS_102	118-9	PVC	220	12,00	100,00%
	AS_103	118-7	PVC	220	8,74	100,00%
	AS_119	AS_118	PVC	220	18,00	Avance 50,07%
				TOTAL	394,42 m	

Figura 27 Plano de Avance de las Zonas 1, 3 y 5 (enero 2023)

#### 3.11.11. Avance semanal de colectores

Se realizan cortes semanales para verificación de avance de obra según lo planificado y poder tomar acciones preventivas o correctivas según el caso. En la Tabla 17 se presenta un corte en la semana 7 con fecha 16 de noviembre del 2022, con un avance de 193,45 metros lineales en la semana 7 y un total acumulado de 736,60 metros lineales.

Tabla 17
Avance de colectores con corte a la semana 7 (fecha de corte 16-11-2022)

		Tra	amo							
Zona	Frente	Desde	Hasta	Material	Diámetro	Longitud (m)	anterior (semana 6)	en semana 7	ejecutado	Estado
		AS_14	AS_13	HA	Diametro         Longitud (m)         anterior (semana 6)         en semana 7         elecutado ejecutado         Es ejecutado           33"         79.50         79.50         25.00         100.00         77           33"         129.20         75.00         25.00         100.00         77           33"         78.70         78.70         78.70         100           33"         35.95         35.95         12.50         12.50         34           30"         35.95         35.95         35.95         100         50.00         66           30"         66.60         ————————————————————————————————————	100.00%				
	1	AS_13	AS_12	HA	33"	129.20	75.00	25.00	100.00	77.40%
		AS_12	AS_11	HA	33"	130.20				0.00%
		AS_11	AS_10	HA	33"	78.70	78.70		78.70	100.00%
	2	AS_10	AS_9	HA	33"	35.95		12.50	12.50	34.77%
		AS_78	AS_112	HA	30"	35.95	35.95		35.95	100.00%
		AS_112	AS_77	HA	30"	75.70	20.00	30.00	50.00	66.05%
	3	AS_77	AS_76	HA	30"	66.60				0.00%
1		AS_76	AS_75	НА	30"	83.50				0.00%
		AS_112	AS_111	PVC	400	36.60	36.60		36.60	100.00%
		AS_111	AS_110	PVC	400	37.95	18.00	19.95	37.95	100.00%
		AS_110	AS_109	PVC	400	57.80		42.00	42.00	72.66%
		AS_109	AS_109- 1	PVC	400	15.25				0.00%
	4	AS_109	AS_108	PVC	400	34.30				0.00%
		AS_108	AS_107	PVC	400	36.70				0.00%
		AS_107	AS_106	PVC	400	35.85				0.00%
		AS_106	AS_105	PVC	400	23.55				0.00%
	1	AS_73	AS_72	НА	30"	92.30	12.50	12.50	25.00	27.09%
		AS_71	AS_70	HA	30"	55.30	40.00	7.50	47.50	85.90%
3	2	AS_70	AS_69	HA	30"	25.80				0.00%
		AS_69	AS_68	HA	30"	138.80				0.00%
		AS_98	AS_128- 1	PVC	280	6.80	6.80		6.80	100.00%
		AS_128- 1	AS_128	PVC	280	38.30	38.30		38.30	100.00%
		AS_98	AS_97	PVC	335	41.50	41.50		41.50	100.00%
		AS_97	AS_96	PVC	335	36.30	36.30		36.30	100.00%
_		AS_96	AS_95	PVC	335	62.00	24.00	38.00	62.00	100.00%
5	1	AS_95	AS_94	PVC	335	36.54		6	6	16.42%
		AS_94	AS_93	PVC	335	33.30				0.00%
		AS_93	116-2	PVC	220	35.95				0.00%
		116-2	116-1	PVC	220	37.10			_	0.00%
		AS_93	AS_90-E	PVC	335	110.65				0.00%
	•	•	•	•	•	-	543.15	193.45	736.60	

En la Tabla 18 se presenta un corte en la semana 8 con fecha 23 de noviembre del 2022, con un avance de 298,34 metros lineales en la semana 8 y un total acumulado de 1.034,94 metros lineales.

Tabla 18

Avance de colectores con corte a la semana 8 (fecha de corte 23-11-2022)

Zona	Frente	Tr	amo	Material	Diámetro	Longitud (m)	Ejecutado anterior	Ejecutado en semana	Total ejecutado	Estado
		Desde	Hasta				(semana 7)	8	•	
		AS_14	AS_13	НА	33"	79.50	79.50		79.50	100.00%
	1	AS_13	AS_12	НА	33"	129.20	100.00	29.20	129.20	100.00%
		AS_12	AS_11	НА	33"	130.20				0.00%
		AS_11	AS_10	НА	33"	78.70	78.70		78.70	100.00%
	2	AS_10	AS_9	НА	33"	73.50	12.50	56.00	68.50	93.20%
		AS_78	AS_112	НА	30"	35.95	35.95		35.95	100.00%
		AS_112	AS_77	НА	30"	75.70	50.00	25.70	75.70	100.00%
	3	AS_77	AS_76	НА	30"	66.60		10.00	10.00	15.02%
1		AS_76	AS_75	НА	30"	83.50				0.00%
		AS_112	AS_111	PVC	400	36.60	36.60		36.60	100.00%
		AS_111	AS_110	PVC	400	37.95	37.95		37.95	100.00%
		AS_110	AS_109	PVC	400	57.80	42.00	15.80	57.80	100.00%
		AS_109	AS_109-1	PVC	400	15.25				0.00%
	4	AS_109	AS_108	PVC	400	34.30		34.30	34.30	100.00%
		AS_108	AS_107	PVC	400	36.70		30.00	30.00	81.74%
		AS_107	AS_106	PVC	400	35.85				0.00%
		AS_106	AS_105	PVC	400	23.55				0.00%
	1	AS_73	AS_72	НА	30"	92.30	25.00	25.00	50.00	54.17%
0		AS_71	AS_70	НА	30"	55.30	47.50	7.80	55.30	100.00%
3	2	AS_70	AS_69	НА	30"	25.80		10.00	10.00	38.76%
		AS_69	AS_68	НА	30"	138.80				0.00%
		AS_98	AS_128-1	PVC	280	6.80	6.80		6.80	100.00%
		AS_128- 1	AS_128	PVC	280	38.30	38.30		38.30	100.00%
		AS_98	AS_97	PVC	335	41.50	41.50		41.50	100.00%
		AS_97	AS_96	PVC	335	36.30	36.30		36.30	100.00%
_		AS_96	AS_95	PVC	335	62.00	62.00		62.00	100.00%
5	1	AS_95	AS_94	PVC	335	36.54	6.00	30.54	36.54	100.00%
		AS_94	AS_93	PVC	335	33.30		24.00	24.00	72.07%
		AS_93	116-2	PVC	220	35.95				0.00%
		116-2	116-1	PVC	220	37.10				0.00%
		AS_93	AS_90-E	PVC	335	110.65				0.00%
-	•	•		•	-		736.60	298.34	1034.94	

En la Tabla 19 se presenta un corte en la semana 9 con fecha 26 de noviembre del 2022, con un avance de 179 metros lineales en la semana 9 y un total acumulado de 1.213,94 metros lineales.

Tabla 19
Avance de colectores con corte a la semana 9 (fecha de corte 26-11-2022)

<b>7</b>	Former	Tr	amo	Maradal	Diámeter	1	Ejecutado	Ejecutado	Total	Fatada
Zona	Frente	Desde	Hasta	Material	Diámetro	Longitud (m)	anterior (semana 8)	en semana 9	ejecutado	Estado
		AS_14	AS_13	НА	33"	79.50	79.50		79.50	100.00%
	1	AS_13	AS_12	НА	33"	129.20	129.20		129.20	100.00%
		AS_12	AS_11	НА	33"	130.20		25.00	25.00	19.20%
		AS_11	AS_10	НА	33"	78.70	78.70		78.70	100.00%
	2	AS_10	AS_9	НА	33"	73.50	68.50	5.00	73.50	100.00%
		AS_78	AS_112	НА	30"	35.95	35.95		35.95	100.00%
		AS_112	AS_77	НА	30"	75.70	75.70		75.70	100.00%
	3	AS_77	AS_76	НА	30"	66.60	10.00	27.50	37.50	56.31%
1		AS_76	AS_75	НА	30"	83.50				0.00%
		AS_112	AS_111	PVC	400	36.60	36.60		36.60	100.00%
		AS_111	AS_110	PVC	400	37.95	37.95		37.95	100.00%
		AS_110	AS_109	PVC	400	57.80	57.80		57.80	100.00%
	4	AS_109	AS_109-1	PVC	400	15.25				0.00%
	4	AS_109	AS_108	PVC	400	34.30	34.30		34.30	100.00%
		AS_108	AS_107	PVC	400	36.70	30.00	6.70	36.70	100.00%
		AS_107	AS_106	PVC	400	35.85		30.00	30.00	83.68%
		AS_106	AS_105	PVC	400	23.55				0.00%
	1	AS_73	AS_72	НА	30"	92.30	50.00	12.50	62.50	67.71%
3		AS_71	AS_70	НА	30"	55.30	55.30		55.30	100.00%
3	2	AS_70	AS_69	НА	30"	25.80	10.00	15.00	25.00	96.90%
		AS_69	AS_68	НА	30"	138.80				0.00%
		AS_98	AS_128-1	PVC	280	6.80	6.80		6.80	100.00%
		AS_128- 1	AS_128	PVC	280	38.30	38.30		38.30	100.00%
		AS_98	AS_97	PVC	335	41.50	41.50		41.50	100.00%
		AS_97	AS_96	PVC	335	36.30	36.30		36.30	100.00%
5	1	AS_96	AS_95	PVC	335	62.00	62.00		62.00	100.00%
3	'	AS_95	AS_94	PVC	335	36.54	36.54		36.54	100.00%
		AS_94	AS_93	PVC	335	33.30	24.00	9.30	33.30	100.00%
		AS_93	116-2	PVC	220	35.95				0.00%
		116-2	116-1	PVC	220	37.10				0.00%
		AS_93	AS_90-E	PVC	335	110.65		48.00	48.00	43.38%
-							1034.94	179.00	1213.94	

#### 3.11.12. Avance semanal acumulado de colectores

En la Tabla 20 se presenta las cantidades acumuladas de los colectores ejecutados de la semana 66 a la 70, según lo planificado, evidenciando un avance del 100% en los tramos de colectores principales AS\_4 – AS\_3, AS\_15 – AS\_14, AS\_64 – AS\_60 y en los tramos de colectores secundarios 113\_1 – 113\_2 y AS\_29 – AS\_104\_12. El tramo de colector principal AS\_3 a AS\_2 a la fecha del corte presentaba un avance del 67,92% con un tramo por ejecutar de 21,25 metros lineales que se ejecutaron en la semana 71.

Tabla 20
Avance semanal acumulado colectores (Semana 66 a 70)

z			Colecto	or			Acum.	2-6 Ene	8-13 Ene	15-20 Ene	22-27 Ene	29 Ene - 3 Feb			Avanc	_
o n a	Tramo Mat F		Diám.	Longit ud (m)	Anteri or	Sem. 66	Sem. 67	Sem. 68	Sem. 69	Sem. 70	Acum. Enero	Total Acum.	e %	Por Ejecutar		
		AS_4	AS_3	НА	33"	60.00	55.00	5.00					5.00	60.00	100.00 %	0.00
1	Principal	AS_3	AS_2	НА	33"	66.25	0.00		5.00	10.00	15.00	15.00	45.00	45.00	67.92%	21.25
		AS_15	AS_14	НА	33"	110.10	30.00	45.00	12.50	17.50	5.10		80.10	110.10	100.00	0.00
3	Principal	AS_64	AS_60	НА	24"	98.37	78.00	20.37					20.37	98.37	100.00 %	0.00
•	Secund.	113_1	113_2	PVC	220 mm	51.60	42.60	9.00					9.00	51.60	100.00 %	0.00
5	Secund.	AS_29	AS_10 4_12	PVC	220 mm	33.50	24.00	9.50					9.50	33.50	100.00	0.00
	TOTAL 631.15					229.60	88.87	17.50	27.50	20.10	15.00	168.97	398.57		232.58	

Elaborado por: Arroyo (2024)

# 3.11.13. Análisis comparativo entre el valor planificado, planificación tradicional actualizada costos 2023 (CPM) y Lean Construction

La planificación PV (2021) se realizó y entrego de acuerdo a lo solicitado en los Documentos de Licitación LPI 5, de la Licitación Pública Internacional el 6 de septiembre de 2021. Por lo que se actualizo los costos de mano de obra 2023 para el análisis en el periodo comprendido en este año (PV 2021) y posteriormente mediante la aplicación de la metodología Lean Construction se preparó un presupuesto con un AC (Lean Construction).

De lo que, se puede apreciar en la Tabla 21 que se incrementa el costo de la mano de obra en 185,902.26 dólares entre en el año 2021 a 2022 y que en el presupuesto general (incluido los indirectos del 19%) tiene un aumento en 222,164.37 dólares.

Así mismo, luego de aplicar las herramientas de la metodología Lean al presupuesto actualizado 2023, se logra disminuir los costos directos en 537,636.33 dólares y se actualiza el porcentaje de indirectos al 24%, obteniendo un presupuesto final de 8,198,897.75 dólares lo que representa una disminución en un 3,65%, con lo que se evidencia claramente la eficiencia de la aplicación de la metodología propuesta en esta investigación.

Tabla 21

Comparativo de resultados entre Planificación CPM 2021, CPM actualizado costos mano de obra 2023 y aplicación de metodología Lean Construction 2023

	PV (2021	)	PV (2023)		AC (LEAN CONSTRUCTION)		
Descripción	Monto	%	Monto	%	Monto	%	
Materiales	3,705,234.84	53.21	3,705,234.84	51.82	3,716,779.22	56.21	
Mano de Obra	1,562,781.78	22.44	1,748,684.04	24.46	1,602,553.21	24.24	
Equipo y Herramientas	1,695,822.18	24.35	1,695,822.18	23.72	1,292,772.30	19.55	
Transporte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Costo Directo	6,963,838.80	100.00	7,149,741.06	100.00	6,612,104.73	100.00	
% de Costos Indirectos	19.00 %		19.00 %		24.00 %		
Costos Indirectos	1,323,129.37		1,358,450.80		1,586,905.14		
Total (Rubros)	8,287,526.87		8,509,691.24		8,198,897.75		

### 3.11.14. Resultados de disminución de costos mediante la aplicación de Lean Construction

En la Tabla 22 se puede apreciar una disminución de costo total acumulado al 29 de febrero de 2024 con 4,942,366.34 (costo actual) en relación al avance a la misma fecha según el cronograma ejecutado con 5,109,830.16 dólares, con un ahorro de 167,463.82 dólares que representa una disminución a la fecha del 3,28%.

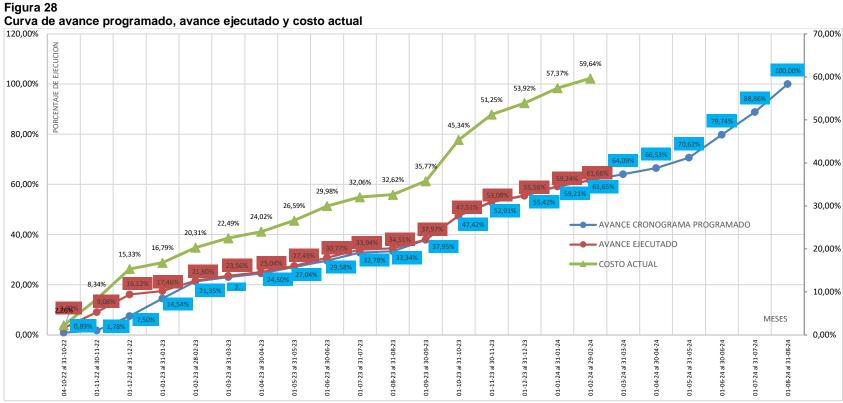
Tabla 22

Comparativo del avance programado, avance ejecutado y costo real

											1150 44				1150 15	1450.40	1450.45
MESES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17
WESES	04-10-22 al 31-10-22	01-11-22 al 30-11-22	01-12-22 al 31-12-22	01-01-23 al 31-01-23	01-02-23 al 28-02-23	01-03-23 al 31-03-23	01-04-23 al 30-04-23	01-05-23 al 31-05-23	01-06-23 al 30-06-23	01-07-23 al 31-07-23	01-08-23 al 31-08-23	01-09-23 al 30-09-23	01-10-23 al 31-10-23	01-11-23 al 30-11-23	01-12-23 al 31-12-23	01-01-24 al 31-01-24	01-02-24 al 29-02-24
	PROGRAMACIÓN																
Avance mensual	73,823.95	73,823.95	474,037.73	583,134.98	564,384.99	134,914.05	126,285.55	210,402.81	210,383.70	265,545.44	46,650.70	382,115.26	784,695.30	455,106.55	207,488.57	314,204.79	202,323.28
Avance mensual %	0.89%	0.89%	5.72%	7.04%	6.81%	1.63%	1.52%	2.54%	2.54%	3.20%	0.56%	4.61%	9.47%	5.49%	2.50%	3.79%	2.44%
Avance acumulado	73,823.95	147,647.90	621,685.63	1,204,820.61	1,769,205.60	1,904,119.65	2,030,405.20	2,240,808.01	2,451,191.71	2,716,737.15	2,763,387.84	3,145,503.10	3,930,198.41	4,385,304.96	4,592,793.53	4,906,998.32	5,109,321.60
Avance acumulado %	0.89%	1.78%	7.50%	14.54%	21.35%	22.98%	24.50%	27.04%	29.58%	32.78%	33.34%	37.95%	47.42%	52.91%	55.42%	59.21%	61.65%
	EJECUTADO																
Avance mensual	223,515.83	529,279.62	583,141.42	110,748.84	343,702.75	161,973.35	123,068.76	203,113.16	271,619.03	262,509.45	47,659.53	286,207.68	791,136.45	460,961.30	205,521.99	305,090.27	200,580.73
Avance mensual %	2.70%	6.39%	7.04%	1.34%	4.15%	1.95%	1.48%	2.45%	3.28%	3.17%	0.58%	3.45%	9.55%	5.56%	2.48%	3.68%	2.42%
Avance acumulado	223,515.83	752,795.45	1,335,936.87	1,446,685.71	1,790,388.46	1,952,361.81	2,075,430.57	2,278,543.73	2,550,162.76	2,812,672.21	2,860,331.74	3,146,539.42	3,937,675.87	4,398,637.17	4,604,159.16	4,909,249.43	5,109,830.16
Avance acumulado %	2.70%	9.08%	16.12%	17.46%	21.60%	23.56%	25.04%	27.49%	30.77%	33.94%	34.51%	37.97%	47.51%	53.08%	55.56%	59.24%	61.66%
								COSTO ACTU	AL (COSTO RE	AL)							
Avance mensual	186,904.34	504,159.02	579,261.44	121,496.11	291,075.74	180,917.84	126,572.47	212,931.10	281,591.67	171,749.19	46,691.39	261,249.79	792,927.44	489,905.45	220,869.05	286,250.17	187,814.13
Avance mensual %	2.26%	6.08%	6.99%	1.47%	3.51%	2.18%	1.53%	2.57%	3.40%	2.07%	0.56%	3.15%	9.57%	5.91%	2.67%	3.45%	2.27%
Avance acumulado	186,904.34	691,063.36	1,270,324.80	1,391,820.91	1,682,896.65	1,863,814.49	1,990,386.96	2,203,318.06	2,484,909.73	2,656,658.92	2,703,350.31	2,964,600.10	3,757,527.54	4,247,432.99	4,468,302.04	4,754,552.21	4,942,366.34
Avance acumulado %	2.26%	8.34%	15.33%	16.79%	20.31%	22.49%	24.02%	26.59%	29.98%	32.06%	32.62%	35.77%	45.34%	51.25%	53.92%	57.37%	59.64%

#### 3.11.15. Resultados de disminución de tiempo mediante la aplicación de Lean Construction

En la Figura 28 se puede apreciar una disminución de en el tiempo de la obra de 1 mes, con un plazo programado de 23 meses. Con lo que respecta al control de avance del cronograma en los primeros 3 meses de la obra marco una diferencia significativa entre el cronograma planificado y el avance ejecutado. Del 4to mes a la fecha de corte mes 17 se ha ejecutado cumpliendo lo planificado.



### 3.11.16. Indicadores de desempeño

Como herramienta de control del avance acumulado se medirán la variación del cronograma (SV), variación del costo (CV) y los respectivos indicadores de desempeño del cronograma (SPI) y del costo (CPI) como se aprecia en la Tabla 23.

Tabla 23
Variación del cronograma y costo e Indicadores de desempeño del cronograma y costo acumulados

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17
VARIACIÓN CRONOGRAM A (SV)	149,691.88	605,147.56	714,251.24	241,865.10	21,182.86	48,242.16	45,025.37	37,735.72	98,971.05	95,935.06	96,943.90	1,036.32	7,477.46	13,332.21	11,365.63	2,251.11	508.56
INDICE DE DESEMPEÑO CRONOGRAM A (SPI)	3.03	5.10	2.15	1.20	1.01	1.03	1.02	1.02	1.04	1.04	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VARIACIÓN DEL COSTO (CV)	36,611.49	61,732.09	65,612.07	54,864.80	107,491.81	88,547.32	85,043.61	75,225.67	65,253.03	156,013.29	156,981.43	181,939.32	180,148.33	151,204.18	135,857.12	154,697.22	167,463.82
INDICE DE DESEMPEÑO DEL COSTO (CPI)	1.20	1.09	1.05	1.04	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.06	1.06	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03

Elaborado por: Arroyo (2024)

En la Figura 29 se puede apreciar en color azul que en todos los meses siempre se tuvo un valor mayor a 1, lo cual indica que se cumplió lo programado, los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2022 se ejecutó una cantidad mayor de trabajo según lo programado, esto debido a que se tuvo que aprovechar los meses previos a la temporada lluviosa del 2023, iniciando con los trabajos en colectores de mayor profundidad, dejando los colectores menos profundos para los meses siguientes.

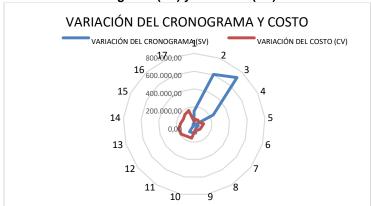
Figura 29 Indicadores de desempeño (SPI y CPI)



Elaborado por: Arroyo (2024)

En la Figura 30 se puede apreciar que durante toda la ejecución se tuvo una variación en costo y de cronograma, mayor a cero, lo cual denota que no se han presentado atrasos ni pérdidas en lo presupuestado.

Figura 30 Variación del Cronograma (SV) y del Costo (CV)



# 3.11.17. Eliminación de los desperdicios identificados mediante LEAN CONSTRUCTION

En la tabla 24 se resume las medidas aplicadas para la eliminación de desperdicios en función de las restricciones levantadas al inicio de la planificación siguiendo la metodología Lean Construction.

Tabla 24

Medidas aplicadas para eliminación de desperdicios

	Desperdicios LEAN	Medidas para evitar desperdicios	Observación		
		Planificar la disponibilidad de maquinaria (excavadoras, volquetas, retroexcavadoras, bombas) por frentes de trabajo	Se contó con equipos disponibles		
1	Esperas	Contar con la cantidad de personal en los frentes de trabajo	Revisión acorde a planificación		
		Contar con la cantidad necesaria de tablaestacas previo los trabajos de excavación	Revisión acorde a planificación		
2	Sobreproducción	Desarrollar la producción de cámaras de acuerdo a programación	Revisión acorde a planificación		
3	Movimiento	Planificar la llegada de materiales a los frentes para evitar movimientos que no añadan valor	Planificaciones con frentes		
		Colocación del material en sitio adecuado para evitar transporte innecesario	Colocado en los frentes según planificación		
	Transporte	Planificación de la adquisición de Tubería de Hormigón de 24", 30" y 33" desde fabrica a los frentes de trabajo según avance semanal	Colocado en los frentes según planificación		
4		Planificación de la adquisición del Acero de Refuerzo en barras (figurado para cámaras) según avance semanal	Colocado en campamento (para armado de acero de cámaras en zona segura y posterior hormigonado)		
		Planificación de la adquisición de Tubería de PVC de 440 mm, 220 mm según avance en frente de trabajos	Colocación en bodega de campamento		
		Planificación de calibración de Equipos topográficos (nivel, teodolito y estación total)	Equipos Calibrados por proveedor calificado		
5	Defecto (errores)	Control de calidad de hormigones de cámaras	Certificado de rotura de cilindros de CONSEES		
	Defecto (errores)	Control de densidades del material de mejoramiento	Certificado de densidades de campo de CONSEES		
		Pruebas CCTV	Certificado de cumplimiento de pruebas de CCTV por ECUADRAGAS Y SESINGAQUA		

	Desperdicios LEAN	Medidas para evitar desperdicios	Observación		
		Coordinación de despacho de Material de Préstamo Importado según avance planificado en frentes de trabajo	Cumplimiento de despacho acorde a lo planificado		
6	Inventario	Coordinación de despacho de Acero de Refuerzo en barras (para cámaras) según avance planificado en frentes de trabajo	Cumplimiento de despacho acorde a lo planificado		
0	(tiempo)	Coordinación de despacho de Hormigón Premezclado (para cámaras, losas desmontables, etc.) según avance planificado en frentes de trabajo	Cumplimiento de despacho acorde a lo planificado		
		Coordinación de despacho de Tuberías de PVC (para colectores principales y secundarios) según avance planificado en frentes de trabajo	Cumplimiento de despacho acorde a lo planificado		
7	Subutilización de personal	Planificación de cuadrillas por frente de trabajo (Topógrafos, Tuberos, Peones, Operadores de Equipo)	Revisión de avance acorde a la planificación		
8	Sobre procesamiento	Sobretiempo del personal	Revisión de la planificación para evitar trabajos los sábados o feriados (innecesarios)		

#### 3.11.18. Medidas para gestión de la producción

Una vez identificadas, evaluadas y liberadas las restricciones, se procede a la planificación a mediano plazo con ventanas de tiempo de 3 a 6 semanas lo que permite realizar evaluaciones de avance de obra y cumplimiento de metas establecidas.

El proyecto define como entregables para la construcción de colectores principales y secundarios, la provisión de materiales, instalación de tuberías de colectores principales y secundarios, construcción de cámaras e instalación de tirantes, considerando las siguientes medidas para gestionar la producción:

Para los trabajos de instalación de tuberías de colectores principales y secundarios se considera que el proceso comienza con la preparación del sitio y el replanteo de la obra. Este paso es crucial para garantizar que las tuberías se instalen en los lugares correctos y de acuerdo con los planos del proyecto. Una vez preparado el sitio, se procede a la excavación a máquina del terreno. Esta actividad implica el uso de maquinaria pesada para remover el suelo y crear zanjas donde se instalarán las tuberías. La excavación se realiza en condiciones normales del suelo y se estima que toma cinco días por cada 50 metros lineales.

En áreas donde el suelo es más resistente, se requiere una excavación a máquina en suelo duro. Este tipo de excavación necesita maquinaria con potencia superior a 150 hp y aditamento especializado como martillo para poder remover el

terreno adecuadamente. La excavación en suelo duro toma aproximadamente siete días por cada 20 metros lineales.

Para terrenos con presencia de roca clase B, se necesita una excavación aún más especializada. Este proceso es más lento y costoso debido a la dureza del material. La excavación en roca clase B, requiere el uso de 2 excavadoras, donde una de ellas utiliza martillo. Toma alrededor de diez días por cada 10 metros lineales.

Después de la excavación, el material removido debe ser transportado y dispuesto adecuadamente. El desalojo de material incluye el esponjamiento y el transporte hasta una distancia de 5 km. Este proceso es esencial para mantener el sitio de trabajo limpio y despejado. Se estima que el desalojo de material tome tres días por cada 50 metros cúbicos.

Durante la excavación, es posible que se acumulen aguas subterráneas o de lluvia, por lo que se requiere el bombeo de D=4" para mantener las zanjas secas y seguras. Esta actividad es crucial para evitar problemas de inundación y asegurar condiciones de trabajo seguras.

Para excavaciones que superan los 1.50 metros de profundidad, se necesita la instalación de entibados de protección. Estos entibados aseguran la estabilidad de las paredes de la zanja y protegen a los trabajadores de posibles derrumbes. La instalación de entibados de protección se realizará al mismo ritmo de la excavación para el colector tomando aproximadamente cinco días por cada 50 metros lineales.

Una vez completada la excavación y asegurada la estabilidad de las zanjas, se procede con el replantillo y el recubrimiento de piedra graduada de 1/2" - 3/4", que es compactado para crear una base estable. Esta actividad es fundamental para proporcionar una base firme y nivelada para la instalación de las tuberías.

La siguiente etapa es la instalación de las tuberías de PVC o Hormigón Armado (HA). Este proceso implica colocar las tuberías en las zanjas preparadas, asegurando que estén correctamente alineadas y conectadas. La instalación de tuberías es una actividad crítica que toma aproximadamente cinco días por cada 50 metros lineales.

Después de la instalación de las tuberías, se procede con el relleno con cascajo importado para el relleno de las zanjas. Este material es compactado mecánicamente. El uso de material cascajo importado ira al mismo ritmo de la excavación e instalación de tubería.

Una vez que las tuberías están instaladas y las zanjas rellenas, se realiza una prueba de estanqueidad para asegurarse de que no existan fugas en las tuberías de PVC o HA. Esta prueba es esencial para garantizar la funcionalidad y la durabilidad del sistema de alcantarillado. La prueba de estanqueidad toma aproximadamente dos días por cada 100 metros.

Finalmente, se lleva a cabo una inspección interna de los colectores utilizando cámaras CCTV. Esta inspección permite verificar la integridad y la correcta instalación de las tuberías, identificando posibles problemas antes de que se conviertan en fallas significativas. La inspección CCTV toma alrededor de un día por cada 100 metros.

Para la construcción de cámaras se desglosa en los paquetes de trabajo: movimiento de tierra, construcción de losa de cimentación, construcción de cuerpo de cámara y construcción de losa desmontable.

El proceso de movimiento de tierra comienza con la excavación a máquina, donde se extraen los materiales del sitio de la construcción. A continuación, se realiza el desalojo del material hasta 5 km (considerando la distancia al botadero previamente aprobado), incluyendo el esponjamiento del material excavado. Paralelamente, se lleva a cabo el bombeo de D=4", que se utiliza para manejar el agua subterránea o el agua acumulada durante la excavación. Para garantizar la estabilidad de las zanjas, se instalan tablestacas metálicas. Una vez estabilizada la zanja, se procede con el replantillo y recubrimiento de piedra graduada de 1/2" - 3/4" compactado, creando una base estable para las estructuras posteriores. Finalmente, se completa el proceso de movimiento de tierra con el relleno compactado mecánicamente con material cascajo importado, asegurando que el terreno esté adecuadamente nivelado y compactado para soportar las estructuras subsecuentes.

El proceso de construcción de la losa cimentación comienza con el vertido de

hormigón simple f'c 280 kg/cm², que incluye el encofrado necesario para moldear la losa. Seguidamente, se realiza el suministro e instalación de armaduras (fabricadas fuera de obra), que proporcionan la resistencia estructural necesaria para la losa. Posteriormente, se aplica un sellador de alto desempeño para recubrir las tuberías y prevenir filtraciones. Finalmente, se completa la construcción del invert de la cámara con el colado de hormigón simple f'c=210 kg/cm². Finalmente, se instala una cinta PVC 0-15 cm para juntas de construcción, donde arrancara el inicio del cuerpo de la cámara.

La construcción del cuerpo de la cámara, inicia con el suministro e instalación de armaduras de refuerzo de la estructura, para posteriormente, encofrar el elemento. Previo al colado con hormigón simple f'c 280 kg/cm² se adicionará un aditivo adhesivo epóxico para ligar el hormigón nuevo con el existente de la losa de cimentación. Para asegurar la durabilidad y resistencia al agua, se aplica un impermeabilizante por cristalización al hormigón fresco. Adicionalmente, se aplica una impermeabilización asfáltica más imprimante para proporcionar una barrera adicional contra la humedad

El proceso de construcción de la losa desmontable inicia con el suministro e instalación de armaduras para la losa. Como refuerzo se suministran y fabrican elementos de acero ASTM A-36, los cuales incluyen un tratamiento de sandblasting y recubrimiento galvanizado para prevenir la corrosión. Una vez colocados los elementos de acero y encofrada la losa se procede al colado con hormigón simple f'c 280 kg/cm² con microsilice. La losa también incluye una tapa de hierro dúctil DN 600 mm clase D 400, que proporciona acceso a la cámara para inspecciones y mantenimiento. Finalmente, se realiza el transporte e instalación de la losa desmontable sobre el cuerpo de la cámara, asegurando que la estructura esté correctamente posicionada y lista para su uso.

#### 3.12. Análisis e interpretación de resultados

En términos de eficiencia en tiempos y costos de los antecedentes revisados, como el estudio de Ballard y Howell (1998), destacan reducciones significativas en tiempos y costos mediante la aplicación de Lean Construction. En la investigación se confirmó esta tendencia, con un ahorro del 3.28% en el presupuesto total y una

reducción del 4.16% en el plazo del proyecto. Esto concuerda con otros estudios internacionales que han demostrado mejoras similares en proyectos de infraestructura al implementar Lean, sugiriendo que las herramientas de sectorización y planificación a mediano plazo son críticas para estos resultados.

En cuanto a la optimización de recursos mediante Look Ahead Planning, los antecedentes de Ballard y Howell (2003) y Koskela y Howell (2002) también respaldan el uso del Look Ahead Planning para la anticipación de problemas y optimización de recursos. En la investigación, al establecer este proceso en la sectorización y planificación del proyecto, también se observó mejoras en la coordinación y flujo de trabajo. Esto valida que, al prever cuellos de botella y planificar con mayor precisión, los proyectos logran un mejor control de la producción y eficiencia en la ejecución.

Sobre el análisis de restricciones, en estudios como el de Tommelein y Emdanat (2022), se resalta que el análisis de restricciones es crucial para identificar y resolver puntos críticos en el flujo de trabajo. En el proyecto, se aplicó el análisis de restricciones, lo cual permitió identificar 68 restricciones que influyeron en el avance del proyecto. Este enfoque concuerda con los estudios previos, que señalan la importancia de esta técnica para mejorar los tiempos y la calidad de la ejecución.

Así mismo, sobre la aplicación de tren de actividades para mejorar rendimientos, los antecedentes como, el estudio de Hamzeh et al. (2012), sugieren que el tren de actividades es efectivo para optimizar los recursos. En la investigación se mostró que esta estrategia ayudó a minimizar tiempos muertos y mejorar los rendimientos en las principales actividades del proyecto, lo que coincide con las experiencias en otros proyectos similares.

Por lo que, los hallazgos de esta investigación refuerzan lo señalado en los antecedentes internacionales. Las herramientas de Lean Construction implementadas, tales como la sectorización, el Look Ahead Planning y el análisis de restricciones, efectivamente contribuyen a mejorar la planificación y ejecución en proyectos de infraestructura, optimizando costos, tiempos y recursos, de manera consistente con estudios previos.

### **CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

# 4.1. Propuesta para la implementación de la metodología Lean Construction en la Planificación de Proyectos de Infraestructura

#### 4.1.1. Título de la propuesta

Propuesta de implementación de herramientas de la metodología Lean Construction en la planificación de proyectos de infraestructura para optimizar los costos y tiempos en el proyecto

#### 4.1.2. Objetivo General de la propuesta

Establecer parámetros, procesos y herramientas de la metodología Lean Construction para implementarse en la planificación de proyectos de infraestructura para la optimización de costos y tiempos del proyecto

#### 4.1.3. Justificación de la propuesta

Con la aplicación de la Metodología Lean Construction en la planificación de un proyecto de infraestructura se reducirá el desperdicio y aumentará la satisfacción del cliente, mediante la identificación y eliminación de actividades y recursos que no agregan valor al proyecto. Esto incluye la reducción de excesos en materiales, tiempos perdidos, movimientos innecesarios y cualquier otro tipo de desperdicio. Además, se enfoca en optimizar los procesos de construcción, eliminando actividades redundantes o ineficientes. Esto permitirá acelerar la ejecución del proyecto, reducir los tiempos de entrega y mejorar la utilización de los recursos disponibles. Poniendo un fuerte énfasis en la calidad. Al eliminar las actividades que no añaden valor y al alinear los procesos de construcción de manera más eficiente, se reducen los errores y defectos en la obra, lo que conduce a una mayor calidad en el producto final.

Al aplicar Lean Construction, se obtendrán plazos de entrega más cortos y se mantendrá el control de costos, lo que generará una mayor satisfacción del cliente. Además, al enfocarse en las necesidades del cliente y en la entrega de valor, se crea un producto que mejor se adaptará a sus expectativas. Lean Construction fomentará la flexibilidad y la capacidad de adaptación a cambios en el proyecto. Esto es esencial en proyectos de infraestructura, donde pueden surgir modificaciones debido a

condiciones imprevistas o a las necesidades cambiantes del cliente o del entorno.

La aplicación de los principios lean en proyectos de infraestructura no solo busca resultados inmediatos, sino que también promueve la búsqueda constante de oportunidades para mejorar los procesos y la eficiencia a lo largo del tiempo. Por lo que, la justificación para aplicar la metodología Lean Construction en un proyecto de infraestructura como indica Ballard (2000) se basará en la búsqueda de una mayor eficiencia, reducción del desperdicio, mejora en la calidad, satisfacción del cliente y en la creación de un ambiente de trabajo colaborativo. Estos principios transformaran la industria de la construcción en una que sea más efectiva, rentable y centrada en el cliente.

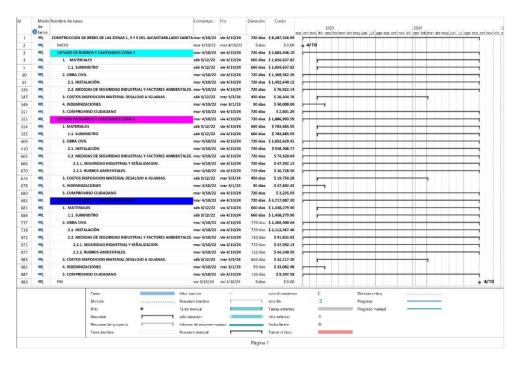
#### 4.1.4. Descripción de la propuesta de solución

Dentro de las actividades a realizar se debe primero, se debe revisar la información precontractual, esto es pliegos, planos y especificaciones técnicas para conocer condiciones del contrato como rubros del proyecto, presupuesto referencial, plazo, porcentaje de anticipo, forma de pago de las planillas, multas, personal técnico requerido, equipo mínimo solicitado para el proyecto. Una vez que se ha revisado la información documental se debe realizar una visita técnica al proyecto para conocer en sitio las condiciones del proyecto, como son vías accesos y su estado actual, cercanía con negocios que puedan abastecer con materiales de construcción, posible área para campamento, bodega y oficina de obra, condiciones de seguridad del sector, comedores cercanos y centros de salud en caso de posibles accidentes.

Posteriormente, se debe realizar la ubicación de la canteras y escombreras aprobadas por el estudio, así como la ubicación de plantas de hormigón y de abastecimiento de materiales principales, así como su respectiva distancia al sitio del campamento. Con toda la información previa del estudio del proyecto, pliegos, planos y luego de realizar la visita al sitio de la obra, canteras, botaderos, etc., se propone los siguientes pasos a seguir:

Realizar un Plan Maestro del proyecto (Master Plan) que contará con los principales entregables e hitos del proyecto, al cual se le desarrollará la sectorización, como se detalla en la Figura 31, al cual se le realizará el control semanal del avance y cumplimiento del proyecto.

Figura 31 Modelo de un Plan Maestro



Desarrollar el Look Ahead Planning que servirá para la identificación de las restricciones de manera anticipada pensado en que los 7 flujos del proyecto se encuentren liberados (Tabla 25).

Tabla 25 Flujos del proyecto

Flujo	Descripción
	Espacios seguros
Seguridad	Condiciones seguras
	Comportamientos seguros
	Pliegos (Documentos de Licitación)
Información	Planos
	Especificaciones Técnicas
	Compra
	Alquiler
Equipos	Repuestos
	Mantenimiento preventivo
	Consumibles (combustibles, lubricantes)
	Selección, cotización y negociación con proveedores
Materiales	Inspecciones a fábricas o plantas de producción
Materiales	Control de calidad de productos
	Almacenamiento en obra
Personas	Cumplimiento de personal mínimo de acuerdo a los pliegos
l elsolias	Cumplimiento de personal técnico acorde a un perfil
Requerimientos previos	Permisos
o externos	Liberaciones
	Layout
Espacio	Señalización en obra
Espacio	Protecciones colectivas
	Rutas de acceso

Elaborar un Plan Semanal en base al Look Ahead Planning, el cual deberá encontrarse libre de restricciones. Las condiciones para realizar el Plan Semanal se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26
Condiciones para realizar un plan semanal

Co programan las actividades de corte plaza	Previamente todas las restricciones deben encontrarse				
Se programan las actividades de corto plazo	liberadas				
En obra (producción) se compromete a realizarlas	Todas las actividades planificadas provienen del Look				
en el plazo indicado	Ahead Planning				
Se genera un plan semanal	Las responsabilidades del plan semanal son claras				
Identificar posibles nuevas restricciones	Para actuar de manera ágil en subsanarlas				
Realizar una revisión de los prerrequisitos de las	Identificar si sa las puede signitar en monor tiempo				
actividades	Identificar si se las puede ejecutar en menor tiempo				
Realizar disponibilidad de recursos					

Elaborado por: Arroyo (2024)

Establecer Métricas de cumplimiento y retroalimentación se debe revisar el Porcentaje del Plan Cumplido (PPC) para luego analizar las causas de no cumplimiento (CNC). Una vez que se encuentre la causa raíz se debe proponer el plan de acción y designar un responsable del seguimiento de dicho plan. Los pasos a seguir se los visualiza en la Tabla 27.

Tabla 27
Pasos a seguir para el Porcentaje del Plan Cumplido

- 1 Calcular el Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)
- 2 Analizar los motivos por los cuales no se logró obtener el 100% del Plan (CNC)
- 3 Aplicar la técnica de los 5 porqués
- 4 Tomar acciones correctivas
- 5 Estandarizar y preparar reunión de lecciones aprendidas con equipo de obra

Elaborado por: Arroyo (2024)

El desarrollo de los planes diarios corresponde al nivel último y con mayor detalle de la planificación, donde se consideran todas las tareas que se deben realizar en el día. Así como, el personal que ejecutará las tareas y los horarios que se tienen previstos para la jornada. Los planes diarios se desarrollan con los actividades o rubros que tienen mayor incidencia o peso en el presupuesto del proyecto y que además se encuentren en la ruta crítica. Los planes diarios servirán para mayor control de los maestros de obra o de los subcontratistas en el caso de que los hubiere,

donde podrán interactuar y monitorear lo que se ejecuta diariamente. La Tabla 28 presenta los pasos en el desarrollo de los planes diarios.

Tabla 28
Pasos en el desarrollo de Planes Diarios

- Evaluar los factores que pudieran afectar los recursos (daños en las maquinarias, falta de personal, clima, seguridad en el sector, etc.)
- Desarrollar el Plan diario de forma gráfica y escrita
- 3 El plan diario servirá como una herramienta de ajuste constante para direccionar el plan de trabajo semanal, para conseguir una ejecución exitosa
- 4 Se podrá incluir tareas de "último minuto", como por ejemplo: apoyo a cuadrillas, paras por huelgas, etc.

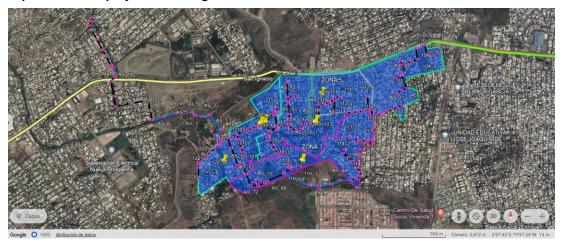
Elaborado por: Arroyo (2024)

Desarrollo de gestión visual de soporte de la sectorización como se detallan en las figuras 32 y 33, lo cual beneficia al control visual durante la ejecución del proyecto.

Figura 32 Sectorización del proyecto y control de avance



Figura 33 Implantación del proyecto en Google Earth



#### 4.1.5. Factibilidad de aplicación (en tiempo, espacio y recursos)

La factibilidad de la aplicación de Lean Construction en un proyecto de construcción puede variar según varios factores, como el tipo de proyecto, el equipo de trabajo, el nivel de compromiso y los recursos disponibles, en general, la factibilidad de Lean Construction se la puede evaluar en términos de tiempo, espacio y recursos. En función del tiempo, se evalúa la factibilidad a corto plazo y beneficios a largo plazo dado que, la aplicación de los principios Lean Construction en un proyecto puede requerir un período de adaptación y aprendizaje, lo que podría ralentizar el inicio del proyecto, y por sus beneficios a largo plazo, si se implementa de manera efectiva, Lean Construction puede acelerar la ejecución del proyecto a medida que se eliminan desperdicios y se mejoran los procesos. Los beneficios a largo plazo pueden superar los desafíos iniciales.

En función del espacio Lean Construction a menudo implica una reorganización del espacio de trabajo para optimizar el flujo de trabajo y minimizar la necesidad de transporte innecesario y por las limitaciones físicas, en proyectos con espacio limitado, la reorganización puede ser un desafío, pero se pueden aplicar conceptos lean adaptados a la situación.

En función de los recursos, se evalúa la capacitación y formación, así como el compromiso de la dirección. En lo que respecta a capacitación, la formación del

equipo en los principios de la metodología Lean Construction puede requerir recursos iniciales, pero esta inversión a menudo se traduce en ahorros y mejoras a lo largo del proyecto, siempre con el compromiso de la dirección, puesto que esta debe estar comprometida con la implementación de Lean Construction y proporcionar los recursos necesarios. Por lo que, la aplicabilidad de la metodología Lean Construction en un proyecto de construcción depende de factores como la disposición del equipo, la inversión de tiempo y recursos iniciales y la naturaleza del proyecto. Si bien puede haber desafíos iniciales, muchos proyectos de construcción han experimentado mejoras significativas en términos de eficiencia, calidad y satisfacción del cliente al adoptar enfoques lean. La factibilidad se basa en la voluntad y la capacidad de la organización para implementar y mantener estos principios a lo largo del tiempo.

#### 4.1.5.1. Disminución de costos de obra

La aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de una obra de infraestructura contribuirá en la disminución de costos al mejorar la eficiencia y eliminar los desperdicios. Centrándose en la identificación y eliminación de los desperdicios en los procesos constructivos. Los desperdicios pueden incluir tiempos de espera, movimientos innecesarios, procesos ineficientes, entre otros. Al reducir estos desperdicios, se optimiza el uso de recursos y por ende se disminuyen los costos asociados.

Mediante el diseña flujos de trabajo continuos y la eliminación de los cuellos de botella, se optimiza el flujo de trabajo reduciendo los tiempos de espera y mejorando la eficiencia general del proyecto. Gracias a los tableros visuales se podrá mostrar el estado del proyecto, los hitos alcanzados y las tareas pendientes. Esto facilita una visión clara y compartida del progreso, lo que ayudara a prevenir problemas antes de que afecten los costos. Mediante el establecimiento de estándares visuales para procesos y procedimientos, se evita la confusión y los errores, lo que contribuye a la eficiencia y reduce los costos asociados con correcciones.

Identifica y gestiona proactivamente los riesgos del proyecto por lo que, abordar los riesgos antes de que se conviertan en problemas evitará costos adicionales asociados con cambios de última hora o correcciones. Fomenta una cultura de mejora continua donde los equipos buscan constantemente formas de optimizar los procesos

y reducir los costos. La retroalimentación regular y los ajustes progresivos contribuyen a la eficiencia general del proyecto. La aplicación de Lean en la planificación no solo se trata de reducir costos directos, sino también de mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de construcción, lo que puede tener un impacto positivo en el presupuesto general del proyecto.

### 4.1.5.2. Eliminación de reprocesos en las actividades

La metodología Lean Construction se centra en la eliminación de desperdicios y la mejora continua, lo que incluye la reducción de reprocesos en las actividades de construcción. El análisis proactivo de riesgos para identificar posibles problemas y desafíos, desarrolla estrategias de mitigación y planes de contingencia para abordar riesgos potenciales antes de que afecten las actividades de construcción.

Mediante la implementación de sistemas de control de calidad que integren la inspección y verificación en cada fase del proyecto, se establecerán estándares claros y procedimientos de control de calidad para prevenir defectos y reprocesos. Fomenta una cultura de mejora continua donde los equipos buscan constantemente formas de optimizar procesos y reducir reprocesos e implementando retroalimentación regular y ajustes progresivos basados en lecciones aprendidas durante el proyecto.

Al establecer estándares visuales y procedimientos claros para cada fase del proyecto, se proporcionan instrucciones y documentación visual para reducir la probabilidad de errores y reprocesos. También, facilita el aprendizaje organizacional al finalizar cada proyecto, documentando las lecciones aprendidas y aplicando esos conocimientos en futuros proyectos para evitar reprocesos similares.

Implementando sistemas de seguimiento para evaluar continuamente el rendimiento y la calidad del proyecto, se proporciona retroalimentación oportuna para corregir desviaciones y evitar reprocesos. Mediante la aplicación de la metodología Lean Construction no solo se trata de eliminar reprocesos, sino también de cambiar la cultura y mejorar los procesos para lograr una ejecución más eficiente y efectiva del proyecto de infraestructura. La colaboración, la comunicación abierta y la mejora continua son fundamentales para el éxito en la eliminación de reprocesos.

## 4.1.5.3. Reducción de tiempo de ejecución

La aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de una obra de infraestructura ayuda a reducir los tiempos de ejecución del proyecto al enfocarse en la eliminación de desperdicios, la mejora continua y la optimización de los procesos. Las estrategias y actividades específicas para lograr la reducción del tiempo de ejecución se detallan en la Tabla 29.

Tabla 29
Estrategias y actividades para la reducción del tiempo de ejecución

Estrategias	Actividades a realizar
Planificación Colaborativa y Sistema de Planificación Última (Last Planner System)	Involucrar a todas las partes interesadas en la planificación del proyecto.  Implementar el Sistema de Planificación Última para que los equipos responsables de la ejecución participen activamente en la planificación, establezcan compromisos realistas y revisen periódicamente el progreso.
Identificación y Eliminación de Desperdicios	Realizar un análisis detallado para identificar y eliminar desperdicios en los procesos de construcción. Esto puede incluir tiempos de espera, movimientos innecesarios y procesos ineficientes.  Utiliza el principio de flujo continuo para evitar interrupciones y retrasos en la ejecución.
Estándares de Trabajo Visual	Establecer estándares visuales para los procesos y procedimientos, lo que facilita una comprensión clara y rápida de las tareas pendientes y del progreso del proyecto.  Minimizar la posibilidad de malentendidos y errores que puedan retrasar la ejecución.
Limitación de Trabajo en Proceso (WIP)	Evitar la sobrecargar a los equipos con demasiadas tareas simultáneas. Limitar el trabajo en proceso para mejorar la eficiencia y la calidad del trabajo. Enfocar a los equipos en la entrega oportuna de tareas en lugar de acumular trabajo.
Diseño Integrado y Coordinación	Facilitar la colaboración entre equipos de diseño y construcción desde las etapas iniciales del proyecto.  Adoptar metodologías de diseño integrado para abordar posibles conflictos y problemas antes de que afecten la ejecución.
Gestión de Riesgos Proactiva	Realizar un análisis proactivo de riesgos para identificar posibles problemas y desafíos que podrían afectar los tiempos de ejecución. Desarrollar planes de mitigación y contingencia para abordar riesgos potenciales antes de que impacten el cronograma.
Uso de Tecnología y Herramientas de Gestión de Proyectos	Implementar herramientas y tecnologías modernas para la gestión de proyectos que faciliten la comunicación, la coordinación y el seguimiento del progreso.  Utilizar software de planificación y colaboración para agilizar las operaciones.

Estrategias	Actividades a realizar
Mejora Continua y Aprendizaje Organizacional	Fomentar una cultura de mejora continua donde los equipos buscan constantemente formas de optimizar procesos y reducir tiempos de ejecución.  Documentar las lecciones aprendidas al finalizar cada proyecto y
	aplícarlas en futuros proyectos.
Control de Calidad Integrado	Implementar sistemas de control de calidad integrados para reducir la necesidad de retrabajo y correcciones que podrían afectar los tiempos de ejecución.  Asegurar de que la calidad se aborde de manera eficiente durante la ejecución del proyecto.
Gestión Efectiva de Cambios	Establecer un proceso eficiente para la gestión de cambios, evitando demoras y minimizando el impacto en los tiempos de ejecución.  Comunicar y coordinar los cambios de manera proactiva para mantener la continuidad en la ejecución

Al implementar estas estrategias de la metodología Lean Construction en la planificación, se optimiza la eficiencia del proyecto y se reduce los tiempos de ejecución al eliminar desperdicios, mejorar procesos y fomentar una cultura de mejora continua.

#### 4.1.6. Beneficios directos e indirectos

La aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de proyectos de infraestructura puede generar una variedad de beneficios, tanto directos como indirectos. Entre los beneficios directos, se encuentran la reducción de desperdicios, optimización de recursos, reducción de retrabajos, mejora en la productividad, gestión proactiva de cambios y reducción de los costos operativos. La eliminación de desperdicios en los procesos de construcción conduce directamente a una mayor eficiencia y ahorro de recursos, lo que se traduce en beneficios económicos tangibles. Además, con la asignación eficiente de recursos, incluyendo mano de obra, materiales y equipos, resulta en una reducción directa de costos y tiempos de ejecución.

Mediante la mejora en la calidad del trabajo desde el principio reduce la necesidad de realizar correcciones y retrabajos, lo que ahorra tiempo y recursos. Así mismo, se fomentan prácticas que mejoran la productividad, como la planificación colaborativa y la participación activa de los equipos responsables de la ejecución.

Gracias a una gestión eficiente de cambios se minimiza el impacto negativo en el cronograma y los costos del proyecto, contribuyendo directamente a la eficiencia. Mediante la optimización de procesos y la eliminación de desperdicios reducen los costos operativos asociados con actividades no productivas y la gestión ineficiente de recursos. Así mismo, como beneficios indirectos, se encuentran la cultura de mejora continua, mejora en la satisfacción del cliente, ambiente de trabajo positivo, desarrollo profesional, atracción y retención de talentos, mayor flexibilidad empresarial, sostenibilidad ambiental y menor riesgos de conflictos.

Se fomenta una cultura de mejora continua, lo que beneficiará a largo plazo al permitir a los equipos adaptarse y evolucionar para ser más eficientes en futuros proyectos. Además, mediante la entrega de proyectos más eficientes y de alta calidad se contribuye a la satisfacción del cliente. Esto puede llevar a relaciones comerciales a largo plazo, referencias positivas y una reputación mejorada.

Con la eliminación de desperdicios y la optimización de flujos de trabajo se pueden contribuir a un ambiente de trabajo más positivo al reducir el estrés asociado con prácticas ineficientes. Así mismo, mediante la aplicación de nuevas prácticas y enfoques, como los asociados con la metodología Lean Construction, se podrá contribuir al desarrollo profesional de los miembros del equipo, mejorando sus habilidades y conocimientos.

Con la adopción de enfoques modernos y eficientes se logrará que un equipo sea más atractivo para profesionales talentosos, contribuyendo a la atracción y retención de talento. Los beneficios directos e indirectos de la aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de proyectos de infraestructura se extienden desde mejoras económicas inmediatas hasta el desarrollo a largo plazo de una cultura organizacional y un ambiente empresarial más eficientes y positivos.

#### 4.2. Beneficios que aporta la propuesta

4.2.1. Beneficios en costos y tiempos mediante la aplicación de la metodología Lean Construction en la Planificación de Proyectos de Infraestructura

La aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de proyectos de infraestructura genera varios beneficios en términos de costos y tiempos. Entre los beneficios en costos, se encuentran la reducción de desperdicios, optimización de recursos, eliminación de retrabajos, reducción de inventarios, menor necesidad de inventarios de seguridad y gestión proactiva de cambios. La aplicación de la metodología Lean Construction se enfoca en la eliminación de desperdicios en los procesos de construcción puesto que, al reducir actividades que no aportan valor, se minimizan los costos asociados con recursos mal utilizados y tiempo perdido. Además, permitirá una asignación más eficiente de recursos, evitando la sobreutilización o subutilización de equipos y personal. Esto contribuirá a una gestión más eficaz de los costos.

Al mejorar la calidad del trabajo desde el principio se evitará defectos, reduciendo los costos asociados con retrabajos y correcciones que podrían surgir durante o después de la construcción. También, se busca minimizar la acumulación de inventarios innecesarios, lo incluiría materiales o equipos almacenados por demasiado tiempo. Esto ayudará a reducir costos asociados con el manejo y almacenamiento excesivo. Entre los beneficios en tiempos, se encuentran la reducción de tiempos de ejecución, planificación colaborativa, mejora continua, mayor flexibilidad y adaptabilidad, menor tiempo de espera y gestión efectiva de cambios.

Al eliminar desperdicios, se optimizarán los flujos de trabajo y se mejorará la eficiencia general contribuyendo a una ejecución más rápida de las actividades, reduciendo los tiempos del proyecto. Además, al involucrar a todas las partes interesadas en la planificación, como equipos de diseño, ingenieros y contratistas, se facilita la colaboración y la toma de decisiones eficientes, lo que acelerará el proceso de planificación. La cultura de mejora continua fomentada por Lean Construction logrará que los equipos estén constantemente buscando oportunidades para optimizar procesos y reducir tiempos, contribuyendo a una ejecución más rápida. Además, la optimización de flujos de trabajo y la reducción de tiempos de espera contribuyen a una ejecución más rápida, evitando la pérdida de tiempo en actividades no productivas.

Todos estos beneficios ayudan a mejorar la eficiencia general del proyecto, reduciendo tanto los costos como los tiempos de ejecución, también es importante destacar que la implementación exitosa de la metodología Lean Construction requiere un compromiso integral de todas las partes involucradas en el proyecto.

## 4.2.2. Beneficios que aporta a los profesionales del sector de la construcción

La aplicación de la metodología Lean Construction en la planificación de proyectos de infraestructura aportará varios beneficios significativos a los profesionales del sector de la construcción. La eliminación de desperdicios y la optimización de procesos, conduce a una mayor eficiencia en la ejecución de tareas y en la gestión general del proyecto. Al eliminar actividades que no aportan valor y optimizar los flujos de trabajo, se puede lograr una reducción significativa en los tiempos de ejecución del proyecto. La atención a la calidad es un principio fundamental de la metodología Lean Construction, al enfocarse en la mejora continua y la eliminación de defectos, se logra una mayor calidad en la ejecución de las actividades. Además, fomenta la colaboración entre equipos y partes interesadas desde las etapas iniciales del proyecto. Esto mejora la comunicación y la coordinación, reduciendo la probabilidad de malentendidos y conflictos.

La mentalidad de mejora continua y la gestión proactiva de riesgos permiten una mayor flexibilidad y adaptabilidad a medida que evolucionan las condiciones del proyecto. La aplicación de la metodología Lean Construction requiere que los profesionales adquieran nuevas habilidades y enfoques de trabajo, lo que contribuye al desarrollo profesional. Al centrarse en la entrega de valor al cliente y en la satisfacción de sus necesidades, la metodología Lean contribuye a una mayor satisfacción del cliente, lo que puede tener un impacto positivo en la reputación y la relación con los clientes. La aplicación exitosa de la metodología Lean Construction no solo mejora la eficiencia del proyecto, sino que también crea un entorno de trabajo más positivo y colaborativo para los profesionales del sector de la construcción. Los beneficios derivados de la implementación de Lean Construction pueden tener un impacto positivo tanto a nivel profesional como personal.

## CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación de la aplicación de la metodología Lean Construction en la Planificación de un proyecto de infraestructura de alcantarillado sanitario generó un ahorro de 167,463.82 dólares que representa una disminución en el presupuesto de la oferta del 3,28%, y un incremento en los Costos Indirectos del 19% a 24%, lo que representa un incremento en la utilidad del 5%, lo que se traduce en un costo mejorado final del 8,28%, lo cual es un valor significativo en este tipo de proyecto. Con respecto al tiempo la aplicación de la metodología ayudó a llevar un control directo en el avance que se evidencia en la curva de avance acumulado, donde en ningún momento se estuvo por debajo de la curva de avance programado, adicional se prevé la disminución de un mes en el tiempo total del proyecto, lo que representa una disminución del 4,16% del plazo ofertado inicialmente.

Con la aplicación de la herramienta Look Ahead Planning para el desarrollo de una sectorización en la planificación del proyecto de alcantarillado, se logró varias ventajas significativas que contribuyeron al ahorro de tiempos, costos y la reducción de desperdicios en el proyecto. En primer lugar, la implementación de una programación a mediano plazo permitió una visión más clara y anticipada de las actividades y de los recursos necesarios en cada etapa del proyecto. Esto generó una mejor coordinación entre los diferentes equipos de trabajo y evitó retrasos en la ejecución de las tareas. Además, la sectorización optimizó la asignación de recursos y una distribución más eficiente entre los rubros del proyecto, lo llevó a una reducción significativa en los tiempos de ejecución en los rubros de movimientos de tierra e instalación de tuberías para colectores principales y secundarios. Así mismo, al identificar y priorizar las actividades críticas en cada sector, se minimizaron los tiempos de espera y maximizó la productividad en los frentes de trabajo. En términos de costos, la programación a mediano plazo permitió una mejor estimación y control del presupuesto del proyecto, al prever con mayor precisión los recursos necesarios en cada etapa, evitando gastos innecesarios y optimizando el uso de materiales y mano de obra. Contribuyendo a la reducción de los costos totales del proyecto y mejorando su rentabilidad.

Del análisis de restricciones en la planificación del proyecto de infraestructura se encontraron 68 restricciones claves que podrían impactar en diversas actividades, como excavación, relleno, construcción de cámaras y losas, así como la instalación de tuberías. Las restricciones más significativas se centraron en el suministro de materiales, la disponibilidad de equipos, y la aprobación de materiales por parte de la fiscalización. El 29,41% de las restricciones fueron regulatorias, mientras que las restricciones de proveedores y equipos también jugaron un papel importante. Para mitigar estas restricciones y evitar cuellos de botella, se implementó una supervisión rigurosa, especialmente por parte del Especialista en Programación y Control (55,88%) y el Especialista de Control de Calidad (27,94%). Como resultado, se logró asegurar que el 84% de las restricciones no afectaran negativamente el cronograma y el presupuesto del proyecto, optimizando el uso de recursos y asegurando el cumplimiento de los tiempos y costos establecidos, garantizando un flujo continuo en el desarrollo de actividades.

Con la implementación de un tren de actividades para la optimización del uso de recursos en la planificación del proyecto de alcantarillado, se logró la adopción de un tren de actividades que permitió una secuenciación precisa y eficiente de las tareas involucradas en el proyecto. Esto ha generado una distribución óptima de los recursos disponibles, evitando subutilizaciones y redundancias que podrían haber generado pérdidas de tiempo y recursos. La implementación de un tren de actividades ha facilitado una mejor coordinación entre los equipos de trabajo y los recursos necesarios en cada entregable del proyecto. Esta sincronización disminuyó los tiempos de espera e incrementó la productividad, lo que contribuyó directamente a la reducción de los plazos de entrega de los tramos de colectores y, por ende, a la optimización del tiempo empleado en la ejecución del proyecto.

Con la definición de criterios en la gestión de producción para la mejora de los rendimientos en los rubros principales del proyecto de alcantarillado, se identificaron diversas ventajas que contribuyeron significativamente al ahorro de tiempos, costos y la reducción de desperdicios en el desarrollo de la obra. En primer lugar, la definición de criterios claros en la gestión de producción ha permitido una mayor eficiencia en la ejecución de las actividades relacionadas con los rubros principales del proyecto. Al establecer estándares y procedimientos específicos, se ha optimizado el uso de

recursos como la mano de obra, los materiales y los equipos, lo que ha llevado a una mejora general en los rendimientos de producción. Además, la implementación de estos criterios ayudó en el desarrollo de una planificación más precisa y detallada de las actividades mejorando la coordinación entre los diferentes frentes de trabajo y distribuyendo de una forma más eficiente los recursos disponibles. Esto ha contribuido a la reducción de los tiempos de ejecución y al cumplimiento del avance acumulado en los plazos establecidos para el proyecto.

Con relación a los costos, la definición de criterios en la gestión de producción ha conducido a una optimización en el uso de los recursos financieros asignados al proyecto. Al mejorar los rendimientos en los rubros principales, se han minimizado los costos asociados con la mano de obra, los materiales y maquinaria, lo que resultó en una reducción general de los costos del proyecto y una mejora en su rentabilidad.

## RECOMENDACIONES

Dado que la metodología Lean Construction es poco conocida y aplicada en proyectos de construcción en Ecuador, recomiendo enfocarse en la sensibilización, capacitación y promoción de esta metodología entre los actores clave del sector de la construcción en el país y abogar por la inclusión de contenidos relacionados con Lean Construction en los programas de estudio de las carreras de Ingeniería Civil.

Aunque los resultados hasta ahora son positivos, es importante continuar monitoreando y evaluando el proyecto a medida que avanza. Esto permitirá detectar cualquier desviación en los costos o tiempos y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Promover una cultura de colaboración y trabajo en equipo entre los diferentes equipos y disciplinas involucradas en el proyecto. Esto ayudará a maximizar la eficiencia y minimizar los conflictos, contribuyendo así a la optimización de costos y tiempos.

Investigar y evaluar la viabilidad de incorporar tecnologías emergentes, como la construcción modular o la realidad virtual, para mejorar aún más la eficiencia y la productividad en el proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Accostupa, R., Basurto, L., Castro, J., & Portales, J. (2022). Propouesta de mejora en la confiabilidad de la gestión de proyectos, aplicando herramientas de la filosofía Lean Construction y estándares del PMI, en un proyecto de edificación multifamiliar en la ciudad de Lima metropolitana [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)].
  - https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/660171
- Ahmad, S., Wasim, S., Irfan, S., Gogoi, S., Srivastava, A., & Farheen, Z. (2019).
  Qualitative v/s. Quantitative Research- A Summarized Review. *Journal of Evidence Based Medicine and Healthcare*, 6(43), 2828–2832.
  https://doi.org/10.18410/jebmh/2019/587
- Álvarez, P. (2018). Introducción a la Teoría de Restricciones (TOC); Una mirada a sus fundamentos y aplicaciones. *Estrategia Focalizada*, *August*, 26.
- Arias, F. (2018). La tesis doctoral El caso venezolano. *Paradigma*, 39(1), 138–149.
- Constitución de la República del Ecuador, Constitución de la República del Ecuador 219 (2021). https://doi.org/10.17163/alt.v2n2.2007.04
- Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, (2024). doi: 10.18410/jebmh/2019/587
- Código orgánico de planificación y finanzas públicas, 101 (2022).
- Bajjou, M., Chafi, A., & En-Nadi, A. (2017). A comparative study between lean construction and the traditional production system. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 118–132. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control* [University of Birmingham]. https://lean-construction-gcs.storage.googleapis.com/wp-content/uploads/2022/09/08152942/the-last-planner-system-of-production-control-ballard2000-dissertation.pdf
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). Shielding Production: Essential Step in Production Control. *Journal of Construction Engineering and Management*, *124*(1), 11–17. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281998%29124%3A1%2811%29
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). Lean project management. *Building Research and Information*, 31(2), 119–133. https://doi.org/10.1080/09613210301997
- Botero, F., & Álvarez, M. (2004). Guia de mejoramiento continuo para la

- productividad en la construcción de proyectos de vivienda (lean construction como estrategía de mejoramiento). *Revista Universidad EAFIT*, *40*(136), 50–64. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/17183/document 2020-08-15T162704.591.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Bou Hatoum, M., Nassereddine, H., & Badurdeen, F. (2021). Reengineering
  Construction Processes in the Era of Construction 4.0: a Lean-Based
  Framework. IGLC 2021 29th Annual Conference of the International Group for
  Lean Construction Lean Construction in Crisis Times: Responding to the PostPandemic AEC Industry Challenges, 403–412.

  https://doi.org/10.24928/2021/0126
- Brioso, X. (2015). El análisis de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y su relación con el project & construction management: Propuesta de regulación en españa y su inclusión en la ley de la ordenación de la edificación [Universidad Politécnica de Madrid].

  https://oa.upm.es/40250/1/XAVIER\_MAX\_BRIOSO\_LESCANO.pdf
- Brioso, X. (2017). Sinergias entre el Last Planner System y la OHSAS 18001 Una visión general. *Building & Management*, 1(2), 24. https://doi.org/10.20868/bma.2017.2.3551
- Burneo, L. (2013). Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de una carretera aplicando Filosofía Lean Construction [Universidad de Piiura]. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37024562/ICI\_1953-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637288319&Signature=acYH9yNP3GtEqDYMTK5zoEay0dMc2Z07umQiZQSO9ef4hSQg4sbtvmO-4E3xp8qZq5j-wEOQxnMMqGwbyC3G5jq1ldF7Mv4aDsuhG1zWHD0jrBo1VnXUkRDtqh9jz-9-h~eZMIDld6IWQWY8M-o
- Normas de control interno de la Contraloria General Del Estado, Pub. L. No. Regist.

  Of. Supl. 87 14-dic.2009, 87 Registro Oficial Suplemento 87 de 14-dic.-2009 1
  (2009).

  http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic5\_ecu\_ane\_cge\_12\_nor\_con\_int\_400\_cge.pdf
- Creswell, J. (2014). Research Design Qualitative, Quantitative, and Mixed-Methods Approaches. In Sage (Ed.), Research Design Qualitative, Quantitative, and Mixed-Methods Approaches (4th ed.). https://doi.org/10.1128/microbe.4.485.1 EMAPAG-EP. (2021). Documentos de Licitación para la Contratación de LPI-5:

- Construcción de Redes de las Zonas 1, 3 y 5 del Alcantarillado Sanitario del Sistema 3-Fase3.
- Gómez, H., & Orobio, A. (2015). Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras. *DYNA*, *82*(193), 155–164. https://doi.org/10.15446/dyna.v82n193.47453
- Gondim, T., De Souza, C., Del Grosso, R., Regina, N., Ribeiro, N., & Marcelino, G. (2024). Methodology to avoid the ocurrence of making-do waste in civil construction. *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC32)*, 32, 341–352. https://doi.org/https://doi.org/10.24928/2024/0124
- Gonzalez, S., Manosalvas, L., Bustillos, S., & Jimenez, J. (2019). Planificación estratégica para mejorar la calidad en la construcción de viviendas de la Empresa Diteco Constructores, con el proyecto Ceibo Real, en Quevedo. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores, 11*(1), 1–14. https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/1356/1688
- Hamzeh, F., Ballard, G., & Tommelein, I. (2009). Is the Last Planner System applicable to design? A case study. *Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 165–176.
- Hamzeh, F., Ballard, G., & Tommelein, I. D. (2012). Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow. Lean Construction Journal, 2012(January), 15–34. https://www.researchgate.net/profile/Farook-Hamzeh/publication/242112250\_Rethinking\_Lookahead\_Planning\_to\_Optimize \_Construction\_Workflow/links/0deec51d52c5dba37c000000/Rethinking-Lookahead-Planning-to-Optimize-Construction-Workflow.pdf
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill.
- Hopp, W., & Spearman, M. (2008). Factory Physics (Waveland (ed.); 3er ed.). https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=TfcWAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP2&dq=Factory+Physics+3rd+Edition+hopp+and+spearman&ots=w-XIN7p7iH&sig=2fghHoOQha48trl3wrKHYkJrZw4&redir\_esc=y#v=onepage&q=Factory Physics 3rd Edition hopp and spearman&f=false
- Koskela, L., & Howell, G. (2002). The underlying theory of project management is obsolete. *IEEE Engineering Management Review*, *36*(2), 22–34.

- https://doi.org/10.1109/EMR.2008.4534317
- Lagos, C., Herrera, R., Mac Cawley, A., & Alarcón, L. (2024). An Al Copilot for Make-Ready Planning in the Last Planner System. *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 32)*, 365–376. https://doi.org/10.24928/2024/0155
- Lyon, A. (2018). Aplicación Del Enfoque Lean a La Dirección De Proyectos En La Industria De La Construcción [Universidad de Chile]. In *Universidad De Chile*. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168691/Aplicación-delenfoque-LEAN-a-la-dirección-de-proyectos-en-la-industria-de-la-construcción.pdf?sequence=1
- Meng, X. (2019). Lean management in the context of construction supply chains. *International Journal of Production Research*, *57*(11), 3784–3798. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566659
- Merrill, S., Smith, J., Farnsworth, C., & Bingham, E. (2024). Takt Time Planning in Construction and Its Impact on the Work-Life Balance for Individuals and Families. *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 32)*, 13–23. https://doi.org/10.24928/2024/0154
- Millones, M. (2020). Metodología de gestión basada en lean construction y pmbok; Para mejorar la productividad en proyectos de construcción. *Veritas*, *21*(2), 39. https://doi.org/10.35286/veritas.v21i2.276
- Miranda-Mejia, M., Torobisco-Vilca, E., & Gomez-Minaya, R. (2020). Evaluación De La Eficacia De La Aplicación De Last Planner System En Un Proyecto De Construcción En La Etapa De Acabados - Arquitectura En Perú En El Año De 2019. *Investigacion & Desarrollo*, 20(1), 193–213. https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-14i
- Mohammad-Zyoud, M., Bsharat, T., & Dweikat, K. (2024). Quantitative Research Methods: Maximizing Benefits, Addressing Limitations, and Advancing Methodological Frontiers Introduction: Disadvantages of Quantitative Methods: Advantages of Quantitative Methods: Comparison with Qualitative Methods: Researc. *ISRG Journal of Multidisciplinary Studies (ISRGJMS)*, *II*(IV), 11–14. https://doi.org/10.5281/zenodo.10939470
- Moreno, A. S. (2019). Aplicación De Las Herramientas De Lean Construction: Tren De Actividades Y Porcentaje De Plan Cumplido Para La Construccion De Edificios, Caso De Estudio: Edificio Multifamiliar Santa Maria En La Ciudad De

- Arequipa [Universidad Católica de Santa María Facultad]. In *Universidad Católica de Santa María*.
- http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9799
- Moura, L., Antonini, B., Fireman, M., Etges, B., Campos, F., & Kronbauer, B. (2024). Lean construction implementation in the construction of an airport runway. *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 32, 490–500. https://doi.org/https://doi.org/10.24928/2024/0216
- Ley Organica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestion del Suelo, Ley Organica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestion del Suelo 32 (2016). https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/LOOTUGS-Registro-Oficial.pdf
- Núñez, E., & Díaz, G. (2021). Mejora del proceso de control en proyectos viales aplicando la metodología del valor ganado. Caso proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Dv. Quilca Matarani [Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5270/MAS\_PROY-L 001.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Orihuela, P. (2011). Lean construction en el perú. *Corporación Aceros Arequipa.*Construcción Integral, 12, 1–4.

  http://www.motiva.com.pe/articulos/Lean\_Construction\_Peru.pdf
- Paredes-Gutierrez, S., Torres-Tacuri, H., & Gómez-Minaya, R. (2020). Programación De La Construcción Del Tercer Anillo De Muros Anclados De Una Edificación Aplicando El Método De Líneas De Balance. *Investigacion & Desarrollo*, 20(1), 173–192. https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-13i
- Polanco, A. (2020). Avances Tecnológicos en proyectos de ingeniería y construcción. Un enfoque integrado VDC, BIM, APD y Lean. *Universidad de Chile*, *1*, 43–58. https://www.uchile.cl/documentos/avances-tecnologicos-en-proyectos-de-ingenieria-y-construccion-un-enfoque-integrado-vdc-bim-ipd-y-lean\_157519\_2\_2732.pdf
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2019). Lean construction y la planificación colaborativa Metodología Last Planner System.
- Reglamento a la Ley Orgánica de ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, Reglamento a la Ley Orgánica de ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo 1 (2019).
- Reglamento a la Ley Orgánica Sistema Nacional Contratación Pública, 96 (2024).

- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*, *82*(82), 1–26. https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647
- Rodríguez, M. (2007). La problemática del riesgo en los proyectos de infraestructura y en los contratos internacionales de construcción. *Revista E-Mercatoria*, *6*(1), 1–29. file:///C:/Users/Arroyo Jorge/Downloads/Dialnet-LaProblematicaDelRiesgoEnLosProyectosDeInfraestruc-3625980.pdf
- Rojas, M., Henao, M., & Valencia, M. (2017). Lean construction LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *16*(30), 115–128. https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a6
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Minkarah, I. (2006). Lean Construction: From Theory to Implementation Related papers Lean Construction: From Theory to Implementation. *Asce*, *October*, 168–175. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290742-597X%282006%2922%3A4%28168%29
- Sanda, Y., Anigbogu, N., Izam, Y., & Datukun, H. (2021). Developing Questionnaire for Post Graduate Studies in Construction Management. *Journal of Surveying, Construction & Property (JSCP)*, 12(1), 17–26. https://doi.org/10.22452/jscp.vol12no1.2
- Tommelein, I. (2024). About Time-Cost Trade-Offs in Takt Planning. *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (IGLC 32), 226–237. https://doi.org/10.24928/2024/0157
- Tommelein, I., & Emdanat, S. (2022). Takt Planning: an Enabler for Lean Construction. 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2022, 866–877. https://doi.org/10.24928/2022/0198