



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION
PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL
MOVIMIENTO DE TIERRA MASIVA DEL PROYECTO PRESA
DE RELAVES DE UNA UNIDAD MINERA EN APURÍMAC, 2022”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. FERNANDO ALFEREZ MIRANDA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mis padres, Catalina Miranda y José Alferez, quienes son mi más grande motivación, alentándome en cada paso que doy, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado y sobre todo su amor infinito.

A mis hermanos, Johnny, Licely y Ruth por guiarme en cada paso de mi vida, por estar siempre presentes con sus oraciones, consejos y palabras de aliento ya que hicieron de mí una mejor persona.



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos mis compañeros de la Universidad Nacional del Altiplano y a mi familia, por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mis padres y hermanos, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

También quiero agradecer a la empresa Mota Engil Perú por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

A mis compañeros de Oficina Técnica de Mota Engil Perú en el proyecto Las Bambas, por el soporte que me brindan durante el desarrollo del proyecto y de esta investigación.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Roberto García Loayza, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de investigación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema 15

1.2. Formulación del Problema..... 16

1.2.1. Problema General 16

1.2.2. Problemas Específicos 17

1.3. Hipótesis de la Investigación 17

1.3.1. Hipótesis General..... 17

1.3.2. Hipótesis Específicas 17

1.4. Justificación del Estudio..... 18

1.5. Objetivos de la Investigación 19

1.5.1. Objetivo General..... 19

1.5.2. Objetivo Específico..... 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico 20



2.2. Marco Conceptual.....	28
2.2.1 Represas de relave	28
2.2.1.1. Movimiento de tierra Masiva.....	29
2.2.2. Filosofía Lean Construction.....	30
2.2.2.1. Last Planner System.....	35
2.2.2.2. Planificación Maestra	40
2.2.2.3. Planificación a Medio Plazo	41
2.2.2.4. Planificación a corto Plazo	43
2.2.3. Carta Balance	43
2.2.4 Productividad	44
2.2.4.1. Factores que determinan la productividad	46
2.2.4.2. Influencia del recurso humano sobre la productividad	47
2.3. Definición de términos.....	47

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica del Estudio	49
3.2. Periodo de Duración del Estudio.....	50
3.3. Procedencia del Material Utilizado	50
3.4. Población y Muestra del Estudio.....	51
3.5. Diseño Estadístico	51
3.6. Procedimiento.....	52
3.7. Variables	52
3.8. Análisis de los Resultados.....	56



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados	57
4.2. Discusión	120
V. CONCLUSIONES	123
VI. RECOMENDACIONES	125
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

TEMA: Filosofía Lean Construction

AREA: Productividad y liderazgo en gestión de obras

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y gerencia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de octubre del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fabricación vs construcción	31
Figura 2	Motivo de perdidas en la construcción	33
Figura 3	Aplicación de Lean en las etapas de un proyecto	34
Figura 4	Principales Ventajas de Last Planner	36
Figura 5	Debe-Puede-Se hará Last Planner	40
Figura 6	Funciones que se realizan toda la semana	42
Figura 7	Ejemplo de planificación a medio plazo.....	42
Figura 8	Ejemplo de Planificación semanal.....	43
Figura 9	Ejemplo de carta balance	44
Figura 10	Esquema general de Productividad.....	46
Figura 11	Factores que afectan la productividad	46
Figura 12	Ubicación de la zona de estudio	50
Figura 13	Flujograma de las actividades realizadas en la construcción del terraplén TSF	58
Figura 14	Sección transversal de Presa de Relaves	59
Figura 15	Flujograma de relleno de material Tipo 2 Matriz de análisis de datos.....	61
Figura 16	Relleno de material Tipo 2 – Sectores de relleno extensos	62
Figura 17	Conformación de material Tipo 2 – Retiro de Islas.....	62
Figura 18	Flujograma de relleno de material Tipo 1B.....	63
Figura 19	Flujograma de relleno de material Tipo 2A	64
Figura 20	Porcentaje del plan cumplido	75
Figura 21	PRE TEST- Causas de Incumplimiento acumulado.....	76
Figura 22	Organigrama de obra	80
Figura 23	Sectorización material Tipo 2.....	81



Figura 24	Sectorización material Tipo 2A – 1B	82
Figura 25	Tren de Trabajo para el material Tipo 2	83
Figura 26	Tren de Trabajo para el material Tipo 1B	84
Figura 27	Tren de Trabajo para el material Tipo 2A	85
Figura 28	Plan maestro de las actividades de la Presa de relave etapa 5.	86
Figura 29	Lookahead Planning	95
Figura 30	Restricciones en la partida de movimiento de tierras.	97
Figura 31	Porcentaje del plan cumplido	108
Figura 32	PRE TEST- Causas de Incumplimiento acumulado.....	109
Figura 33	Comparación de PPC antes y después de la aplicación de Lean Construction	109
Figura 34	Incidencia de valorización mensual.....	114



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Problemas crónicos de la construcción	31
Tabla 2.	Componentes en el Plan Maestro.....	40
Tabla 3	Operacionalización de variables	54
Tabla 4	Operacionalización de variables	55
Tabla 5	Matriz de análisis de datos	56
Tabla 6	Diagnóstico inicial en los meses de noviembre, diciembre y enero	65
Tabla 7	Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5	66
Tabla 8	Rendimiento de la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5	67
Tabla 9	Diagnóstico inicial en el mes de enero	68
Tabla 10	Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5	69
Tabla 11	Diagnóstico inicial en el mes de enero	70
Tabla 12	Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5	71
Tabla 13	Rendimiento de la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5	71
Tabla 14	Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2	72
Tabla 15	Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 1B..	72
Tabla 16	Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2A .	73
Tabla 17	Resumen de cartas Balance del material Tipo 2	73
Tabla 18	Resumen de cartas Balance del material Tipo 1B	74
Tabla 19	Resumen de cartas Balance del material Tipo 2A	74



Tabla 20	Porcentaje de plan cumplido	75
Tabla 21	Restricciones en la etapa de Pre Test	76
Tabla 22	Acciones correctivas	77
Tabla 23	Diagnóstico Post Aplicación (Mes de febrero, marzo y abril).....	98
Tabla 24	Rendimiento Post Aplicación de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5	99
Tabla 25	Rendimiento Post Aplicación de la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5	100
Tabla 26	Diagnóstico Post Aplicación en los meses de febrero, marzo y abril	101
Tabla 27	Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5	101
Tabla 28	Diagnóstico post Aplicación	102
Tabla 29	Rendimiento post aplicación en la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5	103
Tabla 30	Rendimiento post aplicación en la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5	103
Tabla 31	Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2 ..	104
Tabla 32	Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 1B	104
Tabla 33	Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2A	105
Tabla 34	Resumen de cartas Balance después de la aplicación de Lean en el material Tipo 2	105
Tabla 35	Resumen de cartas Balance después de la aplicación de Lean en el material Tipo 1B	106
Tabla 36	Resumen de cartas Balance del material Tipo 2A	106
Tabla 37	Porcentaje de plan cumplido post test.....	107



Tabla 38	Restricciones en la etapa de Post Test	108
Tabla 39	Porcentaje de avance programado en relación al avance real	110
Tabla 40	Ruta crítica del pre test	110
Tabla 41	Porcentaje de avance programado en relación al avance real	111
Tabla 42	Ruta crítica del post test	111
Tabla 43	Costo de obra antes y después de la implementación de Lean Construction	113
Tabla 44	Prueba de normalidad al cronograma de obra.....	115
Tabla 45	Estadísticas de muestras emparejadas.....	115
Tabla 46	Correlación de muestras emparejadas.....	116
Tabla 47	Prueba T de Student respecto al cronograma de obra.....	116
Tabla 48	Prueba de normalidad al costo unitario de relleno.....	117
Tabla 49	Estadísticas de muestras emparejadas.....	117
Tabla 50	Correlación de muestras emparejadas.....	117
Tabla 51	Prueba T de Student respecto al costo unitario de relleno	118
Tabla 52	Prueba de normalidad al costo unitario de relleno.....	118
Tabla 53	Estadísticas de muestras emparejadas.....	118
Tabla 54	Correlación de muestras emparejadas.....	119
Tabla 55	Prueba T de Student respecto al costo unitario de relleno	119



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

IPD	: Integrated Project Delivery
BIM	: Building Information Modeling
LPS	: System Last Planer
PPC	: Porcentaje de Plan Cumplido
CNC	: Causas de no cumplimiento
TC	: Trabajo Contributorio
TNC	: Trabajo no Contributorio
TP	: Trabajo Productivo
LS	: Last Planner
JIT	: Just in time
LC	: Lean Construction
HH	: Horas Hombre
ISP	: Informe Semanal de Producción



RESUMEN

En el sector construcción, la deficiente implementación de metodologías que permitan alcanzar las metas deseadas en los proyectos, afecta el desarrollo desde la planificación hasta su ejecución y a lo largo de toda su gestión. Ante esta problemática, esta investigación tuvo como objetivo aplicar la filosofía Lean Construction para mejorar la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto presa de relaves de una unidad minera en Apurímac-2022. Esta investigación planteó trabajar con una metodología de tipo aplicada que se basó en aplicar conocimientos o teorías que proporcionaron una solución óptima para una realidad problemática, por otro lado, se estructuró siguiendo una metodología cuantitativa y alcance descriptivo con un diseño experimental. Asimismo, la muestra de esta investigación estuvo conformada por las partidas de movimiento de tierras del proyecto denominado “Presa de relaves de la unidad minera Las Bambas -2022”. Para determinar la mejora en la productividad se realizó un diagnóstico inicial en donde se identificó la producción durante tres meses, posterior a ello se implementó la herramienta Last Planner en donde se identificaron las restricciones ocurridas en obra. Asimismo, se utilizó el instrumento de las cartas balance para identificar las mejoras ocurridas en obra, concluyendo que la productividad luego de haber aplicado el método de Lean Construction aumentó un 79.82%, 81.26% y 85% en el relleno de los 3 materiales respectivamente, favoreciendo considerablemente a la ejecución del proyecto, ya que se produjo una disminución de costo y tiempo.

Palabras clave: Productividad, lean Construction, last planner system, carta balance, cronograma de obra.



ABSTRACT

The construction sector has been affected by the lack of methodologies that allow reaching the desired goals, causing the proposed activities to not be fulfilled throughout the management of a project, from its planning to its execution. Given this problem, this research aims to apply the Lean Construction philosophy to improve productivity management in the massive earthworks of the Tailings Dam project of a mining unit in Apurimac-2022. This research proposes to work with an applied type methodology that was based on applying knowledge or theories that provided an optimal solution for a problematic reality, on the other hand, it had a quantitative approach, experimental design and descriptive scope where it was considered as a sample the items of earthworks of the project "Tailing dam of the Las Bambas mining unit -2022". To determine the improvement in productivity, an initial diagnosis was made where the production was identified for three months, after which the Last Planner tool was implemented where the restrictions that occurred on site were identified, and then through the use of Balance Chart identify the improvements occurred on site, concluding that productivity after having applied the Lean Construction philosophy increased by 79.82%, 81.26% y 85% considerably favoring the execution of the project, since there was a decrease in cost and time.

Keywords: Productivity, lean Construction, last planner system, balance sheet, work schedule.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

A nivel mundial, la industria de la construcción afronta diversos desafíos relacionados con las actividades y procesos que no adicionan valor a su cadena de suministro resultando ineficiente y de baja productividad. Una de las deficiencias que se encuentra en el sector construcción, son los retrasos en la gestión de los cronogramas establecidos en cada proyecto y la gestión de los residuos (Aristizábal et al., 2022).

Al mismo tiempo, existe un crecimiento considerable en la innovación de tecnologías para ser implementados en la gestión de proyectos de inversión en construcción civil, en este sentido las empresas cada vez se ven obligadas a implementar Lean Construction, IPD (Integrated Project Delivery) y BIM (Building Information Modeling); métodos que facilitan la gestión de los proyectos y garantizan la optimización de los procesos de producción, sostenibilidad, automatización, estandarización e industrialización, bajo el enfoque del trabajo colaborativo, lo cual permite alinear las herramientas tecnológicas a los requerimientos actuales y futuros en el sector construcción (Pons Achell, 2021)

Actualmente, en el Perú, las empresas constructoras que implementa un sistema de gestión son pocas, dado que están acostumbrados a la metodología tradicional, al ser más comunes, fáciles de comprender y de menos grado de complejidad, pese a ello, es muy importante hacer uso de herramientas innovadoras con el fin de alcanzar las mejoras de un proyecto determinado, como el Sistema Last Planner. Además, para que el país alcance un crecimiento económico, es de suma importancia que invierta en infraestructura de calidad, pero que al momento de ejecutar se reajusten los costos y cronogramas (Oliva Neyra, 2019).

En el ámbito local, la empresa constructora Mota Engil Perú S.A, se encarga de la



ejecución de la construcción del proyecto Presa de Relaves Etapa 5 dentro de la Unidad Minera las Bambas, actualmente se encuentra en la etapa de movimiento de tierra masiva, la cual presenta un retraso de tiempo de 83 días mostrando deficiencias en su programación de ejecución frente al cronograma de obra del contrato inicial y por ende esto puede influir en el aumento de coste del proyecto. (Mota Engil Perú, 2021)

Así mismo en la ejecución de la obra se evidencia que en las actividades de relleno el trabajo productivo es menor que el trabajo no productivo, por motivos tales como tiempos muertos, esperas, escaso control de actividades y paralizaciones por conflictos sociales como el suscitado en mes de diciembre del 2021 donde la operación minera se vio afectada por 21 días impidiendo de esta manera completar el porcentaje de avance planteado en un inicio (Mota Engil Perú, 2021)

La incorporación de modelos tecnológicos en el departamento de Apurímac se desarrolla de manera paulatina. Es por ello que, en el transcurso del tiempo surge la iniciativa de llevar a cabo la implementación del método Lean Construction a través de distintas herramientas para mejorar la gestión de la actividad de movimiento de tierras y así mejorar la productividad en el proyecto presa de relaves de una unidad minera en Apurímac, para demostrar la eficiencia junto a las mejoras en costo y tiempo que podría originar la implementación de este sistema.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera influye la aplicación de la filosofía Lean Construction en la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac - 2022?



1.2.2. Problemas Específicos

Problema específico 1

¿Cuál es diagnóstico inicial de gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves?

Problema específico 2

¿De qué manera influye un sistema de gestión de la productividad en base a la filosofía Lean Construction en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves?

Problema específico 3

¿Cómo mejoró la productividad aplicando la filosofía Lean Construction mediante un nuevo sistema de gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves?

1.3. Hipótesis de la Investigación

1.3.1. Hipótesis General

La aplicación de la filosofía Lean Construction mejora la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac-2022

1.3.2. Hipótesis Específicas

Hipótesis específica 1

El diagnóstico inicial evidencia una producción diaria de relleno menor a 50,000.00 m³ de movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves.

Hipótesis específica 2

El sistema de Gestión de la productividad en base a la filosofía Lean Construction disminuye el costo de relleno en 5 % y aumenta el porcentaje de plan cumplido en 16%.



Hipótesis específica 3

La productividad aumenta en un 16% luego de haber aplicado la filosofía Lean Construction mediante un nuevo sistema de gestión en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac -2022

1.4. Justificación del Estudio

El presente proyecto de investigación se justifica porque en la ejecución del proyecto de movimiento de tierra masiva se presentaron diversos imprevistos, como retrasos en los tiempos de conformación y compactación de rellenos, escasez de control de actividades por la extensión del proyecto, desperdicios en obra como los tiempos de espera de equipos por falta de área de trabajo y conflictos sociales producto de las demandas de comunidades aledañas a la unidad minera. Todo esto causó que no se diera cumplimiento al cronograma planteado en un inicio, así mismo no se cumplió con los tiempos de la obra establecidos por contrato y en el peor de los casos impactar adicionalmente en su costo. De ahí nace la necesidad de usar herramientas, que permitan evitar y disminuir este tipo de problemas presentados en proyectos de movimiento de tierras masivas tal como es el caso de la Presa de Relaves Etapa 5.

En ese sentido, el presente estudio, se realiza para apreciar el panorama de la situación actual del proyecto y lograr identificar las fallas de la gestión de la productividad del área de estudio; para luego poder reducirlas o mitigarlas mediante la aplicación de la filosofía Lean Construction y así la empresa logre tener indicadores de producción óptimos, sin percibir grandes pérdidas y a su vez una buena rentabilidad en la ejecución de su proyecto. Así mismo la investigación es oportuna para dejar un antecedente de investigación para utilizar herramientas Lean en proyectos de movimiento de tierras masivas tales como presas de relaves, pads de lixiviación y carreteras para lograr el éxito en la ejecución.



1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

Aplicar la filosofía Lean Construction para mejorar la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac-2022.

1.5.2. Objetivo Específico

Objetivo específico 1

Realizar un diagnóstico inicial de la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac – 2022

Objetivo específico 2

Determinar un sistema de gestión de la productividad en base a la filosofía Lean Construction en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac – 2022

Objetivo específico 3

Evaluar la productividad aplicando la filosofía Lean Construction mediante un nuevo sistema de gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac – 2022



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

Los antecedentes considerados a nivel internacional son los siguientes:

Pérez (2021) en su estudio denominado “Implementación de Lean Construction en la construcción argentina”. La finalidad del estudio fue desechar actividades que no tengan un aporte significativo para la realización del proyecto y así mejorar la productividad de la construcción. La metodología empleada fue bajo un enfoque cualitativo, el estudio en mención implementó herramientas del Lean Construction en la planificación y control de las actividades en ejecución. Los resultados obtenidos de la investigación en primera instancia se realizó el análisis identificando los motivos porque no se cumplieron las actividades planificadas, teniendo a los trabajos previos no completado y planos incompletos como principales motivos de incumplimiento, luego de la implementación de las herramientas de Lean Construction se logró mejorar la productividad y reducir el porcentaje de incumplimiento, logrando tener un 80% de porcentajes de actividades completadas, de esta manera no se alcanzó el 100 % pero si se logró reducir la brecha de incumplimiento. De la investigación se concluyó que la implementación de la metodología Lean Construction si es posible en proyectos de construcción, obteniendo resultados positivos, además es de suma importancia el compromiso con los trabajadores, proveedores y contratistas para realizar una buena gestión de producción.

Latorre et al. (2019) en su artículo de investigación “Aplicación de un modelo Lean -BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación”. La finalidad del estudio fue realizar una propuesta de un modelo que mejore la productividad en los proyectos de edificación en BIM. El enfoque de investigación fue



mixto, ya que los casos estudiados se analizaron mediante métodos cualitativos y cuantitativos. Los resultados fueron favorables en los seis proyectos estudiados, debido a que se tuvo un ahorro del 40% en el tiempo, teniendo una reducción de 65% en horas hombres en promedio, significando un ahorro de dinero que beneficia a la empresa constructora o encargada del modelamiento BIM. La investigación concluyó que el modelo propuesto para mejorar la productividad si es válido y efectivo, además alcanza una mejor productividad en el uso del BIM para proyectos del sector construcción, generando una alta calidad de entrega en los proyectos.

Reyes (2020) en su investigación titulada “Integración y Análisis de eventos de mejora con Lean Construction en proyectos mineros de Codelco”, tuvo como propósito integrar y analizar las lecciones aprendidas de procesos constructivos anteriores para acrecentar la probabilidad de éxito en el acatamiento de metas de construcción de futuros proyectos que realicen trabajos mineros, de infraestructura o movimiento de tierra. Este trabajo se desarrolló tomando en cuenta la conceptualización del problema, documentación, recopilación y organización de datos, digitalización de la información, manejo y análisis de datos. Tuvo como resultado al momento de analizar los CNC (causas de no cumplimiento) los problemas de confidencialidad, la no estandarización de los procesos y mala planificación; asimismo en el estudio de los eventos de perfeccionamiento, se rescataron algunas acciones que se toman como forma preventiva del CNC las cuales son, la forma de disciplina operacional y mejora continua. De la investigación se concluyó que todas las medidas propuestas para mejorar el CNC tuvieron un grado de efectividad mayor al 75%.

Álvarez (2019) en su investigación titulada “Estudio de Productividad Aplicando la Metodología de Lean Construction Caso Túnel Vial 8, Guaduas – Cundinamarca”, tuvo como propósito la evaluación de la productividad de la obra de construcción del túnel vial



8 con la metodología Lean y realización de recomendaciones para reducir pérdidas de recursos y materiales en obra. Realizo la búsqueda de investigaciones relacionadas a información que contenga la metodología Lean en su país aplicada en túneles, inspecciono si la empresa ejecutora se ha implementado con la metodología Lean, luego presentó una guía de aplicación del método Lean Construction en relación a la estructura de organización de la empresa. Tuvo como resultado que las actividades de revestimiento estructural y excavación representan la ruta crítica en los proyectos de construcción de túneles. Asimismo, el movimiento de tierras y la existencia de depósitos de materiales aleatorios favorecen al afloramiento de agua. Por lo tanto, se concluye que la metodología Lean Construction funciona como soporte de la productividad, al disminuir actividades y prácticas que afectan el desarrollo del proyecto.

Xing et al. (2021) en su artículo titulado “Implementing Lean Construction Techniques and Management Methods in Chinese Projects: A Case Study in Suzhou, China”, tuvo como objetivo descubrir si la industria de la construcción China ha descubierto desde entonces como usar prácticas Lean, para acrecentar el valor del proyecto, reducir el cronograma del proyecto, optimizar la calidad y reducir desperdicios. Se realizó mediante un estudio de proyecto Lean Construction (LC) en Suzhou, China. Tuvo como resultado que el rendimiento general en la obra mejoró significativamente en función a la incorporación de herramientas como el Last Planner (LS) y Just in time (JIT) en seguridad y gestión de calidad. De esto se concluyó que la implementación de las herramientas LC reduce los defectos y el tiempo de espera en el proyecto. Además, la mejora del flujo de trabajo de construcción junto con la calidad y productividad son los dos beneficios más representativos de las prácticas Lean.

Saad & Chafi (2020) en su investigación “Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process” tuvo como objetivo



evaluar el impacto de la aplicación de principios de Lean Construction en el desempeño de las operaciones de refuerzo utilizando un enfoque de simulación de eventos discretos (DES). La metodología empleada fue por mapeo de procesos de las operaciones de refuerzo a través de la observación de campo y entrevistas a los jefes de obra involucrados en el proyecto seleccionado. Posteriormente, se recopilaron datos cuantitativos y luego se utilizaron para identificar la mejor densidad probabilística, y la utilización del software ARENA. Los resultados indican que los principios Lean son efectivos para mejorar el rendimiento del proceso de construcción seleccionado. Las mediciones de rendimiento de salida para el modelo del mundo real y el modelo Lean revelaron que Lean Construction llevaron a una mejora del 41 % en la productividad del proceso, una mejora del 14 % en la eficiencia del proceso y un 17 % reducción del tiempo de ciclo. Las conclusiones indican que se necesitan trabajos futuros para extender este estudio a diferentes tamaños de proyectos y más procesos de construcción complejos (por ejemplo, proceso de albañilería y operaciones de vertido de concreto).

Se tiene como antecedentes nacionales los siguientes autores:

Choquesa (2019) en su trabajo de investigación titulado “Mejora de la productividad en proyectos de edificación mediante el sistema de gestión BIM-LEAN”, tuvo por finalidad incrementar la productividad en proyectos de edificación a través de un sistema moderno. La investigación fue adaptativa y el método es explicativa bajo un enfoque mixto. Los resultados de la investigación, posterior a la implementación del sistema de gestión BIM-LEAN, evidencia que la productividad mejoró en cuanto al tiempo de ejecución, disminuyendo de 30 días a 23 días en la construcción, así mismo el factor económico se tenía una pérdida de 1616.90 soles que logró ser reducido a 119.50 soles, por otro lado, el porcentaje de actividades completadas fue creciendo de manera progresiva, en la semana 01 se tuvo el 40% y la semana 07 tuvo un 80% del 100%. La



investigación concluye que el sistema de gestión del BIM – LEAN se enfoca en realizar un planeamiento, mejorar la productividad, disminuir los plazos de ejecución, mayor rentabilidad y mejor calidad de construcción en el proyecto.

Silva (2020), en su artículo titulado “Indicadores de la productividad aplicados al movimiento de tierras masivo” tuvo por objetivo general finalizar el proyecto con el costo y plazo pactado con la optimización de la maquinaria. La metodología consistió en evaluar los indicadores de productividad, el enfoque de investigación fue cualitativa. Los resultados del análisis preliminar de la obra, determinan que las actividades productivas son deficientes, debido a la poca actitud del personal, además se evidenció una pérdida de horas maquinas semanales, con la aplicación de los indicadores de productividad del Lean Construction se pudo reducir las horas hombres a un promedio de 1.05 HH/m² y el cumplimiento de actividades programadas superior al 56%. La investigación concluyó que las actividades programadas necesitan de una supervisión y control en el trabajo del personal para incrementar la productividad.

Arévalo (2018) en su proyecto “Implementación de la metodología Lean Construction en la productividad de la construcción del proyecto casa club recrea las Magnolias – Breña” tuvo por objeto de estudio establecer la incidencia de la aplicación de la metodología Lean Construction que ayuda a mejorar la productividad en la construcción del proyecto en mención. La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo con diseño descriptivo- experimental. Los resultados obtenidos tras la utilización del Last Planner evidenció la reducción de la variabilidad de las actividades ejecutadas, además, con la herramienta PPC el porcentaje de planificación fue superior al promedio, también el ISP, informe semanal de producción evidencio las ganancias en horas hombres de las partidas de vaciado de concreto, encofrado y desencofrado y en acero representando el 18%, 14% y 3% respectivamente; y finalmente tras la aplicación



de cartas balance se redujo el personal en base a la eficiencia de 6 personas a 5 teniendo un rendimiento de 1,42 HH/m³. La investigación concluye en que existe un ahorro significativo en tiempo y dinero que beneficia a la empresa constructora, además, la implementación de las herramientas del Lean Construction influye de manera positiva en la construcción del proyecto.

Huapaya y Torres (2021) en su trabajo de investigación titulado “Implementación de la Metodología Lean Construction y las Herramientas de la Calidad para mejorar la productividad en la Obra de Reconstrucción y Modernización de la Institución Educativa N°21508 ubicado en el Distrito de Imperial - Provincia de Cañete- Departamento de Lima”. Plantearon el objetivo de implementar algunas herramientas Lean para mejorar la productividad en la obra de reconstrucción y modernización de la Institución N°21508. Esta investigación se estructura bajo un enfoque cuantitativo, el diseño propuesto fue no experimental, aplicado de nivel explicativo. Teniendo como resultado que la mejora de los rendimientos de los equipos de trabajo superó el 20% y los avances programados alcanzaron un 87% respecto al avance mensual tras la aplicación del método Lean. Se concluyó también que el exceso de trabajo improductivo fue ocasionado por la deficiente planificación lo cual generó el bajo rendimiento. Esto evidencia que el uso del Lean permite mejorar la confiabilidad de la planificación de actividades en obra.

Collachagua (2017) en su proyecto de investigación titulado “Aplicación de la metodología Lean Construction en la Construcción de departamentos multifamiliares "La Toscana"; como herramienta de mejora de la productividad”, tuvo como finalidad determinar el nivel de beneficio de la implementación de herramientas del Lean Construction para mejorar la productividad en la obra del multifamiliar “La toscana”. La investigación se realizó bajo el enfoque cuantitativo de tipo descriptivo con un diseño no experimental. Los resultados evidenciaron una mejora en el porcentaje de trabajo



productivo (TP) con 46%, trabajo contributorio (TC) con 34% y trabajo no contributorio (TNC) con 20%, en relación a los porcentajes obtenidos en obras de gestión convencional sin la aplicación de la metodología Lean donde, el TP= 32 %, TC= 43 % y TNC= 25 %. Se concluyó que la aplicación de la metodología Lean Construction, optimiza la distribución de tiempo lo cual se refleja en el aumento de trabajo productivo, la disminución del trabajo contributorio y la eliminación de trabajo no contributorio, lo cual evidencia una influencia significativa y beneficiosa respecto a la ejecución de obras de construcción.

Garay (2020) en su investigación titulada “Análisis Comparativo respecto a la Aplicación del enfoque Tradicional y el Enfoque Lean Construction en la Productividad del Proyecto Residencial "Gonzales I" - San Miguel”, tuvo como propósito contrastar las partidas estructurales del proyecto multifamiliar “Gonzáles I” desarrolladas con la metodología Lean Construction y el método convencional. Tuvo como metodología descriptiva y comparativa, se obtuvo como resultado que la gestión convencional de los proyectos de construcción en comparación a la metodología lean es menos efectiva, ya que las herramientas lean favorecen la optimización de recursos y actividades en obra lo cual se traslada a un aumento en los niveles de productividad del equipo de trabajo. Se concluyó que es beneficioso utilizar nuevos métodos para establecer un mejor control y mantener el orden en los procesos constructivos en una obra.

Quispe (2017) en su tesis titulada “ Aplicación de “Lean Construction” para mejorar la productividad en la ejecución de obras de edificación, Huancavelica, 2017”, tuvo como objetivo determinar la influencia de la aplicación de las técnicas Lean en la productividad durante la ejecución de obras de edificación en Huancavelica , mediante una metodología experimental – cuasi experimental, utilizó una población muestral no probabilística y se aplicó una encuesta con 20 preguntas. Se tuvo como resultado en el



diagnóstico inicial como trabajos productivos (TP) un 31%, trabajos contributarios (TC) un 41% y trabajos no contributarios (TNC) un 27% y luego de la aplicación de Lean Construction un TP de 29%, un TC de 37% y un TNC 24%. Se concluyó que con la carta balance el trabajo de productividad se mejoró en un 3%.

Paredes (2019) en su tesis titulada “Aplicación de la metodología Lean Construction para mejorar la productividad en obras de edificación de la ciudad de Trujillo”, tuvo como propósito determinar la influencia de la aplicación de Lean en la productividad de las obras de edificación. Tuvo una metodología de tipo explicativo, corte transversal y diseño cuasi experimental; donde se empleó una población muestral no probabilística y también se aplicó una encuesta de 17 preguntas. Se tuvo como resultado en el diagnóstico inicial un porcentaje de 9% en trabajos productivos (TP), 29% en contributarios (TC) y 62% en no contributarios (TNC); a comparación del diagnóstico luego de aplicar las teorías de Lean se obtuvo un 15% de TP, un 46% de TC y un 39% de TNC. Se concluyó un aumento de trabajo de productividad en 6% y con la carta de balance un aumento de productividad de 36%.

Torres (2018) en su investigación titulada “Análisis y mejora de la productividad aplicando la metodología Lean Construction en el mejoramiento de la Av. Pedro Motta en San Juan de Miraflores – Lima”, tuvo como objetivo aplicar la metodología Lean para mejorar la productividad en el mejoramiento de la Av. Pedro Motta. Tuvo una metodología de tipo aplicada, con diseño metodológico no experimental y se desarrolló mediante la utilización de herramientas de la metodología Lean como son el Sistema Last Planner, Carta Balance y la técnica de los 5 porqués. Se tuvo como resultados al aplicar la metodología Lean un porcentaje de plan cumplido promedio de 75%, una reducción del TNC (trabajo no contributivo) entre 4% y 20% y un aumento del TP (trabajo de productividad) entre un 4% y 20%. Se concluyó que la aplicación de la metodología Lean



mejora la productividad de obra, estabiliza los flujos de trabajo, elimina actividades que no dan valor y reduce incidencias de obra.

Zegarra (2020) en su tesis titulada “Diagnóstico y Evaluación de Indicadores Generales de Productividad en Obras de Edificaciones Multifamiliares en la Ciudad de Arequipa”, tuvo como finalidad diagnosticar y evaluar los índices de productividad en las obras de edificaciones multifamiliares en la ciudad de Arequipa. Se realizó un levantamiento de información, medición de la zona de estudio mediante formatos de indicadores generales de productividad y se aplicó cuestionarios a los principales involucrados. Tuvo como resultados, que el trabajo productivo fue de 31.95% del tiempo total de ocupación del trabajador y que el trabajo no productivo fue de 31.19%. Se concluyó que existe una relación entre el nivel de adherencia de la productividad y la metodología Lean, por lo que se planteó líneas de acción que mejoren la productividad y disminuyan desperdicios.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1 Represas de relave

Según indica el Ministerio de Energía y Minas (2020), estos componentes generalmente son utilizados en proyectos mineros para almacenar los residuos generados tras los procesos de extracción, sin embargo, también pueden utilizarse para almacenar agua. A nivel mundial, existen alrededor de 30,000 minas industriales y se estima alrededor de 3,500 represas de relave como mínimo. Asimismo, las dimensiones de este tipo de infraestructura pueden llegar a 300m de altura. El funcionamiento de las represas de relave consiste en depositar los residuos sólidos en el agua para tamizar y separar dichos elementos del líquido que posteriormente puede ser reutilizado.

Respecto a los métodos de construcción de las represas de relave, generalmente se reemplaza el hormigón armado por tierra, piedras o material de desecho, debido a los



costos que implica la construcción de represas de hormigón, sin embargo, estos métodos son los más inestables ya que en la medida que va aumentando el volumen de la represa los cerramientos se elevan proporcionalmente, lo cual aumenta la profundidad de la represa y puede ocasionar fugas (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

En este sentido, el mantenimiento y control de los drenajes cobra vital importancia ya que las fallas que pueden ocurrir al implementar este tipo de represas de relave constituyen un peligro para el ecosistema en donde se emplaza Asimismo las fugas de sustancias tóxicas afectan la calidad de vida de los propios seres humanos directa o indirectamente (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

En lugar de hormigón armado, se usan rocas o tierra para crear barreras en las represas de relave. Sin embargo, en la mayoría de estas represas se aplica el método de construcción más barato, pero más peligroso, utilizando los desechos mismos para crear una barrera. La represa se eleva continuamente para dar cabida a más residuos. Estas represas son más inestables y más propensas a fugas (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

Las represas de relave deben tener mantenimiento y supervisión con regularidad para garantizar que haya suficiente drenaje y que la represa sea lo suficientemente fuerte como para retener los desechos de la minería (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

Las represas de relave pueden constituir un peligro para la flora y fauna natural de la localidad, ya que las aves y animales se bañan y beben las aguas contaminadas. La fuga de sustancias tóxicas de las represas de relave también puede dañar el medio ambiente alrededor (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

2.2.1.1. Movimiento de tierra Masiva

Es el grupo de operaciones que se realizan con los terrenos en su estado natural con el fin de cambiar su forma para que brinde un servicio a una obra pública, privada,



industrial o minería. Asimismo, estos son el componente primordial de un gran número de obras, sobre todo en la construcción de carreteras, túneles, canales, urbanizaciones, relaves mineros, etc. Los movimientos de tierra masiva se desarrollan con maquinarias. Las maquinarias de acuerdo a sus características pueden retirar el material de forma superficial, compactar y transportar materiales (Arroyo et al, 2018).

2.2.2. Filosofía Lean Construction

Los grandes problemas históricos relacionados al mundo de la construcción no son un secreto para nadie, no obstante, en la industria constructiva, la mayor parte del tiempo se muestra reacio al cambio del sistema convencional al sistema Lean, caso contrario al de otras industrias como la automotriz que gracias a sus nuevas formas de gestión han podido avanzar considerablemente en estas 2 últimas décadas (López et al., 2017).

Tabla 1

Problemas crónicos de la construcción

Problemas crónicos de la construcción
Usos de métodos obsoletos para la planificación, control y gestión de la producción
Escaso rigor en el cumplimiento de la seguridad
Proyectos incompletos, poco detallados y escasamente analizados
Controles de calidad ineficaces que no garantizan la entrega de calidad a la primera
Incumplimiento en los plazos de entrega
Mano de obra poco calificada, comparada con la industria manufacturera
Falta de coordinación y transparencia entre las partes interesadas
Escasos controles de productividad
Sobrecostos
Gran cantidad de retrabajos

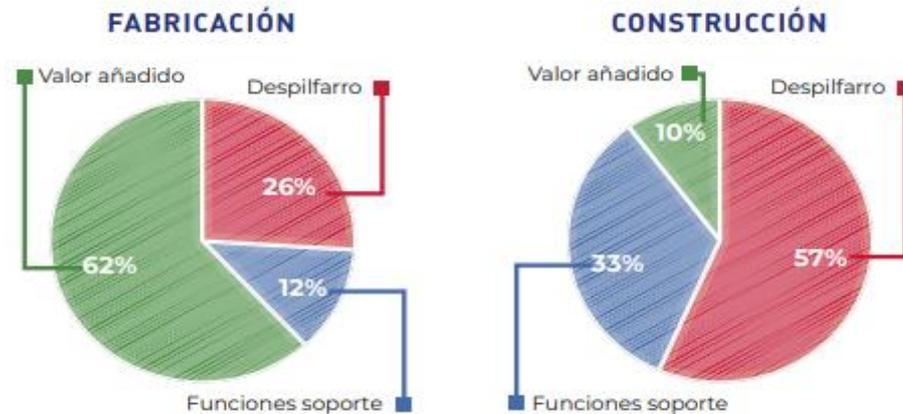
Nota. Pons, J. y Rubio, I. (2021) “Lean Construction y la planificación colaborativa, metodología del Last Planner System”

Esto ha obligado al sector construcción a tomar en consideración la presente filosofía y utilizarla como metodología de trabajo ya que es absolutamente necesario un cambio de sistema del sector construcción, ya que todavía el sistema no se ha extendido en todos los países pudiendo causar daños crónicos en la construcción como: La baja productividad en la Industria Constructiva (Tunque, 2018).

Por lo general, los proyectos en la industria de la construcción brindan entre un 55% a 60% de confiabilidad en la culminación de las partidas planificadas semanalmente, esto quiere decir que, entre todas las partidas planificadas dentro de la semana, apenas se culminaron un poco más de la mitad (Sandoval & Valdez, 2020).

Figura 1

Fabricación vs construcción



Nota. Pons, J. y Rubio, I. (2021) “Lean Construction y la planificación colaborativa, metodología del Last Planner System”

“Según el estudio en 2019 apenas el 43% son valores añadidos más funciones de soporte y que el 57% del tiempo, no añade valor al producto final del proyecto. Caso contrario al de la industria de la fabricación que añade un 62% de valor a su producto final. En pocas palabras es más productivo esa industria” (Pons Achell, 2021).

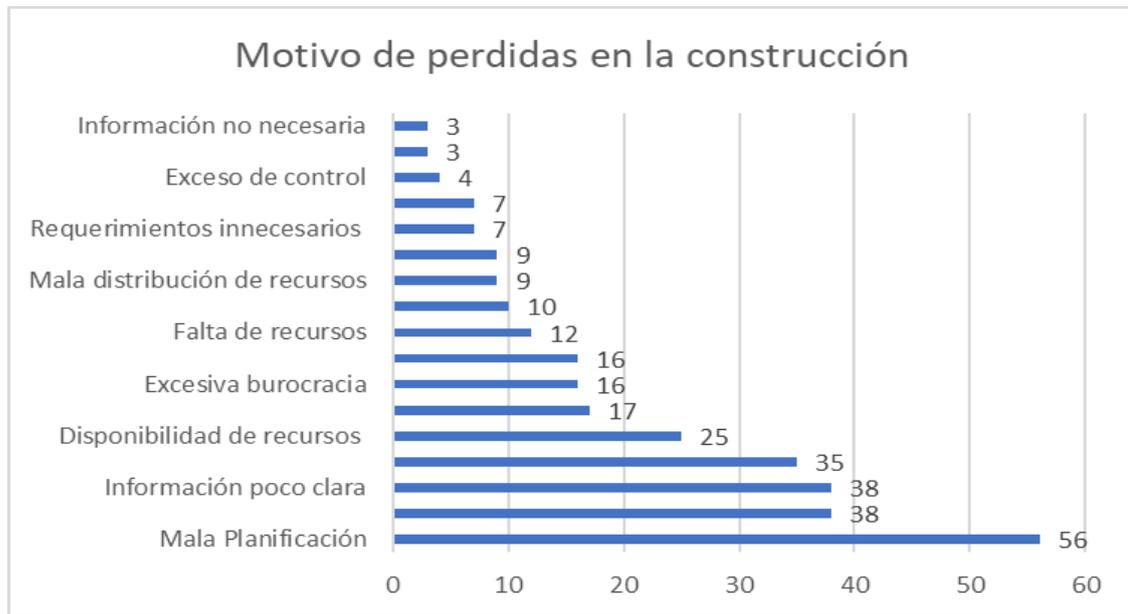
Definición de pérdidas en la construcción:

Existen ciertas actividades que implican un costo mayor en el proyecto, ya sea directo o indirecto, pero que no agregan valor ni progreso en una obra. Estas pérdidas pueden diferenciarse en distintos grupos según el área de desempeño como:

- Administración
- Uso de Recurso
- Sistemas de Información

Figura 2

Motivo de pérdidas en la construcción



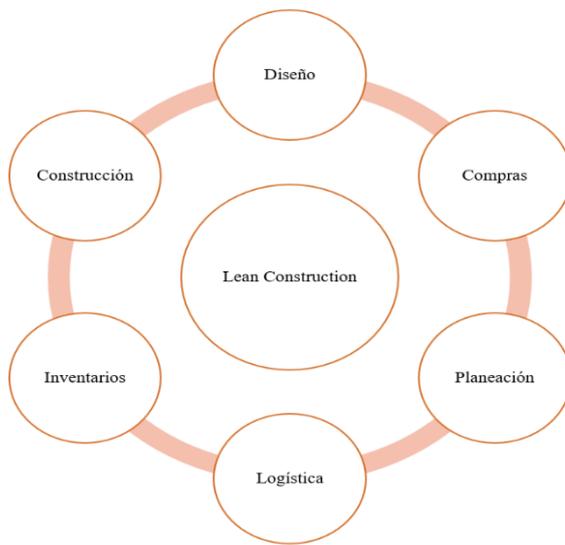
Nota. Cantú, A, López, M. y Peirone P. (2018)

El método Lean cambia la forma convencional en la que se gestiona las actividades en los proyectos de construcción mediante sistemas de información que son innovadores dado que se fundamentan en un estudio de las actividades que generan mayor porcentaje de pérdidas a lo largo del desarrollo de los proyectos, a su vez, busca incrementar los niveles de productividad en los procesos de ejecución de la obra eliminando las actividades que no contribuyen en la culminación del proyecto (Latorre, 2015).

Este pensamiento, se incorporó en la gestión de procesos, por la empresa Toyota, donde tras su aplicación se evidenció una notable mejora en la productividad y el valor de los productos que ofrecía (Rojas et al., 2016).

Figura 3

Aplicación de Lean en las etapas de un proyecto



Nota. En cada una de estas etapas se aplica el Lean para mejorar los procesos que son parte de la entrega final del producto. Elaboración Propia.

2.2.2.1. Herramientas del Lean Construction

La metodología Lean Construction tiene diversas herramientas, las cuales hace uso para el mejoramiento de planificación, productivo, económico e incluso de calidad. Dentro de estas herramientas, resalta la importancia del Sistema Last Planner, la cual es utilizado de manera más frecuente por su menor complejidad y facilidad de aplicación (Sandoval & Valdez, 2020).

Líneas Balance

Las líneas balance es una herramienta de la metodología Lean Construction, la cual se considera una técnica usada en la industria manufacturera inicialmente. Consiste en programar y llevar el buen control del flujo de una línea de producción. La implementación de este en la construcción se presentó en el año 1972. (Botero Luis & Acevedo Harlem, 2011).



Nivel de actividades

Esta herramienta es utilizada para evaluar el desarrollo de la productividad del personal en campo, se analizan los tiempos de trabajo de cada trabajador en diversas tareas o actividades. Se clasifica este trabajo en un trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC). Así, se busca lograr determinar las pérdidas en una obra de construcción civil para así determinar las actividades más críticas y con un porcentaje mayor de pérdidas, para evitar estos problemas en continuas actividades similares o su respectiva eliminación. (Ballard Glenn, Tommeleint I, & Koskela Lauri, 2007)

Look Ahead Planning

Esta es una herramienta importante puesto que influencia directamente con la planificación de una obra de construcción civil, centrándose así en el desarrollo de una planificación detallada de actividades futuras pendientes por realizar, se toma en cuenta 3 a 6 semanas de anticipación, para poder ser considerado (Ramírez Carlos, 2012).

Finalmente podemos determinar diversas herramientas más, que forman parte del Lean Construction, como matrices de selección de equipo de diseño, base de datos, matriz de alineaciones, reportes, matriz de responsabilidad, lista de tareas, First Run Studies, Carta de balance, Poka Yoke, Andon, Evaluaciones Post- ocupaciones, diagramas de flujos, Buffer, entre otros, todo dependerá de la etapa en la cual se encuentra el proyecto (Ramírez Carlos, 2012).

2.2.2.1. Last Planner System

Según Rojas et al. (2016) el Last Planner System es una herramienta de planificación y control, asimismo mediante las asignaciones de trabajo se determinan las unidades de producción y control del flujo de actividades. También se puede identificar las causas de los problemas que dan desperdicios y permite la toma de decisiones

oportuna para así poder actuar a tiempo sin ningún percance, lo cual acrecentaría la productividad.

Durante las últimas dos décadas, la planificación colaborativa y el uso de los métodos de Last Planner en proyectos del sector construcción ha demostrado ser una herramienta excelente para lograr los objetivos de Lean Construction maximizando la entrega de valor al usuario, aumentando la productividad, reduciendo desperdicios y acrecentando la rentabilidad en las empresas constructores (Pons y Rubio, 2019).

Figura 4

Principales Ventajas de Last Planner



Nota. Estas ventajas concuerdan en general con las expuestas en otros informes de Estados Unidos. Tomado de Pons y Rubio, 2019.

El Last Planner o también conocido como “El último planificador” es la persona que determinará finalmente la partida que va ser realizada y por quien será realizada la misma (Limenih, Demisse, & Haile, 2022).

Normalmente, la elaboración de la planificación del proyecto ha sido encomendada a una sola persona “el programador o planificador de obra”, quizás a un



“Project Manager” o lo más común al Ingeniero Residente de obra, quien haya sido, cumplió la función de casi en solitario analizar y plasmar mediante un diagrama de Gantt toda la planificación y cronograma de obra. En este caso no se ha considerado la información y aportes de los demás involucrados del proyecto, que son los que realmente tienen experiencia de las unidades de producción, dejándolos al margen de las decisiones de planificación. Esto no quiere decir que, en el método tradicional no se colabore durante el proceso de planificación, Solo que cuando se hace mediante la metodología de Sistema Last Planner, es más beneficioso (Diaz, Oliveira, Pucharelli, & Pizón, 2019).

Los proyectos de construcción civil son dinámicos, por ende, el sistema de planificación igual o mayor debe serlo. Debido a esto, es que se necesita una retroalimentación constante al mismo sistema de planificación, y las personas idóneas que tienen la mejor información para hacerlo y son los trabajadores que diariamente se ponen la obra “al hombro” para resolver las problemáticas reales en campo. El último Planificador es aquel que conoce a detalle lo que ocurre en campo, cómo se deben realizar las partidas e insumos necesarios para hacerlo posible. Es aquella persona apta para asegurar un flujo de trabajo constante y fluido, en otras palabras, en resumen, es la persona que puede designar las labores directamente a los trabajadores para conseguir así acuerdos de avances reales en base de un puesto de trabajo certero, en vez de realizarlo como normalmente se hace en base a planes teóricos que es la manera tradicional que la mayoría está acostumbrado, pero no es lo idóneo para poder llegar a obtener una optimización del proyecto (Prasad & Vasugi, 2021).

Enlazar el “Se Debe-Se Puede-Sa hará”

Según Glenn Ballard (2000), “En un sistema tradicional, el rendimiento del último planificador a veces es evaluado como si no pudiera haber ninguna diferencia posible entre lo que debería hacerse y lo que se puede hacer”.



“Ante la pregunta ¿qué vamos a hacer la próxima semana?, la respuesta más común es lo que está en el programa, o lo que está generando más urgencia. Esto está basado en un sistema PUSH. En este sistema, los supervisores consideran que su trabajo es mantener la presión sobre los subordinados para seguir produciendo a pesar de los obstáculos, como si estos no existieran o fueran a resolverse por arte de magia. La entrega irregular de recursos y la terminación impredecible de los trabajos previamente necesarios para poder ejecutar cualquier actividad invalidan la presunta ecuación de lo que se hará con lo que debería hacerse y rápidamente da lugar al abandono de la planificación que dirige la producción real.” Pons, J. y Rubio, I. (2019)

El Sistema Last Planner agrega un elemento de “control de la producción” al sistema tradicional de “gestión de proyectos”, esto se puede entender como un instrumento para modificar (lo que debería hacerse) en (lo que se puede hacer), creando así una lista de partidas ejecutables (ITE), que pueden ser añadidos en la planificación semanal. La incorporación de actividades de largo, mediano y corto plazo son un compromiso de los Last Planner, de “lo que en realidad se hará” (Abusalem, 2022).

“Sin el Sistema Last Planner”

Donde se afirma que “En la mayoría de los proyectos (lo que puede hacerse) y (lo que se hará) son subconjuntos de lo que debería hacerse. Si el plan (lo que se hará) se desarrolla sin saber lo que puede hacerse, el trabajo realmente ejecutado será la intersección de ambos subconjuntos. Si planificar consiste en determinar lo que debería hacerse para completar un proyecto y decidir (lo que se hará) en un cierto período de tiempo, debe reconocerse que debido a las restricciones que no se van a liberar, no todo puede hacerse, dando lugar a retrasos de forma reiterada”. (Pons, J. y Rubio, I 2019).

“Con el Sistema Last Planner”

El Sistema Last Planner es un método que controla la producción, enfocado para



abarcar en su sistema lo que “se debe, se puede y se hará” en un proyecto, englobando así la planificación y asignación de actividades. Su fin es crear flujos de trabajo continuos y poder realizar un aprendizaje de los errores presentado (Prasad & Vasugi, 2021)

"En procesos periódicos de planificación, los planificadores y los ejecutores de las actividades deben primero identificar (lo que puede hacerse) y posteriormente acordar (lo que se hará) durante la semana. De esta manera estaremos evitando que las actividades se detengan por alguna restricción no liberada. Esta situación ayuda notoriamente a la productividad de las tareas ya que evita las molestas interrupciones en el trabajo por falta de materiales, mano de obra, equipos y medios auxiliares; y evita que enviemos recursos innecesarios si sabemos de antemano que alguna restricción o necesidad no quedará resuelta a tiempo". (Pons, J. y Rubio, I 2019, p 34)

"El avance puede verse afectado si la cantidad de actividades que pueden hacerse es baja. Para evitar esto, los planificadores deben concentrar sus esfuerzos en liberar las restricciones que impiden que las tareas puedan iniciarse o continuar. De esta forma estaremos agrandando el conjunto PUEDE aumentando las opciones de avance. Es importante que la gestión se haga sobre la causa raíz del problema ya que no se obtiene nada con solicitar mayor rapidez a los ejecutores de las actividades si no se les entregan los materiales y otras necesidades a tiempo" (Pons, J. y Rubio, I 2019, p 34).

Figura 5

Debe-Puede-Se hará Last Planner



Nota. Rodríguez (2017)

2.2.2.2. Planificación Maestra

La planificación maestra es un instrumento que se elabora de manera colaborativa esto quiere decir, en conjunto mediante los trenes de trabajo. Los trenes de trabajo es una programación a ritmo constante que promueve cargas similares de trabajo cada jornada para la misma cuadrilla durante todo el ciclo de la construcción (Rodríguez, 2017).

En esta etapa la finalidad es determinar las expectativas y alcances que tiene el proyecto, así como los hitos más destacados. Es de suma importancia asegurarse que todo el equipo de trabajo se comprenda en sí mismo en cuanto a la obra en ejecución, así como determinar necesidades, intereses y requerimientos de la obra. En este sentido, el alcance de las herramientas como el Last Planner System adoptan un rol fundamental en la conformación del equipo de trabajo en función a la etapa en la que esté desarrollándose el proyecto (Pons y Rubio, 2019).

Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta en un programa maestro son los siguientes.

Tabla 2.



Componentes en el Plan Maestro

Componentes en el Plan Maestro

Determinación del alcance
Estudio de stakeholders (partes interesadas).
Estructura de desglose del trabajo
Estructura organización del proyecto
Diagnóstico de riesgos del proyecto
Estrategias de trabajo a seguir.
Recursos críticos
Hitos
Planificación total de la obra
Presupuesto de las actividades

Nota. Se puede ver los principales componentes del plan Maestro. Tomado de Pons y Rubio, 2019.

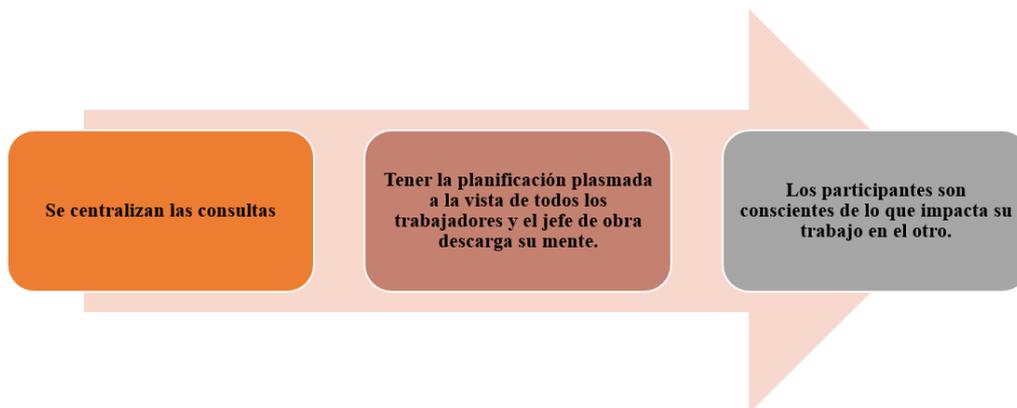
2.2.2.3. Planificación a Medio Plazo

Conocido por su denominación en inglés como “Lookahead” La planificación a medio plazo trata de detallar lo plasmado en el plan general para acrecentar las posibilidades de cumplimiento (More & Fulse, 2021).

El tiempo que se utiliza para el Lookahead es de 4 a 6 semanas no es aleatorio, sin embargo, depende del tiempo de asimilación del equipo de trabajo para subsanar las fallas concernientes a la obra (Rodríguez, 2017).

Figura 6

Funciones que se realizan toda la semana



Nota. Lo que se observa en la figura se realiza cada semana hasta cumplir las semanas determinadas para el lookahead. Rodríguez, 2017.

Disponer grupos de paneles semanales donde se coloquen tarjetas por colores, es una buena práctica para implementar la planificación a medio plazo. Esta herramienta del Last Planner evidencia de manera ordenada, sistematizada y con letra legible la culminación de la planificación previa (Pons y Rubio, 2019).

Figura 7

Ejemplo de planificación a medio plazo

PLANIFICACIÓN A MEDIO PLAZO (LOOKAHEAD)																								
ID. Actividad	ACTIVIDADES	FECHAS		RESPONSABLE	LIBERADO A	PERIODO																		
		INICIO	FIN			ENERO							FEBRERO											
						Semana 1		Semana 2		Semana 3			Semana 4		Semana 5		Semana 6							
						L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J
ENCOFRADOS																								
	Encofrado ciclo 1	29/05	15/06		Si																			
	Encofrado ciclo 2	08/06	05/07		Si																			
	Encofrado ciclo 3	15/06	05/07		No																			
HORMIGÓN																								
	Hormigón Ciclo 1 piso 1	30/05	31/05		Si																			
	Hormigón Ciclo 2 piso 1	06/06	07/06		Si																			
	Hormigón Ciclo 3 piso 1	13/06	14/06		Si																			
	Hormigón Ciclo 4 piso 1	20/06	21/06		Si																			
ACERO																								
	Acero Ciclo 5 piso 2	27/06	05/07		No																			
	Acero Ciclo 6 piso 2	29/06	05/07		No																			

Nota. Tomado de Pons y Rubio, 2019.

2.2.2.4. Planificación a corto Plazo

Es uno de los últimos planificadores que asume la parte de avance de obra, con el fin de armar un plan de trabajo comprometido con las actividades determinadas en el trabajo a realizar, con metas claras y cuantitativas. Las tareas se deben encontrar en el inventario de trabajo ejecutable producido en la etapa de Look Ahead de manera que aumente la fiabilidad del plan al comprometer el trabajo en actividades en las que se tiene mayor certeza de cumplir. Para una gestión eficiente, se utilizan formatos en los que quede claro el plan a corto plazo determinado por el equipo. En este formato se debe tomar en cuenta al menos las actividades a ejecutar, responsables de la actividad, compromisos asumidos, avances reales y diagramas de Gantt (Pons y Rubio, 2019).

Figura 8

Ejemplo de Planificación semanal

PLAN SEMANAL															
ID.	ACTIVIDAD	FECHAS		UD.	RESPONSABLE	META		COMPLETADA	SEMANA	Junio					
		INICIO	TERMINO			Comprometida	Alcanzada			V	L	M	M	J	
		1-jun	4-jun			5-jun	6-jun			7-jun					
EDIFICIO															
Ciclo 1 Muros															
	Enfierradura	31/05	02/06		JP	100%	100%	1							
	Encofrado	04/06	05/06	m2	IR	100%	95%	0							
	Hormigón	05/06	05/06	m3	MA	100%	0%	0							
	Descimbre y Limpieza	06/06	06/06		IR	100%	0%	0							
Ciclo 2 Muros															
	Enfierradura	31/05	04/06		JP	100%	100%	1							
	Moldaje	05/06	06/06	m2	IR	100%	100%	1							
	Hormigón	06/06	06/06	m3	MA	100%	100%	1							
	Descimbre y Limpieza	07/06	07/06		IR	100%	0%	0							
Ciclo 3 Muros															
	Enfierradura	31/05	05/06		JP	50%	30%	0							
RESUMEN: Total Cumplidas (4) / Total Actividades (8) = 50%															

Nota. Tomado de Pons y Rubio, 2019.

2.2.3. Carta Balance

Según Pérez et al. (2019) la carta Balance es una herramienta que permite tomar datos detallados de los procesos de la actividad realizada en trabajo y tomados en un intervalo de tiempo corto donde se divide el trabajo en trabajos productivos, trabajos

contributorios y trabajos no contributorios. Tiene el fin de analizar si la cuadrilla o equipo se encuentra bien balanceada y si son eficientes en el método constructivo.

Figura 9

Ejemplo de carta balance

Tabla 14. Carta balance de la Cuadrilla Excavaciones de Zanja. Resultados después de Aplicando Lean Construction.

Carta balance de la Cuadrilla Excavaciones de Zanja. Resultados Después de Aplicando Lean Construction.																	
Excavación de Zanja con Equipo Hasta 2.5m af=1.00 (6.00m af=2.50m)																	
TIEMPO (min)	Op 1	Op 2	Op 3	Op 4	Op 5	Op 6	Op 7	Op 8	Op 9	Op 1	Op 2	Op 3	Op 4	Op 5	Op 6	Op 7	Op 8
8:00	IO	IO	IO	IO	TZ												
8:15	TZ																
8:30	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
8:45	IO	TZ															
9:00	EE	AZ	CZ														
9:15	EE	CZ															
9:30	EE	MZ	CZ														
9:45	S	S	S	EE	EE	EE	EE	EE	EE	MZ	CZ						
10:00	EE	EE	EE	S	S	S	EE	EE	EE	N	CZ						
10:15	EE	EE	EE	EE	EE	EE	S	EE	EE	N	S	N	N	N	N	N	N

TRABAJO PRODUCTIVO (TP)	
EE	Excavación con Equipo
AZ	Alineación de Zanja
MZ	Medición de alto y ancho de zanja

TRABAJO CONTRIBUTORIO (TC)	
CZ	Control de Nivel de Zanja
TZ	Traslado de la Cuadrilla
IO	Instrucciones de obra (Recibir/Dar)

Nota. En esta figura se puede apreciar los trabajos contributorios (TC), los trabajos no contributorios (TNC) y trabajos de productividad (TP) de la partida de excavación de zanjas. Tomado de Asencios, 2017.

2.2.4 Productividad

Fontalvo et al. (2018) define como productividad a la interrelación entre la cantidad de recursos utilizados para obtener el volumen total de productos. En este sentido, se refiere a la productividad como una serie de actividades que optimizan los recursos para obtener mayor porcentaje de productos.

El rendimiento del diseño es una medida de la eficiencia de la gestión de recursos mediante la cual se puede realizar una determinada actividad para un producto en particular, dentro de un plazo de entrega y una calidad específicos. En otras palabras, la



productividad incluye la eficiencia y la eficacia porque no tiene sentido producir muchos metros cuadrados de paredes de ladrillo si tienen serios problemas de calidad. (Quispe, 2017).

Según Tsutsumi (2017), la medición y evaluación de la productividad respecto a la mano de obra no es algo sencillo de realizar, por lo que fue necesario implementar técnicas que permita obtener esa data de acuerdo a la naturaleza de lo que se ha recopilado:

- Sistemas de Reconocimiento de Actividades (SRA)
- Sistemas de Localización en Tiempo-Real (SLTR)

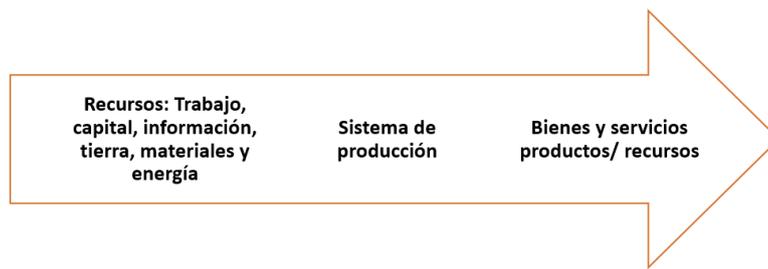
Dentro del sistema de Reconocimiento de Actividades se encuentra la técnica del muestreo, de lo cual se describe por el caso de estudio del presente proyecto

La técnica de muestreo del trabajo permite obtener resultados respecto a las categorías de TP, TC y TNC relativas del personal obrero que se desempeña en un proceso constructivo (Tsutsumi, 2017).

Entre las ventajas de comparación que se toman en cuenta de esta técnica, se destaca la simplicidad y el costo bajo que tiene, así como que su aplicación no produce inconvenientes en las funciones que se estén llevando a cabo por función de los trabajadores; por lo que su procesamiento digitalmente será con mucha facilidad (Tsutsumi, 2017) .

Figura 10

Esquema general de Productividad



Nota. En esta figura se muestran recursos, sistema de producción, bienes y servicios.

Tomado de Fontalvo et al , 2018.

2.2.4.1. Factores que determinan la productividad

Algunos elementos que inciden de forma directa en los niveles de productividad son factores internos como los materiales, el recurso humano, los productos, la tecnología utilizada en el proceso de elaboración y los métodos de organización, también factores externos generalmente asociados a procesos administrativos, gestión y recursos naturales (Gilacopa & Colque , 2020).

Figura

11

Factores que afectan la productividad



Nota. En esta figura se muestran los factores internos y externos de la productividad.



Tomado de Fontalvo et al , 2018.

2.2.4.2. Influencia del recurso humano sobre la productividad

Tal como indica Fontalvo et al. (2018), el recurso humano es un factor clave en la determinación del nivel de productividad en las organizaciones, debido a las características multidimensionales que comparten y al nivel de participación en cada fase de gestión del proyecto; desde la planificación hasta la ejecución.

2.3. Definición de términos

Lean Construction: Conformar una metodología que agrupa distintas herramientas complementarias, enfocadas en la optimización de todos los procesos y actividades asociadas a gestión de proyectos en este caso en obras civiles, cambiando el paradigma convencional por uno donde se aplique la tecnología alineada a la reducción de los niveles de pérdidas y actividades que no contribuyen a la culminación oportuna de los proyectos en general (Pons y Rubio, 2019).

Innovación: Crea y modifica un determinado producto, incluyendo el producto en un mercado en específico (RAE, 2018).

Organización: Es orden, disposición o arreglo (RAE, 2018).

Planificación: Permite definir, determinar y elaborar estrategias para lograr metas y alcanzar el éxito (Pons y Rubio, 2021).

Productividad: Hace referencia a la optimización del uso de recursos en la obtención de un producto determinado. La productividad se evidencia al establecer la relación entre los volúmenes de producción y los recursos utilizados (Fontalvo et al., 2018).

Sistema Last Planner: Es una de las herramientas utilizadas por la metodología Lean que se aplica en la programación y los procesos de control de rendimientos del equipo de trabajo (Pons y Rubio, 2021).



Look ahead: Hace referencia al cronograma estandarizado entre 3 – 6 semanas, es utilizado como instrumento para controlar las actividades desarrolladas en obra. Sin embargo, también sirve en la liberación de alguna restricción y la determinación de responsabilidades en los procesos a seguir en obra (Pérez et al., 2019).

Carta Balance: Corresponden a las herramientas de toma data sobre los procesos de las actividades de trabajo en un intervalo determinado de tiempo, cuyo fin es analizar la cuadrilla verificar su eficiencia que tienen en el proceso constructivo y así lograr mejorar el proceso (Pérez et al., 2019).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica del Estudio

La zona de estudio está ubicada dentro del polígono correspondiente al proyecto de minería “Las Bambas”. Cuyas coordenadas UTM son 790,818.5080E - 8°439,764.2070S y 790,878.8240E – 8°439,729.2660S. Este proyecto pertenece a las localidades de Tambobamba y Coyllurqui, distrito de Challhuahuacho en la provincia de Cotabamba, Apurímac. Asimismo, la altitud donde se desarrolla el proyecto oscila entre los 3800 m.s.n.m hasta 4600 m.s.n.m.

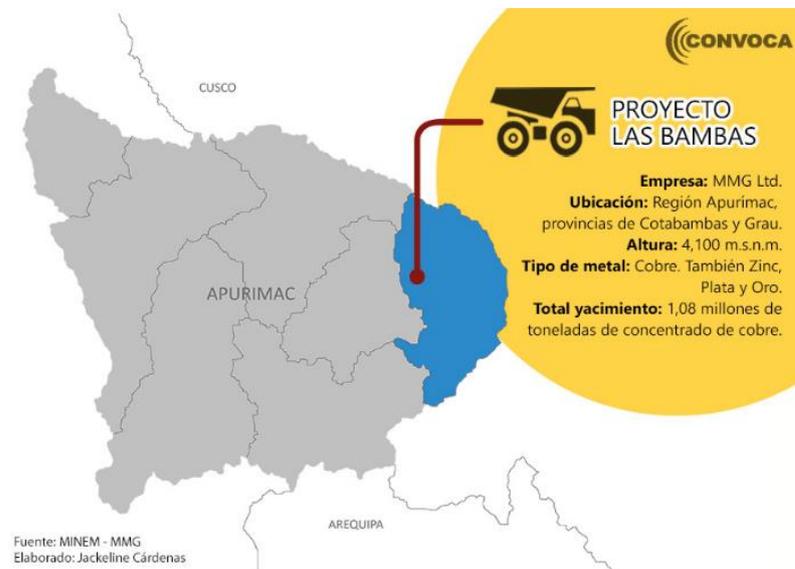
El acceso se realiza por la ruta Cusco-Ccapacmarca-Mara-Challhuahuacho a 75km SO de la ciudad de Cuzco y se extiende unos 212km.

Según el resumen ejecutivo de la tercera modificación del estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Minera Las Bambas se muestran las características de la zona de estudio:

- Temperatura mínima: -5°C.
- Temperatura máxima: 15°C.
- Cargas de nieve o granizo: 40kgf/m²
- Humedad relativa promedio anual del aire: 63,3 %.
- Zona sísmica 3: Z= 0.35
- Velocidad del viento 90km/h

Figura 12

Ubicación de la zona de estudio



Nota. Obtenido del expediente técnico del proyecto

3.2. Periodo de Duración del Estudio

La duración del proyecto de investigación contempla 3 meses de estudio en el pre test desde el 01 de noviembre al 31 de enero, dónde se evaluó el histórico del diagnóstico del proyecto en la partida de movimiento de tierra masiva, y 3 meses de post-test, desde el 01 de febrero hasta el 17 de abril, en este periodo se realizó la aprobación del proyecto, los cuales sirvieron para implementar la metodología Lean Construction y verificar su aplicación.

3.3. Procedencia del Material Utilizado

Dada la naturaleza del estudio, el uso de materiales es prescindible, ya que la investigación se orienta a la aplicación de una metodología tecnológica en torno al incremento de la productividad de la obra y no en los insumos de esta.



3.4. Población y Muestra del Estudio

3.4.1. Población

Hernández (2018), indica que la población está conformada por un grupo de sujetos o sucesos de condiciones similares, identificados a través de determinados criterios. La población para esta investigación contempla el proyecto Presa de relaves de la unidad minera Las Bambas.

3.4.2. Muestra

Según Hernández (2018), corresponde al subconjunto de la población, la cual se define como una parte representativa de ella; en este caso se escogió como muestra las partidas de movimiento de tierras de la obra “Presa de relaves de la unidad minera Las Bambas -2022”.

3.5. Diseño Estadístico

Tipo de investigación: Aplicada

Se basa en aplicar conocimientos o teorías que me proporcionen una solución óptima para una realidad problemática.

El desarrollo de esta investigación permitió mejorar las ineficiencias y pérdidas en la productividad del proyecto presa de relaves de una unidad minera en Apurímac.

Diseño metodológico de la investigación

El diseño es experimental pues se utilizaron las herramientas del método Lean para manipular la productividad en la obra la cual representa la variable dependiente de esta investigación. Asimismo, las herramientas como el “look ahead” y las cartas balance permitirán la evaluación de su influencia en la mejora de los niveles de productividad. Cabe destacar que una investigación es experimental cuando manipula las variables y las somete a determinadas condiciones para obtener resultados (Ñaupas, Valdivia, Palacios, & Romero, 2018).



Alcance o niveles de la investigación

Esta investigación tiene un alcance descriptivo, porque se encarga de recoger datos acerca de la variable de estudio para su posterior medición es decir detallamos primero su programación y desarrollo general del proyecto para que así sus resultados sean interpretados estadísticamente mediante fichas, tablas, cuadros comparativos.

Enfoque de investigación

El enfoque será cuantitativo pues se realizará la determinación de los porcentajes de variación de la optimización de la productividad de la obra empleando Lean Construction. Según Ñaupas (2018). Una investigación es cuantitativa cuando hace uso de la medición, con lo cual analiza datos y resuelve preguntas de investigación.

3.6. Procedimiento

El procedimiento determinado para el desarrollo del estudio es el siguiente:

- Realizar un diagnóstico inicial de la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva de la obra Presa de Relaves de la unidad minera Las Bambas.

- Determinar un sistema de gestión de la productividad basado en el método Lean Construction en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de la unidad minera Las Bambas

- Evaluar la productividad luego de haber aplicado la metodología Lean Construction mediante un nuevo sistema de gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de la unidad minera Las Bambas.

3.7. Variables

3.7.1. Variable independiente: Implementación del método Lean Construction

Lean Construction es una metodología que se alinea a la mejora de los procesos de producción aplicando herramientas tecnológicas para gestionar actividades, tiempo y pérdidas de recursos utilizados en la construcción del proyecto. A su vez maximiza el



valor de los productos obtenidos y la productividad del equipo de trabajo (2018).

3.7.2. Variable dependiente: Gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva

La productividad tiene como objetivo identificar áreas en las que puede optimizar la forma en que se realizan sus operaciones o actividades, lo que aumentará los márgenes de utilidad de su empresa (2018)

Tabla 3

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
VARIABLE 1	Lean Construction	Aplicar los formatos de la Carta Balance para medir los tiempos productivos, tiempos contributivos y los tiempos no contributivos de los obreros para medir la productividad de la obra. Aplicar la Herramienta Last Planner para aplicar la filosofía Lean Construction sobre planificación de obra. Para la aplicación se tomará la partida de movimiento de tierras masivas.	Trabajo Productivo, Trabajo contributorio, Trabajo no contributorio	De razón	Porcentaje (%)
	Productividad en el movimiento de tierra masiva	Mejorar los tiempos del cronograma de obra y disminuir los costos utilizados.	Porcentaje de plan cumplido, porcentaje de no cumplimiento.	De razón	Porcentaje (%)
VARIABLE 2	Cronograma de obra	Con la aplicación de la filosofía los costos disminuirán.	Informes mensuales	De razón	Tiempo
	Presupuesto		Valorizaciones	De razón	Costo

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 4

Operacionalización de variables

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Realizar un diagnóstico inicial de la gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac – 2022	Diagnóstico Inicial	Diagnóstico de rendimiento Carta Balance	Producción diaria TP-TC-TNC	De razón	Porcentaje (%)
Determinar un sistema de gestión de la productividad en base a la filosofía Lean Construction en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac – 2022	Gestión de productividad	Last Planner	PPC	De razón	Porcentaje (%)
Evaluar la productividad aplicando la filosofía Lean Construction mediante un nuevo sistema de gestión de la productividad en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac – 2022.	Evaluación de productividad	Cronograma de obra Presupuesto	Ahorro de tiempo Costo por m3 de relleno	De razón De razón	Tiempo Costo

Nota. Elaboración propia (2022)

3.8. Análisis de los Resultados

El análisis de la información se realizará en el software IBM SPSS. Del cual se efectuará la interpretación de los resultados obtenidos. En la tabla 4 se aprecia la matriz de análisis de datos como parte de la técnica del procesamiento y análisis de los datos.

Tabla 5

Matriz de análisis de datos

Variable dependiente	Indicador	Escala de medición	Estadística descriptiva	Estadística inferencial
Productividad	<i>Índice de productividad</i>	Escala de razón	Tendencia central (media)	- Prueba paramétrica / no paramétrica
Cronograma de obra	<i>Informes semanales</i> <i>Informes mensuales</i>	Escala de razón	Tendencia central (media)	- Prueba paramétrica / no paramétrica
Presupuesto	<i>Valorizaciones</i>	Escala de razón	Tendencia central (media)	- Prueba paramétrica / no paramétrica

Nota. Elaboración propia (2022).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

1. Alcance:

La presa comprende una estructura de relleno de roca por zonas, con un sistema de sellado geocompuesto aguas arriba (GSS). El GSS comprende PVC unido térmicamente a un soporte geo fabricado, que se fijará al terraplén a través de un sistema de anclaje sobre la cara, patentado y desarrollado por Carpi Tech. El revestimiento de PVC será suministrado e instalado por Carpi Tech.

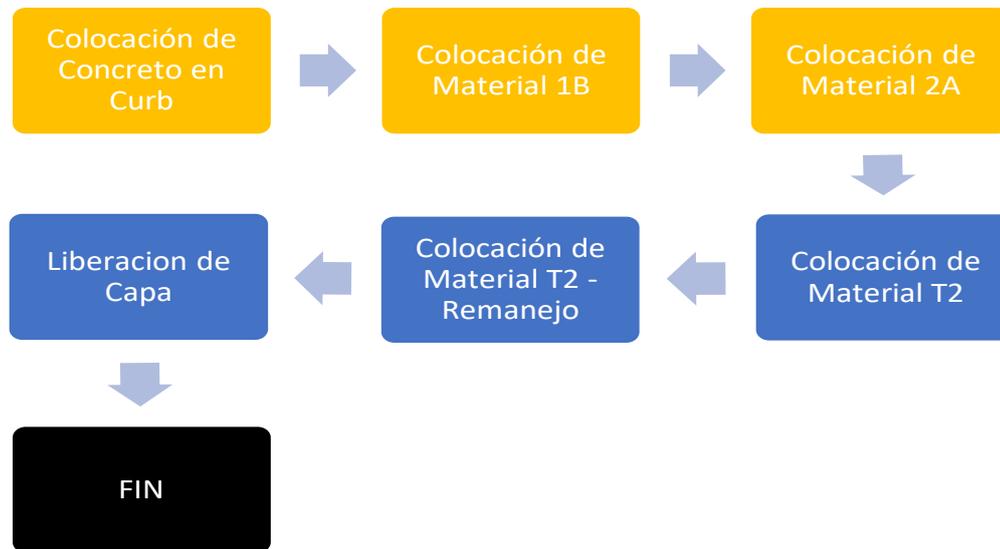
Los trabajos incluyen los siguientes elementos principales:

- Diseño, construcción y gestión de accesos y caminos de acarreo.
- Excavación y almacenamiento de tierra vegetal y materiales de desecho.
- Preparación de la fundación.
- Instalación de drenes en fundación.
- Obras de concreto.
- Perforación e inyecciones a presión en fundación del terraplén.
- Colocación del relleno del terraplén según las especificaciones exactas.
- Construcción de sardineles de concreto en la cara aguas arriba del terraplén.
- Instalación de cintas de anclaje de PVC.
- Instalación de geomalla de refuerzo donde aplique.
- Manejo de acopios.
- Instalación de instrumentación geotécnica.
- Manejo de aguas.

A continuación, se muestran las actividades realizadas durante la evaluación del Pre Test:

Figura 13

Flujograma de las actividades realizadas en la construcción del terraplén TSF



Nota. Elaboración propia

2. Materiales del terraplén

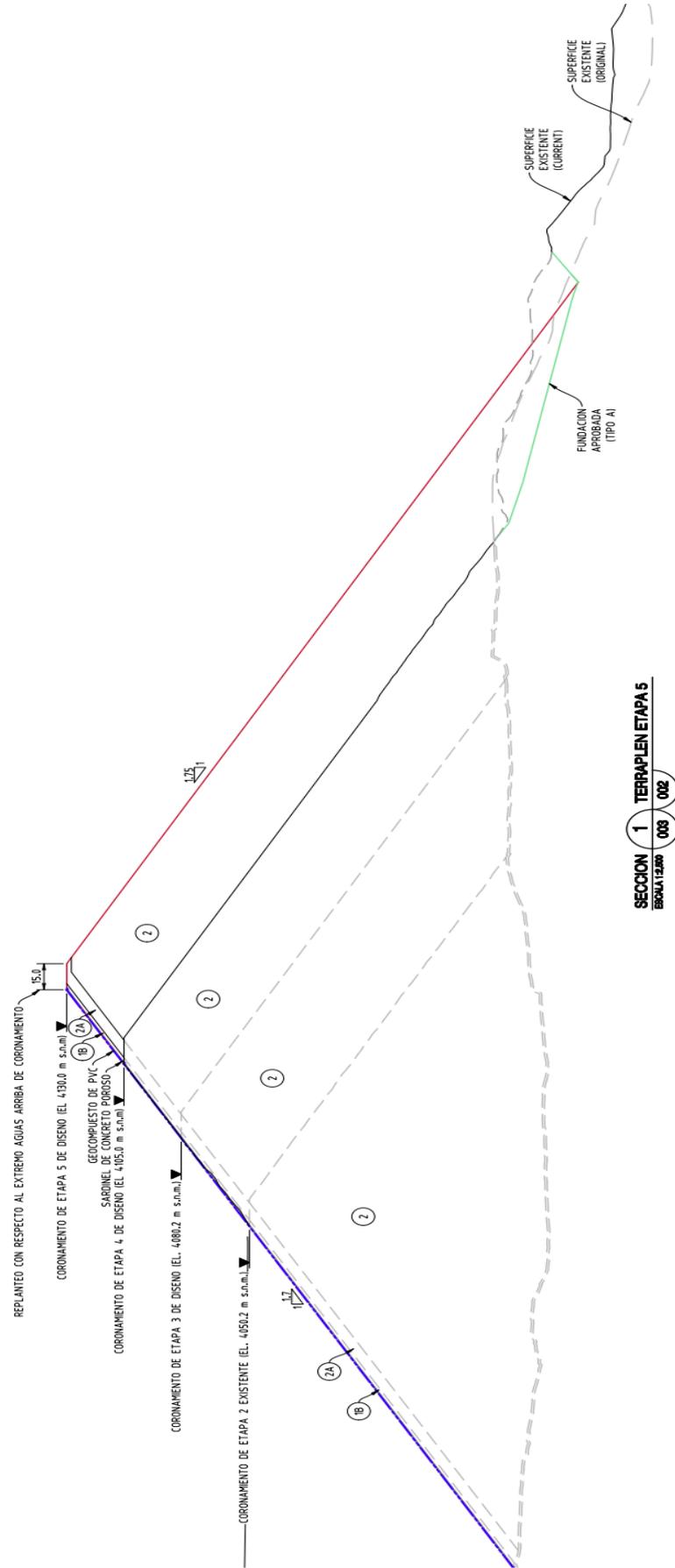
2.1 General

Tal como indica Soden (2019), en Las Bambas, la construcción del terraplén TSF está conformado por la compactación de 5 zonas de material de relleno granular, asimismo, el geocompuesto de revestimiento construido se apoya en un sardinel de concreto extruido. Cabe mencionar que, el material de rocas necesarias para el relleno del terraplén se obtendrá del material residual producto de las voladuras realizadas en el tajo abierto Ferrobamba.

El material será entregado principalmente a los terraplenes por la flota de Mina. El Contratista llevará a cabo la manipulación, procesamiento, extendido y compactación del material de construcción en las zonas definidas del terraplén (como se detalla en el presente documento) (Soden, 2019).

Figura 14

Sección transversal de Presa de Relaves



Nota: Expediente Técnico PR ET5.



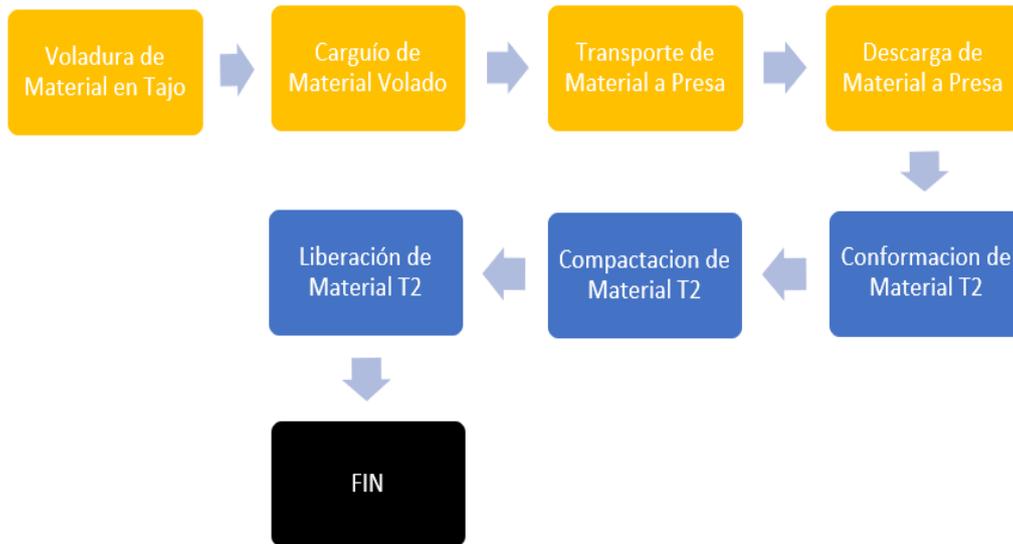
Diagnóstico de la situación previa a la aplicación del método Lean Construction:

En el relleno de presa con Material Tipo 2:

- Se evidencia polígonos de relleno muy grandes (plataformas de 87x300 m²), esto causa la prolongación del tiempo de espera de las maquinarias como tractores sobre orugas D10T de 600 y 610 HP y D9T de 410 HP y 449 HP de potencia, Rodillo compactador poligonal BOMAG BW 219 DI de 20 Toneladas, dado que el proceso de descarga de material de voladura del tajo Ferro Bamba se realiza por camiones mineros.
- Operaciones de carguío y de retiro de material rocoso en la cantera deficiente, lo cual disminuye los niveles de productividad en las actividades de conformación del terraplén (Retrabajos), dado que las dimensiones del material exceden a las dimensiones determinadas para las capas de relleno de 1.60m (material tipo 2).
- Sectores de relleno demasiado extensos para la conformación de material tipo 2, emplazados en toda la longitud transversal de la plataforma, lo que ocasiona tiempos muertos de tractores y rodillos en espera de frente de trabajo.
- Incorrecto Flujo de trabajo de tractores en la conformación de material tipo 2, lo que ocasiona improductividad de los mismos al no tener coordinación previa para el trabajo.
- Desplazamiento innecesario entre plataformas (frentes de trabajo) por incorrecta programación de actividades durante la semana.

Figura 15

Flujograma de relleno de material Tipo 2 Matriz de análisis de datos



Nota. Elaboración propia (2022)

Figura 16

Relleno de material Tipo 2 – Sectores de relleno extensos



Nota. Elaboración propia (2022)

Figura 17

Conformación de material Tipo 2 – Retiro de Islas



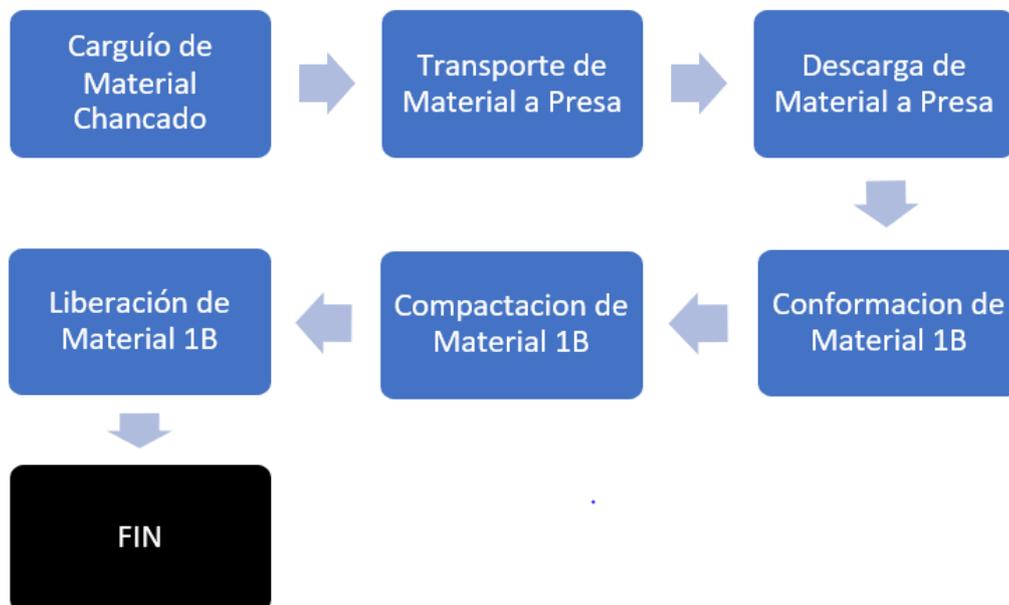
Nota. Elaboración propia (2022).

En el relleno de presa con Material Tipo 1B:

- Se tiene sectores de relleno muy extensos (700x3.5 m²) lo que ocasionan tiempos de esperas muy prolongados para los equipos tales como la Motoniveladora 140 y el Rodillo de 10 Ton, ya que la actividad previa es el carguío, transporte y descarga de material procesado de la chancadora que realizan los volquetes.
- Incorrecto Flujo de trabajo de la motoniveladora y el rodillo de 10 ton, lo que ocasiona improductividad de los mismos al no tener coordinación previa para el trabajo.
- Desplazamientos innecesarios entre frentes de trabajo por incorrecta programación de actividades durante la semana.

Figura 18

Flujograma de relleno de material Tipo 1B



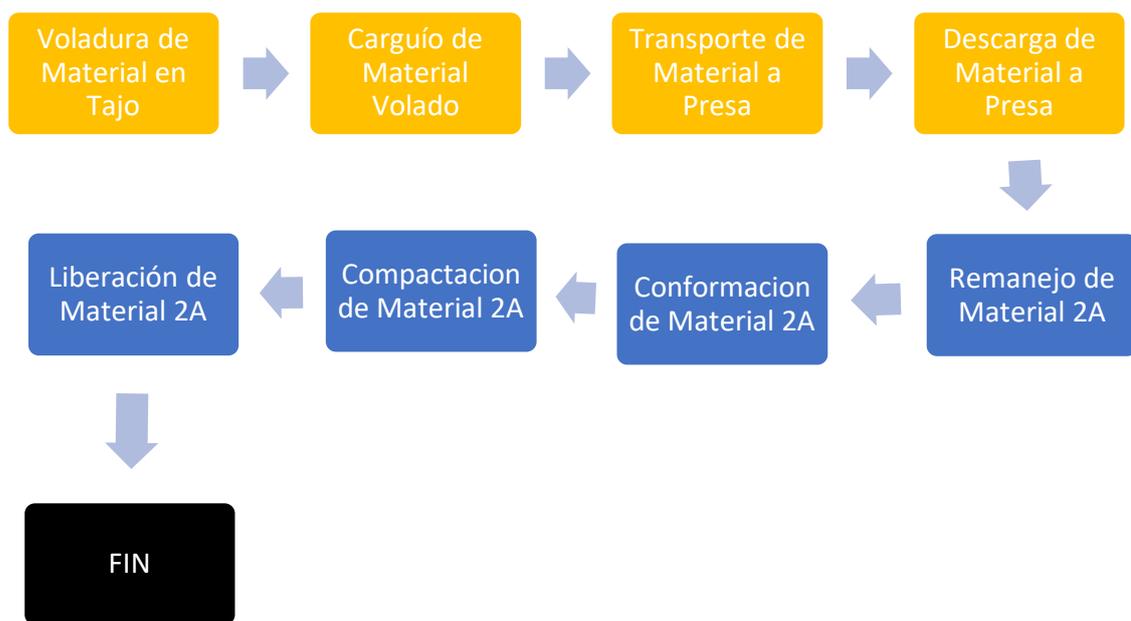
Nota. Elaboración propia (2022).

En el relleno de presa con Material Tipo 2A:

- Se tiene sectores de relleno muy extensos (700x10 m²) lo que ocasionan tiempos de esperas muy prolongados para los equipos tales como Tractores D9T de 410 HP y el Rodillo de 10 Ton, ya que la actividad previa re manejo de material descargado por los camiones mineros.
- Incorrecto Flujo de trabajo del tractor y el rodillo, lo que ocasiona improductividad de los mismos al no tener coordinación previa para el trabajo.
- Desplazamientos innecesarios entre frentes de trabajo por incorrecta programación de actividades durante la semana.

Figura 19

Flujograma de relleno de material Tipo 2A



Nota. Elaboración propia (2022).



3. Diagnóstico inicial de rendimientos

3.1. Material Tipo 2

A continuación, se muestran los rendimientos y costos del relleno y compactado del material tipo 2.

Tabla 6

Diagnóstico inicial en los meses de noviembre, diciembre y enero

Ítem	Descripción	Inicial	Observación
1	Costo Unitario Relleno (Soles/m ³)	0.93	Información proporcionada por el Área de costos de MEP
2	Producción Diaria Relleno (m ³)	44,153.42	Promedio de la Producción Diaria de los meses Nov, Dic y Ene.

Nota. En esta tabla se muestra el costo unitario de relleno y la producción diaria de relleno. Fuente: Oficina técnica-MEP

Tabla 7

Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Tractor D9 - D10	Volumen Conformado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 1 de nov. Al 30 de nov.	D10 D9	666.20 1,225.30	1,350,847.94	2027.7 1102.5	0.000493 0.000907	0.000781 0.001172	36.87% 22.60%
Del 1 de dic. Al 31 de dic.	D10 D9	245.00 415.20	1,354,123.40	5527.0 3261.4	0.000181 0.000307	0.000781 0.001172	76.84% 73.84%
Del 1 de Ene. Al 30 de Ene.	D10 D9	660.70 1,228.30	1,312,989.98	1987.3 1068.9	0.000503 0.000935	0.000781 0.001172	35.59% 20.17%
Total		4,440.70	4,017,961.32	904.8	0.00111	0.001953	43.41%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Tabla 8

Rendimiento de la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Rodillo 19 Ton o Equiv	Volumen Compactado	Velocidad (m3/h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m3)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m3)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 1 de nov. Al 30 de nov.	ROD 19 TON	1,376.30	1,350,847.94	981.5	0.00102	0.00156	34.79%
Del 1 de dic. Al 31 de dic.	ROD 19 TON	201.5	1,354,123.40	6720.2	0.00015	0.00156	90.48%
Del 1 de Ene. Al 30 de Ene.	ROD 19 TON	1,035.10	1,312,989.98	1268.5	0.00079	0.00156	49.55%
Total		2,612.90	4,017,961.32	1537.7	0.00065	0.00156	58.38%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en el mes de enero.



3.2. Material Tipo 1B

A continuación, se muestran los rendimientos y costos del relleno y compactado del material tipo 1B.

Tabla 9

Diagnóstico inicial en el mes de enero

Ítem	Descripción	Inicial	Observación
1	Costo Unitario Relleno (Soles/m3)	19.29	Información proporcionada por el Área de costos de MEP
2	Producción Diaria Relleno (m3)	263.71	Promedio de la producción Diaria de los meses Nov, Dic y Ene.

Nota. En esta tabla se muestra el costo unitario de relleno y la producción diaria de relleno. Fuente: Oficina técnica-MEP.

Tabla 10

Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Motoniveladora 140	Volumen Conformado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 10 de Ene. Al 30 de Ene.	Motoniveladora	59.60	5537.91	92.9	0.01076	0.013333	19.28%
Total		59.60	5537.91	92.9	0.01076	0.013333	19.28%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en el mes de enero.



3.2. Material Tipo 2A

A continuación, se muestran los rendimientos y costos del relleno y compactado del material tipo 2A.

Tabla 11

Diagnóstico inicial en el mes de enero

Ítem	Descripción	Inicial	Observación
1	Costo Unitario Relleno (Soles/m ³)	5.29	Información proporcionada por el Área de costos de MEP
2	Producción Diaria Relleno (m ³)	788.11	Promedio de la producción Diaria de los meses Nov, Dic y Ene.

Nota. En esta tabla se muestra el costo unitario de relleno y la producción diaria de relleno. Fuente: Oficina técnica-MEP

Tabla 12

Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Tractor D8	Volumen Conformado	Velocidad (m3/h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m3)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m3)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 10 de Ene. Al 30 de Ene.	Tractor	104.70	16,550.28	158.1	0.006326	0.005882	-7.55%
Total		104.70	16,550.28	158.1	0.00633	0.005882	-7.55%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en el mes de enero.

Tabla 13

Rendimiento de la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Rodillo 19 Ton o Equiv	Volumen Compactado	Velocidad (m3/h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m3)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m3)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 10 de Ene. Al 30 de Ene.	Rodillo	63.35	16,550.28	261.3	0.00383	0.00353	-8.45%
Total		63.35	16,550.28	261.25	0.00383	0.00353	-8.45%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en el mes de enero.

Para el desempeño de las diversas actividades se usaron distintos equipos, en la tabla que se mostrará a continuación se podrá observar el código, modelo y estado de los equipos empleados en el relleno y compactación de la presa Relaves.

Tabla 14

Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2

Equipo	Código	Modelo	Estado
Rodillo	PE44/0017	CATERPILLAR CS76XT (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0018	CATERPILLAR CS76XT (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0019	BOMAG BW219DH-4 (S)	Operativo
Rodillo	PE44/A081	HAMM 3520 HT	Operativo
Rodillo	PE44/A098	HAMM 3520 HT	Operativo
Tractor	PE32/0036	KOMATSU D375A-6R (S) (KF)	Inoperativo
Tractor	PE32/0038	KOMATSU D 275 AX-5EO (S) (KF)	Operativo
Tractor	PE32/0039	CATERPILLAR D10T2 (S)(CATF)	Operativo
Tractor	PE32/0035	CATERPILLAR D9T (S)(CATF)	Operativo
Tractor	PE32/0037	KOMATSU D 2 75 AX-5EO (S) (KF)	Operativo
Tractor	PE32/0034	CATERPILLAR D9T (S)(CATF)	Operativo
Tractor	PE32/0033	CATERPILLAR D9T (S)	Operativo
Tractor	PE32/0043	KOMATSU D275AX-5E0	Operativo

Nota. Extraído de Oficina técnica-MEP

Tabla 15

Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 1B

Equipo	Código	Modelo	Estado
Rodillo	PE44/0007	CATERPILLAR CS-533E (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0028	CATERPILLAR CS54B (S) (IB)	Operativo
Motoniveladora	PE40/0005	CATERPILLAR 140 M (Guide Machine) (S)	Operativo
Motoniveladora	PE40/0011	CATERPILLAR 140 K (S)	Operativo

Nota. Extraído de Oficina técnica-MEP



Tabla 16

Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2A

Equipo	Código	Modelo	Estado
Tractor	PE32/0007	CATERPILLAR D8T (S)	Operativo
Tractor	PE32/0041	KOMATSU D155AX-6	Operativo
Rodillo	PE44/0017	CATERPILLAR CS76XT (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0019	BOMAG BW219DH-4 (S)	Operativo

Nota. Extraído de Oficina técnica-MEP

Tabla 17

Resumen de cartas Balance del material Tipo 2

		22/11/21	23/11/21	24/11/21	25/11/21	26/11/21	27/11/21	28/11/21	TOTAL
TRACTORES	TP	62.00	49.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.00	35.4%
	TC	26.00	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.00	16.5%
	TNC	72.00	92.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.00	48.1%
		160.00	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	160.00	100.0%
RODILLOS	TP	41.00	64.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.00	55.7%
	TC	15.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	17.5%
	TNC	24.00	36.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	26.8%
		80.00	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.00	100.0%
TRACTORES	TP	19.00	40.00	45.00	99.00	0.00	0.00	59.00	50.4%
	TC	8.00	8.00	14.00	21.00	0.00	0.00	34.00	16.3%
	TNC	13.00	32.00	21.00	40.00	0.00	0.00	67.00	33.3%
		40.00	80.00	80.00	160.00	0.00	0.00	160.00	100.0%
RODILLOS	TP	26.00	26.00	0.00	50.00	0.00	0.00	51.00	63.8%
	TC	7.00	6.00	0.00	10.00	0.00	0.00	14.00	15.4%
	TNC	7.00	8.00	0.00	20.00	0.00	0.00	15.00	20.8%
		40.00	40.00	0.00	80.00	0.00	0.00	80.00	100.0%
TRACTORES	TP	0.00	0.00	22.00	23.00	0.00	0.00	0.00	37.5%
	TC	0.00	0.00	11.00	11.00	0.00	0.00	0.00	18.3%
	TNC	0.00	0.00	47.00	6.00	0.00	0.00	0.00	44.2%
		0.00	0.00	80.00	40.00	0.00	0.00	0.00	100.0%
RODILLOS	TP	0.00	0.00	44.00	22.00	0.00	0.00	51.00	58.5%
	TC	0.00	0.00	10.00	8.00	0.00	0.00	14.00	16.0%
	TNC	0.00	0.00	26.00	10.00	0.00	0.00	15.00	25.5%
		0.00	0.00	80.00	40.00	0.00	0.00	80.00	100.0%
TRACTORES	TP	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00	98.00	0.00	58.8%
	TC	0.00	0.00	0.00	0.00	26.00	18.00	0.00	13.8%
	TNC	0.00	0.00	0.00	0.00	44.00	44.00	0.00	27.5%



		0.00	0.00	0.00	0.00	160.00	160.00	0.00	100.0%
RODILLOS	TP	0.00	0.00	0.00	0.00	52.00	54.00	0.00	66.3%
	TC	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	14.00	0.00	21.3%
	TNC	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	12.00	0.00	12.5%
		0.00	0.00	0.00	0.00	80.00	80.00	0.00	100.0%

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 18

Resumen de cartas Balance del material Tipo 1B

		24/01/22	25/01/22	26/01/22	27/01/22	28/01/22	29/01/2022	30/01/22	TOTAL
MOTONIVELADORA	TP	15.00	15.00	17.00	11.00	11.00	11.00	12.00	32.9%
	TC	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	9.3%
	TNC	23.00	21.00	19.00	25.00	25.00	25.00	24.00	57.9%
		40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	100.0%
RODILLOS	TP	6.00	18.00	18.00	5.00	5.00	5.00	13.00	21.9%
	TC	3.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	5.3%
	TNC	31.00	20.00	59.00	33.00	33.00	33.00	24.00	72.8%
		40.00	40.00	80.00	40.00	40.00	40.00	40.00	100.0%

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 19

Resumen de cartas Balance del material Tipo 2A

		24/01/22	25/01/22	26/01/22	27/01/22	28/01/22	29/01/22	30/01/22	TOTAL
TRACTORES	TP	24.00	27.00	21.00	21.00	21.00	0.00	17.00	54.6%
	TC	8.00	4.00	7.00	7.00	7.00	0.00	5.00	15.8%
	TNC	8.00	9.00	12.00	12.00	12.00	0.00	18.00	29.6%
		40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	0.00	40.00	100.0%
RODILLOS	TP	19.00	16.00	8.00	18.00	17.00	0.00	16.00	39.2%
	TC	3.00	6.00	3.00	4.00	4.00	0.00	2.00	9.2%
	TNC	18.00	18.00	29.00	18.00	19.00	0.00	22.00	51.7%
		40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	0.00	40.00	100.0%

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 20

Porcentaje de plan cumplido

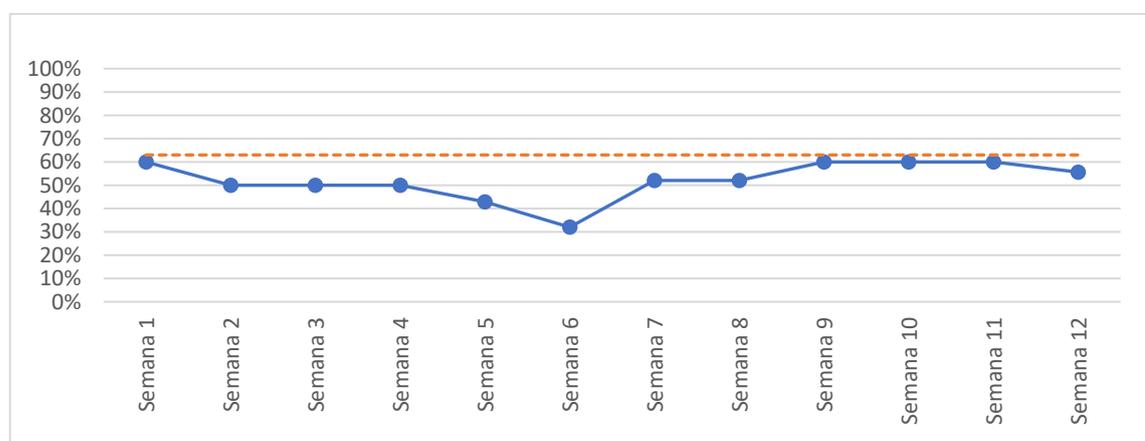
ITEM	Actividad Completada	Actividad no completada	Actividades Programadas	PPC	PPC promedio	PPC acumulado
Semana 1	3	2	5	60%	68%	60%
Semana 2	3	3	6	50%	68%	50%
Semana 3	3	3	6	50%	68%	50%
Semana 4	3	3	6	50%	68%	50%
Semana 5	3	4	7	43%	68%	43%
Semana 6	2	5	7	32%	68%	29%
Semana 7	4	3	7	53%	68%	57%
Semana 8	3	2	5	53%	68%	60%
Semana 9	3	2	5	60%	68%	60%
Semana 10	3	2	5	60%	68%	60%
Semana 11	3	2	5	60%	68%	60%
Semana 12	5	4	9	56%	68%	52%
Promedio	29	44	73	52%		

Nota. En esta tabla se puede observar que el porcentaje del plan cumplido es del 52 %.

El historial del PPC se extrajo de los informes semanales enviados al cliente, cabe señalar que el indicador del PPC se estuvo manejando de manera interna debido a que el cliente solicito no mostrar el indicador. Las Fichas de Recolección de datos se detallan en el Anexo 4: Porcentaje de Plan Cumplido.

Figura 20

Porcentaje del plan cumplido



Nota. Elaboración propia

Se analizaron las restricciones que fueron causa de impedimento del Porcentaje de Plan definido en el plan maestro. Encontrándose las siguientes restricciones:

Tabla 21

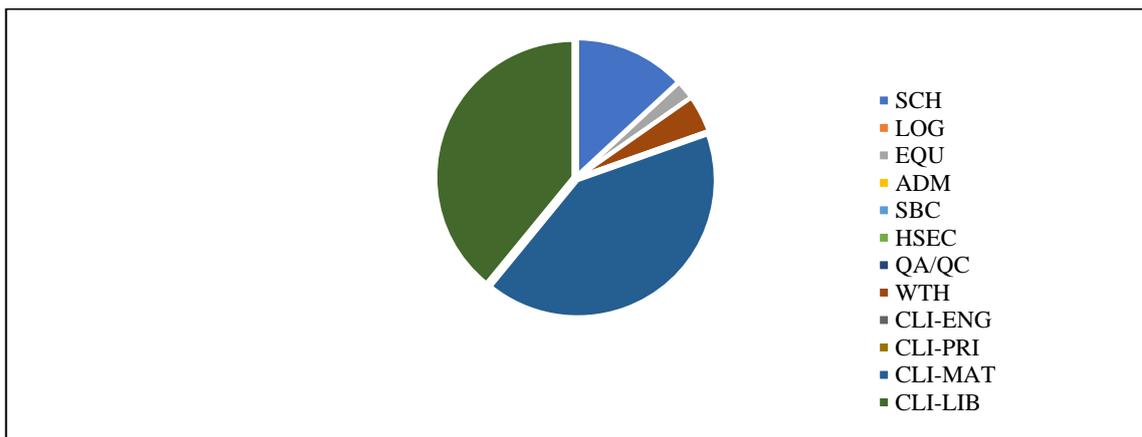
Restricciones en la etapa de Pre Test

Restricción	Cantidad	Porcentaje
SCH	6	13%
LOG	0	0%
EQU	1	2%
ADM	0	0%
SBC	0	0%
HSEC	0	0%
QA/QC	0	0%
WTH	2	4%
CLI-ENG	0	0%
CLI-PRI	0	0%
CLI-MAT	19	41%
CLI-LIB	18	39%
	46	100%

Nota. La restricción más recurrente fue la de materiales Cliente

Figura 21

PRE TEST- Causas de Incumplimiento acumulado



Nota. La restricción más encontrada fue la de materiales Cliente

Acciones para mejorar las Actividades no Cumplidas

Se implementaron herramientas de la metodología Lean Construction, las cuales fueron adecuadas a las condiciones de la obra y a las causas de incumplimiento recogidas en cada semana de trabajo.

Al respecto se implementaron las reuniones de restricciones las cuales ayudaron en gran medida al reconocimiento de restricciones y su difusión a los involucrados.

Es importante mencionar que la filosofía Lean es "una nueva forma de trabajar" la cual se fundamenta en el respeto por las personas. Por lo que las reuniones presenciales debían incluir a los últimos planificadores que este caso fueron los capataces y operarios de movimiento de tierras.

Las acciones correctivas mencionadas en los informes semanales fueron aplicadas para su medición la semana posterior al análisis, el soporte de gerencia fue importante para que estas acciones correctivas sean efectivas y no sean tomadas como un escrito en papel. Así mismo se brindaron las herramientas necesarias a los capataces y operarios de movimiento de tierras mediante capacitaciones para que conozcan un poco acerca de la filosofía lean.

Tabla 22

Acciones correctivas

CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO (CI)	ACCIONES CORRECTIVAS	DETALLE
Alertas amarillas continuas - Sin área para colocar curb	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Con el historial de Alertas de dos semanas anteriores se estima horas de alertas, se toma la decisión de que el personal ingrese 1 hora antes
Actividad precedente	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Con el historial de Alertas de dos semanas anteriores se estima horas de alertas, se toma la decisión de que el personal ingrese 1 hora antes



Actividad precedente	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Con el historial de Alertas de dos semanas anteriores se estima horas de alertas, se toma la decisión de que el personal ingrese 1 hora antes
Bajo suministro de material por parte de MLB - MLB indica que no tuvo área para entrega	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Se realiza la sectorización de áreas de trabajo en T2, para nivelar los recursos y realizar un tren de trabajo
Se viene realizando trabajos en sectores pequeños	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Se realiza la sectorización de áreas de trabajo en 1B, se trabajará con una longitud mínima de 12 metros
Actividad precedente	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Se realiza la sectorización de áreas de trabajo en T2, para nivelar los recursos y realizar un tren de trabajo
Bajo suministro de material por parte de MLB - MLB indica que no tuvo área para entrega	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Se realiza la sectorización de áreas de trabajo en T2, para nivelar los recursos y realizar un tren de trabajo
Se viene realizando trabajos en sectores no definidos	Se realizará la sectorización de tramos para mayor control diario	Se realiza la sectorización de áreas de trabajo en 1B, para nivelar los recursos y realizar un tren de trabajo
Se viene realizando trabajos en sectores no definidos	Se realizará la sectorización de tramos para mayor control diario	Se realiza la sectorización de áreas de trabajo en 2A, para nivelar los recursos y realizar un tren de trabajo
Constante abastecimiento de combustible en la cuadrilla de tractores en horas efectivas disminuye la productividad	Se realizará reunión de 3W para definir promesas cumplibles	Se definió el horario de abastecimiento entre el cambio de guardia.
Las inyecciones en la zona se realizaron con menor forecast	Actualizar forecaste de cantidades	Se actualizó el Forecast con una nueva estimación

Los recursos fueron designados a otro frente a media semana debido a inoperatividad de EQ	Se realizará el mtto preventivo de los EQ de acuerdo a programación enviada por EQ	EQ inoperativos causaron que las cuadrillas se dividan y generen improductividad, se tomó la acción de no dividir cuadrillas ya que el área de EQ atenderá en la medida posible a los equipos inoperativos en terreno.
La planta de inyección entro en MTTO por 3 días	Se programará el mtto preventivo en reunión 3W	Se realizó un mantenimiento total a la planta para prevenir desgaste prematuro de consumibles.
MLB no cumplió con el suministro comprometido en reunión 3W.	MLB suministrará el saldo durante la semana, MEP deberá programar demanda.	MLB Y MEP sostienen reuniones 3W para conciliar acuerdos de acuerdo a los viajes suministrados por MINA
No se llegó a los viajes comprometidos por MLB	MEP reprogramará la actividad	MLB se comprometió a suministrar el saldo la semana posterior al corte
No se liberó último tramo con QA por cambio de guardia	MEP solicitará reportar producción con pendiente de liberación	MLB acepto reportar el levantamiento topográfico completo
Conflicto social entre MLB y las comunidades el 14.04	MEP quedará a espera de indicaciones para reinicio de labores	El día 14.04.22 se inició el conflicto social entre MLB y las comunidades, MEP a espera de indicaciones

Nota. En esta tabla se muestran las acciones correctivas ejecutadas de la semana 14 a la semana 24.

4. Sistema de Gestión en base a la Metodología Lean Construction

El estudio se enfoca en la aplicación e implementación de las herramientas de Lean Construction en la ejecución del proyecto de construcción de Presa de Relaves Etapa

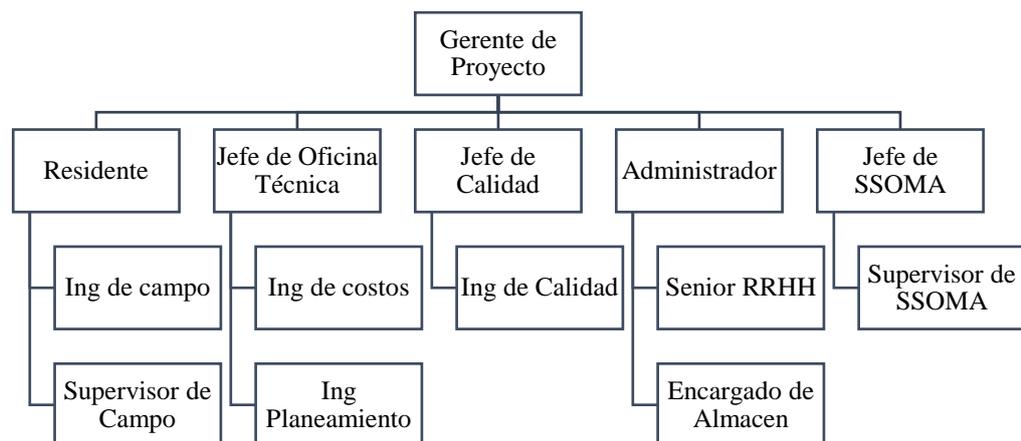
Para la implementación de la Filosofía se siguieron ciertos procedimientos:

- i. Capacitación del personal de obra: El principal obstáculo para llevar a cabo los proyectos de implantación de la Lean es la resistencia al cambio de los trabajadores; para evitarla, la implicación de la Dirección de las empresas y sus iniciativas de comunicación y motivación, a todos los niveles, resultan imprescindibles. Por lo que se realizan capacitaciones al personal

de los procedimientos nuevos que se llevaran a cabo. En las imágenes 4; 5 y 6 del Anexo 5: Panel Fotográfico se muestran evidencia de las reuniones para capacitaciones del personal.

- ii. Identificación de procesos: Se realizó la identificación de las actividades a realizar y se determinaron diferentes procesos a seguir. Tales procesos se muestran en la Figura 18 y Figura 19.
- iii. Revisión de organigramas para establecer responsabilidades: Para la correcta implementación se realizaron reuniones en donde se designaba responsabilidades por medio de organigramas:

Figura 22
Organigrama de obra



Nota. Elaboración propia (2022).

- iv. Implementación de los formatos para el sistema Last Planner System: Se mostro al personal los formatos de LPS tales como los del LookAhead Planing y el PPC.

A. Implementación de Last Planner

El Last Planner conforma una de las herramientas implementadas en el desarrollo del proyecto, para esto se definió los siguientes procedimientos.

a. Sectorización

Corresponde a la división proporcional de las zonas de estudio en función a los metros de cada partida del proyecto.

En el presente estudio, la sectorización se realizó en función de las partidas de conformación y compactación del material tipo 2, tipo 2A y tipo 1B.

En esta etapa se determina un número tentativo de sectores según las dimensiones del proyecto, la maquinaria a utilizar y los procesos de construcción aplicados en la obra.

Figura 23
Sectorización material Tipo 2

Material Tipo 2									
Ferrobamba Norte									
Extensio Lineal: 200 ml									
Ancho Promedio: 87 ml									
Sectores: 21 sectores por capa de 200 ml de largo x 29 de ancho									
Rendimiento APU: 2560 m3/hm									
		200 ML							
CAPA	LADO	3+936 - 3+736	3+736 - 3+536	3+536 - 3+336	3+336 - 3+136	3+136 - 2+936	2+936 - 2+736	2+736 - 2+536	
CAPA 34	IZQUIERDO	C34-S01	C34-S04	C34-S07	C34-S10	C34-S13	C34-S16	C34-S19	29.00
	CENTRAL	C34-S02	C34-S05	C34-S08	C34-S11	C34-S14	C34-S17	C34-S20	29.00
	DERECHO	C34-S03	C34-S06	C34-S09	C34-S12	C34-S15	C34-S18	C34-S21	29.00
		200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	
		9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	
		9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	
		9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	9,280.00	
	Total M3	27,840.00							
	Jornada	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	
	Rendimiento	2530.9	2530.9	2530.9	2530.9	2530.9	2530.9	2530.9	
	Eq	3 tractores	5 tractores	3 tractores	5 tractores	5 tractores	5 tractores	5 tractores	
Bofedales									
Extensio Lineal: 208 ml									
Ancho Promedio: 87 ml									
Sectores: 8 sectores por capa de 207.5 ml de largo x 43.50 de ancho									
Rendimiento APU: 1536 m3/hm									
		0+830 - 0+623	0+623 - 0+415	0+415 - 0+208	0+208 - 0+000				
CAPA 136	IZQUIERDO	C136-S01	C136-S03	C136-S05	C136-S07				43.50
	DERECHO	C136-S02	C136-S04	C136-S06	C136-S08				43.50
		208	208	208	208				
		14,442.00	14,442.00	14,442.00	14,442.00				
		14,442.00	14,442.00	14,442.00	14,442.00				
	Total M3	28,884.00	28,884.00	28,884.00	28,884.00				
	Jornada	22.0	22.0	22.0	22.0				
	Rendimiento	1312.9	1312.9	1312.9	1312.9				
	Eq	3 tractores	3 tractores	3 tractores	3 tractores				

Nota. En esta tabla se indica la jornada, el rendimiento y los equipos de los sectores del material Tipo 2.

Figura 24
Sectorización material Tipo 2A – 1B

Material Tipo 2A						
Sofedales						
Extensio Lineal:	208 ml					
Ancho Promedio	87 ml					
Sectores	8 sectores por capa de 207.5 ml de largo x 10 de ancho					
Rendimiento APU	170 m ³ /hm					
	CAPA	LADO	0+830 - 0+623	0+623 - 0+415	0+415 - 0+208	0+208 - 0+000
	CAPA 17	CENTRAL	C17-501	C17-502	C17-503	C17-504
			208	208	208	208
			830.00	830.00	830.00	830.00
			830.00	830.00	830.00	830.00
			5.0	5.0	5.0	5.0
			166.0	166.0	166.0	166.0
			Eq	1 tractor D8	1 tractor D8	1 tractor D8
				1 tractor D8	1 tractor D8	
						10.00
Material Tipo 1B						
Sofedales						
Extensio Lineal:	208 ml					
Ancho Promedio	3.5 ml					
Sectores	4 sectores por capa de 207.5 ml de largo x 3.5 de ancho					
Rendimiento APU	75 m ³ /hm					
	CAPA	LADO	0+830 - 0+623	0+623 - 0+415	0+415 - 0+208	0+208 - 0+000
	CAPA 17	CENTRAL	C17-501	C17-502	C17-503	C17-504
			208	208	208	208
			290.50	290.50	290.50	290.50
			290.50	290.50	290.50	290.50
			4.0	4.0	4.0	4.0
			72.6	72.6	72.6	72.6
			Eq	1 Motoniveladora	Motoniveladora	Motoniveladora
				Motoniveladora	Motoniveladora	
						3.50

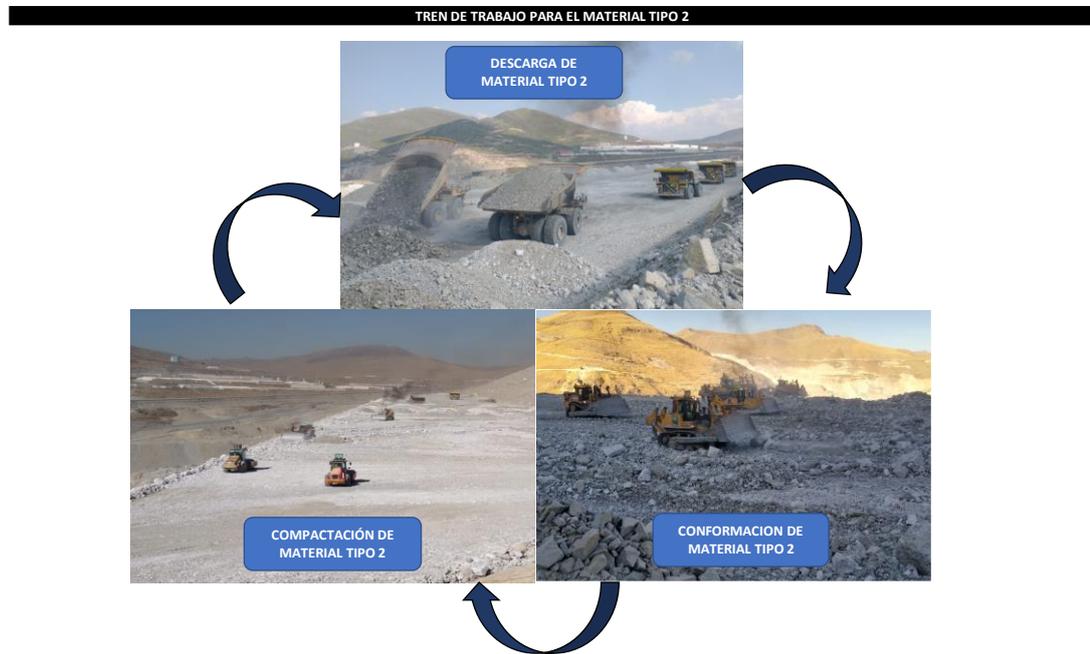
Nota. En esta tabla se indica la jornada, el rendimiento y los equipos de los sectores del material Tipo 2A y 1B.

b. Tren de Trabajo

Respecto a las condiciones de trabajo en la obra, las actividades son recurrentes y operativas, dado que los recursos son trasladados de sector en sector. Por lo que el tren de trabajo considera las partidas correspondientes a la manipulación de material de relleno tipo 2, 2A y 1B. Definiendo el inicio con la partida denominada abastecedora, en referencia a la descarga de material, la actividad de conformación y el proceso de compactación del material. Cabe mencionar que, por fines teóricos, las actividades contempladas en el estudio son aquellas donde interviene maquinaria pesada. Siendo así queda desestimada la incorporación de los ensayos de liberación de campo.

Figura 25

Tren de Trabajo para el material Tipo 2



Nota. El tren de actividades del material Tipo 2 comprende la descarga Tipo 2, luego se realiza la conformación del material, para luego realizar la compactación.

Figura 26

Tren de Trabajo para el material Tipo 1B



Nota. El tren de actividades del material Tipo 1B comprende la descarga Tipo 2, luego se realiza la conformación del material, para luego realizar la compactación.

Figura 27

Tren de Trabajo para el material Tipo 2A



Nota. El tren de actividades del material Tipo 2A comprende la descarga Tipo 2, luego se realiza la conformación del material, para luego realizar la compactación.

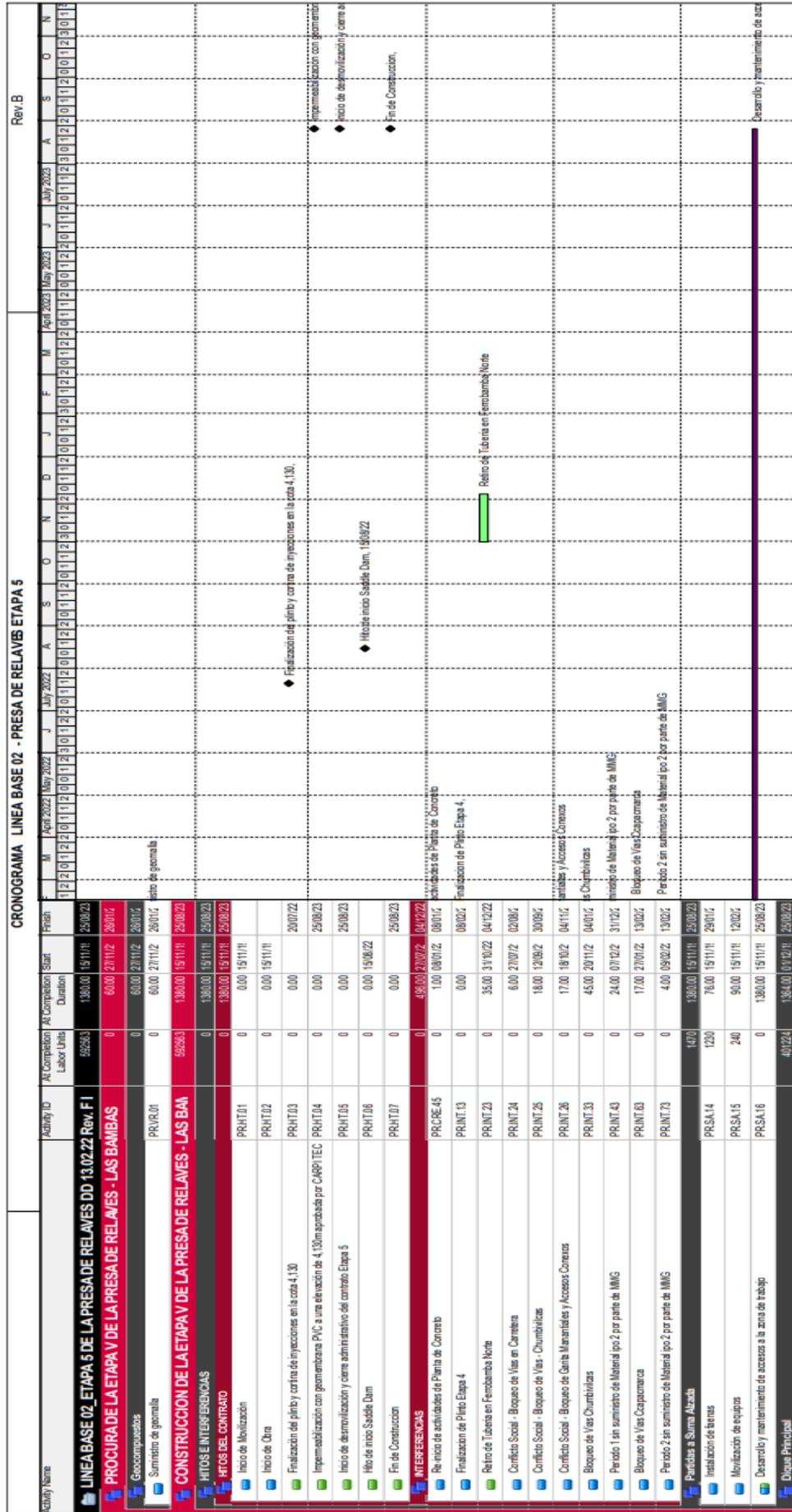
c. Plan Maestro

Para implementar el plan maestro se realizaron reuniones colaborativas de planificación con el área de producción y gerencia para reestructurar la WBS y reprogramar actividades del cronograma impactado inicialmente.

A continuación, se muestra el cronograma LINEA BASE 2 de las actividades de la Presa de relave etapa 5.

Figura 28

Plan maestro de las actividades de la Presa de relave etapa 5.





Detalle Principal	40124	134.00	01/12/11	25/08/21	
Fuente 01 - Ferrobamba	13775	1297.00	01/12/11	19/06/21	
Ferrobamba de 4105 @ 4121 (2+709 - 4+236)	11178	1238.00	01/12/11	29/05/21	
Excavación	15034	503.00	01/12/11	17/04/21	
Excavación de tipo 20 y material fraccionado - fundación presa Ferrobamba Río	PRFP 20	13437	425.00	01/12/11	29/01/21
Carga, transporte y disposición de material fraccionado a botadero	PRFP 21	0	425.00	01/12/11	29/01/21
Remanaje, colocación y distribución de relleno con material tipo 10	PRFP 22	1133	73.00	15/11/21	29/01/21
Transporte interno adicional de materiales de relleno 10, 2A, 2A, 2 (sobre-acarreo)	PRFP 23	0	73.00	15/11/21	29/01/21
Preparación de fundación de Pesa - Ferrobamba Río	PRFP 24	1464	503.00	01/12/11	17/04/21
Relleno Material Tipo 2	44016	776.00	10/03/12	24/04/21	
Distribución y compactación de material tipo 2 - Ferrobamba de Fund. @ 4105 (2+709 - 4+226)	PRCPM.34	11351	272.00	10/03/12	07/12/21
Distribución y compactación de material tipo 2 - Ferrobamba de Fund. @ 4105 (2+709 - 4+226)	PRCPM.34S	23444	345.00	14/02/22	24/01/21
Distribución y compactación de material tipo 2 - Ferrobamba de 4105 @ 4121 (2+709 - 4+226)	PRCPM.35	3321	90.00	23/01/21	24/04/21
Remanaje Tipo 2	3	73.00	05/07/12	16/05/21	
Distribución y compactación de material tipo 2 (Remanaje) Río de Fund. @ 3884.60 (0-100 - 3+)	PRCPR.41	3	73.00	05/07/12	16/05/21
Material Tipo 1B, 2A y 2B	52723	721.00	09/06/12	29/05/21	
Suministro y colocación de concreto de 40Pa en culatas - Ferrobamba de 4105 @ 4121 (2+709 -)	PROCE.45.9	251	20.00	09/06/12	29/05/21
Suministro y colocación de concreto de 40Pa en culatas - Ferrobamba de 4105 @ 4121 (2+709 -)	PROCE.46	35980	90.00	23/01/21	24/04/21
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B - Ferrobamba de 4105 @ 4121 (2+709 -)	PROCE.48	10147	90.00	23/01/21	24/04/21
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A - Ferrobamba de 4105 @ 4121 (2+709 -)	PROCE.50	5765	90.00	23/01/21	24/04/21
Transporte interno adicional de materiales de relleno 10, 2A, 2A, 2 (sobre-acarreo)	PROCE.52	0	125.00	23/01/21	29/05/21
Ferrobamba de 4121 @ 4130 (2+709 - 4+236)	26359	35.00	23/04/21	15/03/21	
Remanaje Tipo 2	1541	35.00	23/04/21	29/05/21	
Distribución y compactación de material tipo 2 (Remanaje) Ferrobamba de 4121 @ 4130 (2+709 -)	PRCPR.42	1541	35.00	23/04/21	29/05/21
Material Tipo 1B, 2A y 2B	19590	35.00	23/04/21	29/05/21	
Suministro y colocación de concreto de 40Pa en culatas - Ferrobamba de 4121 @ 4130 (2+709 -)	PROCE.47	12131	35.00	23/04/21	29/05/21
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B - Ferrobamba de 4121 @ 4130 (2+709 -)	PROCE.49	3388	35.00	23/04/21	29/05/21

TESISTA: Fernando Alferez Miranda

Page 1 of 4

■ Remaining Level of Effort ■ Actual Work ■ Critical Remaining ...
■ Actual Level of Effort ■ Remaining Work ■ Milestone

Activity Name	Activity ID	AI Completion Labor Units	AI Completion Start	AI Completion Duration	Finish
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A - Ferrobambas de 4121 @ 4130 (2-1)	PRCHE51	3721	25/04/22	29/05/23	
Compuesto		5808	25/04/22	19/05/23	
Instalación de geomembrana de PVC-Capi Tech - Ferrobambas de 4105 @ 4121 (2-7)9 - 4-22@	PRCHE08	3686	25/04/22	29/05/23	
Instalación de geomembrana de PVC-Capi Tech - Ferrobambas de 4121 @ 4130 (2-7)9 - 4-22@	PRCHE53	2172	21/01/22	19/05/23	
Forma 02 - Botabilas		16500	03/04/22	29/10/22	
Botabilas de 4105 @ 4121 (0-645 - 1-919)		11385	03/04/22	03/10/22	
Excavación		33629	03/04/22	10/05/22	
Excavación de top soil y material inadecuado - fundación presa - Lado Botabilas	PRFP 25	31145	30/03/21	29/01/22	
Carga, transporte y disposición de material inadecuado a botadero - Lado Botabilas	PRFP 26	0	21/03/21	02/08/21	
Preparación de Fundición de Pisos - Botabilas	PRFP 27	2884	30/03/21	10/05/22	
Relevo Material Tipo 2		27932	18/11/22	15/07/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 - Botabilas 1 & 2 de Fund @ 4105 (0-645 - 1-919)	PRCPML38	17200	18/11/22	07/12/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 - Botabilas 1 & 2 de Fund @ 4105 (0-645 - 1-919)	PRCPML38S	983	20/01/22	05/03/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 - Botabilas 3 de Fund @ 4105 (0-600 - 0-645)	PRCPML37	3402	17/20/22	07/12/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 - Botabilas 3 de Fund @ 4105 (0-600 - 0-645)	PRCPML37S	2113	31/01/22	11/04/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 - Botabilas de 4105 @ 4121 (0-400 - 1-919)	PRCPML38	4134	05/01/22	15/07/22	
Remanaje Tipo 2		678	21/20/22	07/04/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 (Remanaje) - Capas Niveladas (0-400 - 2-7)9	PRCPRCP	678	21/20/22	07/04/22	
Material Tipo 1B, 2AY Curb		51512	08/05/22	03/10/22	
Suministro y colocación de concreto de 4MPa en curbs (0-400 - 1-919) 1er Curb	PRCHE53.9	251	20/01/22	29/05/22	
Suministro y colocación de concreto de 4MPa en curbs - Botabilas de 4105 @ 4121 (0-400 - 1-919)	PRCHE54	34770	12/04/22	15/07/22	
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B - Botabilas de 4105 @ 4121 (0-400 - 1-919)	PRCHE56	9620	05/01/22	13/07/22	
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A - Botabilas de 4105 @ 4121 (0-400 - 1-919)	PRCHE58	6871	05/01/22	13/07/22	
Transporte interno adicional de materiales de relleno 1D, 2AF, 2A, 2 (extra sacos)	PRCHE60	0	17/70/22	03/10/22	
Botabilas de 4121 @ 4130 (0-645 - 1-919)		33648	14/07/22	29/10/22	
Remanaje Tipo 2		994	01/07/22	03/10/22	
Distribución y compactación de material tipo 2 (Remanaje) Botabilas de 4121 @ 4130 (0-400 - 1-919)	PRCPR43	994	01/07/22	03/10/22	
Material Tipo 1B, 2AY Curb		28400	01/07/22	03/10/22	
Suministro y colocación de concreto de 4MPa en curbs - Botabilas de 4121 @ 4130 (0-400 - 1-919)	PRCHE55	19339	01/07/22	03/10/22	
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B - Botabilas de 4121 @ 4130 (0-400 - 1-919)	PRCHE57	4700	01/07/22	01/10/22	
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A - Botabilas de 4121 @ 4130 (0-400 - 1-919)	PRCHE59	3701	01/07/22	01/10/22	
Compuesto		6264	01/07/22	29/10/22	
Instalación de geomembrana de PVC-Capi Tech - Botabilas (0-400 - 1-919)	PRCHE061	3664	01/07/22	03/10/22	
Instalación de geomembrana de PVC-Capi Tech - Botabilas (0-400 - 1-919)	PRCHE61	2300	04/10/22	29/10/22	

Altiplano

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Estado	Observaciones
Fronte 03 - Edo & Planta de Concreto							
11949	Edo & Planta de Concreto 4105 @ 4121 (1+919 - 2+709)		939.00	09/07/23	25/09/23		
51873	Excavacion		919.00	09/07/23	05/09/23		
47645	Excavacion de top soil y material reabarcado - fundacion presa - EDO y Labo Ferrobamba	PRFP.28	438.00	09/07/23	09/07/23		Excavacion de top soil y material reabarcado - fundacion presa - EDO y Labo Ferrobamba
0	Carga, transporte y deposicion de material seleccionado a botadero - EDO y Labo Ferrobamba	PRFP.29	438.00	09/07/23	09/07/23		Carga, transporte y deposicion de material seleccionado a botadero - EDO y Labo Ferrobamba
4028	Preparacion de fundacion de Pises - EDO y Labo Ferrobamba	PRFP.30	388.00	19/04/23	09/07/23		Preparacion de fundacion de Pises - EDO y Labo Ferrobamba
21982	Retirollo Material Tipo 2		358.00	16/07/23	08/07/23		
18861	Distribucion y compactacion de material tipo 2 - EDO y Planta de Concreto de Fund. @ 4105 (1+ - PRCPLM.39		310.00	16/07/23	21/05/23		
3821	Distribucion y compactacion de material tipo 2 - EDO y Planta de Concreto de 4105 @ 4121 (1+ - PRCPLM.40		40.00	30/05/23	08/07/23		
338	Remanejlo Tipo 2		98.00	24/06/23	30/06/23		
338	Distribucion y compactacion de material tipo 2 (Remanejlo) EDO y PC de Funda @ 4105 (1+919 - PRCM00		98.00	24/06/23	30/06/23		401 EDO y PC de Funda @ 4105 (1+919 - 2+709)
2222	Material Tipo 1B, 2A y Curb		788.00	08/06/23	05/09/23		
251	Suministro y colocacion de concreto de MPA en curbs - EDO y Planta de Concreto de 4105 @ - PRC-RE.61.0		20.00	08/06/23	20/06/23		41.23 (1+919 - 2+709) Ter Curb
14817	Suministro y colocacion de concreto de MPA en curbs - EDO y Planta de Concreto de 4105 @ - PRC-RE.62		40.00	30/05/23	08/07/23		
4220	Distribucion y compactacion de relleno con material tipo 1B - EDO y Planta de Concreto de 4105 - PRC-RE.64		40.00	30/05/23	08/07/23		
2934	Distribucion y compactacion de relleno con material tipo 2A - EDO y Planta de Concreto de 4105 - PRC-RE.66		40.00	30/05/23	08/07/23		
0	Transporte interno adicional de materiales de relleno 10, 2A, 2A', 2A'', 2A''', 2A'''' (labras azarres) - PRC-RE.68		68.00	30/05/23	05/09/23		
18136	Edo & Planta de Concreto de 4121 @ 4130 (1+919 - 2+709)		48.00	09/07/23	25/09/23		
619	Remanejlo Tipo 2		28.00	09/07/23	05/09/23		
619	Distribucion y compactacion de material tipo 2 (Remanejlo) EDO y Planta de Concreto de 4121 @ - PRCPR.44		28.00	09/07/23	05/09/23		
14675	Material Tipo 1B, 2A y Curb		28.00	09/07/23	05/09/23		
9805	Suministro y colocacion de concreto de MPA en curbs - EDO y Planta de Concreto de 4121 @ - PRC-RE.63		28.00	09/07/23	05/09/23		
2749	Distribucion y compactacion de relleno con material tipo 1B - EDO y Planta de Concreto de 4121 - PRC-RE.65		28.00	09/07/23	05/09/23		
2021	Distribucion y compactacion de relleno con material tipo 2A - EDO y Planta de Concreto de 4121 - PRC-RE.67		28.00	09/07/23	05/09/23		

TESISTA: Fernando Alferez Miranda

Page 2 of 4

■ Remaining Level of Effort
■ Actual Work
■ Remaining Work
◆ Critical Remaining --
◆ Milestone



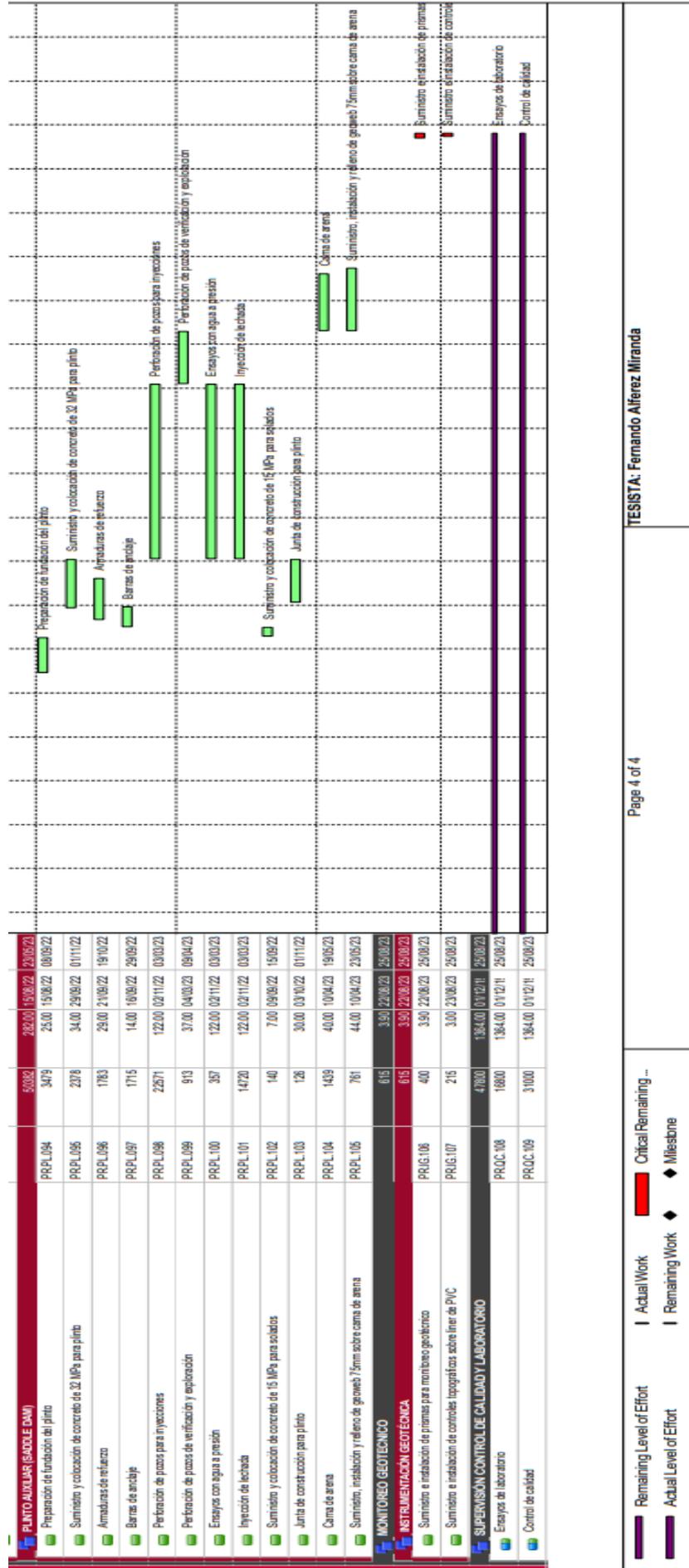
Activity Name	Activity ID	AI Completion Labor Units	AI Completion Duration	Start	Finish
Inicio					
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech - EXO y Plana de Concreto de 4121 @ 4130 PRCRE.08	2542	48.00	09/07/23	25/08/23	
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech - EXO y Plana de Concreto de 4121 @ 4130 PRCRE.09	1856	28.00	09/07/23	05/08/23	
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech - EXO y Plana de Concreto de 4121 @ 4130 PRCRE.09	1086	20.00	06/08/23	25/08/23	
Reasignamiento					
Reasignamiento de 4165 @ 4121	22527	307.00	08/01/22	04/11/22	
Reasignamiento de 4165 @ 4121	12634	72.00	08/01/22	20/03/22	
Remanaje Tipo 2					
Distribución y compactación de material tipo 2 mediante Remanaje 4106 @ 4121 Variante	PRVR.12	68.00	13/01/22	20/03/22	
Suministro y colocación de concreto de MPa en cubos ejemplares 4106 @ 4121 Variante	PRVR.03.1	6889	72.00	08/01/22	20/03/22
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B ejemplar 4106 @ 4121 Variante	PRVR.04.1	2509	72.00	08/01/22	20/03/22
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A ejemplar 4106 @ 4121 Variante	PRVR.05.1	1445	72.00	08/01/22	20/03/22
Reasignamiento de 4121 @ 4130					
Distribución y compactación de material tipo 2 mediante Remanaje 4121 @ 4130 Variante	PRVR.13	136	26.00	21/03/22	09/04/22
Suministro y colocación de concreto de MPa en cubos ejemplares 4121 @ 4130 Variante	PRVR.02	8282	26.00	21/03/22	09/04/22
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B ejemplar 4121 @ 4130 Variante	PRVR.04.2	1931	26.00	21/03/22	09/04/22
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A ejemplar 4121 @ 4130 Variante	PRVR.05.2	1058	26.00	21/03/22	09/04/22
Gocompuesto					
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech Variante	PRVR.06	1020	11.00	16/07/22	26/07/22
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech Variante	PRVR.06	616	7.00	29/10/22	04/11/22
Saddle Dam					
Excavación					
Excavación de top soil - Saddle Dam	PRSD.FP.01	61	3.00	09/08/22	11/09/22
Extracción de material inadecuado - Fundación presa - Saddle Dam	PRSD.FP.02	3067	53.00	12/08/22	03/11/22
Preparación de Fundación de Presa - Saddle Dam	PRSD.FP.03	257	53.00	24/08/22	19/11/22
Remanaje Tipo 2					
Distribución y compactación de material tipo 2 (Remanaje) Saddle Dam	PRSD.01	738	57.00	04/11/22	30/12/22
Suministro y colocación de concreto de MPa en cubos - Saddle Dam	PRSD.02	3467	57.00	04/11/22	30/12/22
Distribución y compactación de relleno con material tipo 1B - Saddle Dam	PRSD.03	971	57.00	04/11/22	30/12/22
Distribución y compactación de relleno con material tipo 2A - Saddle Dam	PRSD.04	419	57.00	04/11/22	30/12/22
Gocompuesto					
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech Saddle Dam	PRSD.05	200	16.00	13/12/22	30/12/22
Instalación de góndolas de PVC-Capi Tech Saddle Dam	PRSD.05	308	26.00	31/12/22	27/01/23
Rampas					
		11235	1952.00	19/11/21	19/01/23

Autor: M. J. J. J.

Actividad	11/25	11/25	15/11/11	15/01/22
Rampas	1125	1125	15/11/11	15/01/22
Rampa 5	734	734	15/11/11	17/04/22
Exoneración de material inactivado - fundación presa - EJO (Rampa 5)	697	697	15/11/11	14/01/22
PRM17				
Carga, transporte y disposición de material inactivado a botadero - EJO y Lata Fombamba (R)	0	375.00	15/11/11	24/11/22
PRM18				
Distribución y compactación de material tipo 2 - EJO (Rampa 5) Cajas Neodantes	0	317.00	03/02/21	14/01/22
PRM19				
Distribución y compactación de material tipo 2 - EJO (Rampa 5)	549	92.00	15/01/22	17/04/22
PRM19.1				
Distribución y compactación de material tipo 2 - Rampa y plataforma Fombamba	3709	279.00	16/04/22	15/01/22
PRM19.1.5				
Distribución y compactación de material tipo 2 - Rampa y plataforma Fombamba	3709	279.00	16/04/22	15/01/22
PRM19.1.5.1				
Etapa IV Salida, Tubaría de Agua	1509	183.00	21/07/22	15/01/22
PRM19.1.5.1.1				
Remolque Tipo 2	1509	183.00	21/07/22	15/01/22
PRM19.1.5.1.1.1				
Braco Norte 3-700 a 3-938.46 @ 409' @ 4103' (Rampa 4) con Remanep	1243	15.00	31/12/22	14/01/22
PRE17.1				
Material Tipo 1B, 2A y Guib	389	15.00	31/12/22	14/01/22
PRE17.2				
Suministro y colocación de concreto 4Mpa - Cotas 4098 @ 4105 (3-700 a 3-938.46)	2576	15.00	31/12/22	14/01/22
PRE17.3				
Distribución y Compactación de Material 1B - Cotas 4098 @ 4105 (3-700 a 3-938.46)	449	15.00	31/12/22	14/01/22
PRE17.4				
Distribución y Compactación de Material 2A - Cotas 4098 @ 4105 (3-700 a 3-938.46)	761	15.00	31/12/22	14/01/22
PRE17.5				
Geocompuestos	773	5.00	15/01/22	15/01/22
PRE17.5.1				
Instalación de Geomembrana PVC - Cotas 4098 @ 4105 (3-700 a 3-938.46)	169	3.00	17/07/22	15/01/22
PRE17.5.2				
Instalación de Geomembrana PVC - Cotas 4098 @ 4098 (3-700 a 3-938.46)	164	2.00	15/01/22	16/01/22
PRE17.6				
Piloto con Intendencia	1029	67.00	21/07/22	25/09/22
PRE17.6.1				
Perforación de pozos de inyecciones	4789	48.00	21/07/22	04/09/22
PRE17.6.1.1				
Perforación de pozos de verificación y exploración	466	16.00	05/08/22	20/09/22
PRE17.6.1.1.1				



TESISTA: Fernando Alferez Miranda



Nota. Según el cronograma la obra comenzó el 15 de noviembre del 2019 y debería de culminar el 25 de agosto de 2023 según cronograma del plan maestro.



d. Look Ahead

En el desarrollo de las actividades de rellenos en la Presa de Relaves Etapa 5 se incorpora el lookahead planning tomando en cuenta un periodo de estudio de 3 semanas, dentro del rango establecido para la implementación de esta herramienta. Asimismo, se incorpora los trabajos referentes a la planificación maestra, lo que permite realizar el análisis de restricciones respectivo, teniendo nuevas actividades para ejecutar.



e. Análisis de Restricciones

En la obra de la Presa de Relaves Etapa 5, en el formato de Look Ahead se consideran las restricciones, la asignación de responsables de acuerdo a cada actividad y el manejo del cronograma. Sin embargo, dada las dimensiones del proyecto y los altos niveles de variación, es imprescindible el uso correcto de la herramienta, dado que permite correlacionar las actividades, observaciones, restricciones y el levantamiento de las mismas, llevando un control y registro exacto de la programación semanal de la obra. (Porcentaje del Plan Cumplido).

Finalmente la procura no ha tenido un tratamiento independiente, al respecto se han considerado las restricciones mencionadas dentro de cada área de soporte, lo cual se evidencia en el log general de restricciones que se encuentra en Anexos.

Figura 30

Restricciones en la partida de movimiento de tierras.

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	AREA	ACCIONES CORRECTIVAS Y COMPROMISOS	ESTADO	N° RE-PROG	Inicio	Fin
X	MEDIO AMBIENTE							
	Monitoreo de la Presa de Relaves	Juan Carrasco	Medio Ambiente	20.02. Se debe programar la subida del técnico, 11.03. Programado para May22	Atrasado	1	7-Ene	15-Mar
	Protector de bidones (gasolina)	Juan Carrasco	Medio Ambiente	10.04. Se debe implementar los protectores para los bidones	A tiempo		7-Ene	17-Abr
X	PRODUCCIÓN - MOVIMIENTO DE TIERRAS							
	Acopio de 1B	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	20.02. Se colocará el tractor D6T para el acopio, de manera interdiaria con operador. 03.03. Se viene apoyando	Cerrado		20-Feb	10-Mar
	Arena curb	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	07.03. La arena viene con mucha piedras. GO solicita que se conee	Cerrado		20-Feb	10-Mar
	Desmovilización de volquetes	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	03.03. Se revisará mañana el listado para desmovilizar 5 volquetes. 07.03. se fueron 5 volquetes, RRHH tendrá la lista, enviara el 08.03 10.03. EQ solicita la entrega el 12.03	Cerrado		20-Feb	10-Mar
	Accesos	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	07.03. Desbroce en el sector del canal, replanteo de plataforma, acceso auxiliar Bravo,	Cerrado		20-Feb	10-Mar
	Labores iniciar tarde (media hora tarde)	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	20.02. Por la extensión del proyecto, no se logra firmar los documentos de gestión a tiempo. Se ha previsto incrementar los supervisores para asegurar la firma a tiempo.	Cerrado		20-Feb	1-Mar
	Se viene trabajando los sectores no definidos Poco control de avance diario	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	20.02. Se realizará una adecuada sectorización	Permanente		20-Feb	TBD
	Se viene realizando trabajos en sectores pequeños, lo cual dificulta los trabajos de los equipos. Principalmente de la motoniveladora	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	20.02. Se tendrá longitudes mínimas de 12 metros lineales	A tiempo		10-Abr	1-Mar
	Se quita tiempo en abastecimiento de combustible	Eduar Luzon / Marco Gonzales	PRODUCCIÓN	20.02. Se dará otro horario para el abastecimiento de los principales equipos (tractores, rodillos y motoniveladora)	A tiempo		10-Abr	1-Mar

Nota. Elaboración propia.



B. Implementación de Carta Balance

Después de implementar la Metodología Lean Construction se evaluaron las mejoras mediante el uso de la herramienta Carta Balance.

a. Evaluación del Material Tipo 2

A continuación, se muestran los rendimientos y costos del relleno y compactado del material tipo 2.

Tabla 23

Diagnóstico Post Aplicación (Mes de febrero, marzo y abril)

Ítem	Descripción	Inicial	Observación
1	Costo Unitario Relleno (Soles/m3)	0.88	Información proporcionada por el Área de costos de MEP Promedio de la
2	Producción Diaria Relleno (m3)	79,397.32	Producción Diaria de los meses de febrero, marzo y abril.

Nota. En esta tabla se muestra el costo unitario de relleno y la producción diaria de relleno. Fuente: Oficina técnica-MEP

Tabla 24

Rendimiento Post Aplicación de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Tractor D9 -D10	Volumen Conformado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 1 de febr. Al	D10	399.30		5446.6	0.000184	0.000781	76.50%
28 de febr.	D9	1,132.20	2,174,832.72	1920.9	0.000521	0.001172	55.58%
Del 1 de Mar. Al	D10	795.6		3110.7	0.000321	0.000781	58.85%
31 de marzo.	D9	1637.6	2,474,904.22	1511.3	0.000662	0.001172	43.54%
Del 1 de abr. Al	D10	373.40		3707.7	0.000270	0.000781	65.48%
17 de abr.	D9	694.20	1,384,459.44	1994.3	0.000501	0.001172	57.21%
Total		5,032.30	6,034,196.38	1199.1	0.00083	0.001953	57.30%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en los meses de febrero, marzo y abril.

Tabla 25

Rendimiento Post Aplicación de la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Rodillo 19 Ton o Equiv	Volumen Compactado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 1 de febr. Al 28 de febr.	ROD 19 TON	972.30	2,174,832.72	2236.8	0.00045	0.00156	71.39%
Del 1 de dic. Al 31 de dic.	ROD 19 TON	1308.1	2,474,904.22	1892.0	0.00053	0.00156	66.17%
Del 1 de Mar. Al 31 de marzo.	ROD 19 TON	723.20	1,384,459.44	1914.4	0.00052	0.00156	66.57%
Total		3,003.60	6,034,196.38	2009.0	0.00050	0.00156	68.14%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en los meses de febrero, marzo y abril.

b. Material Tipo 1B

A continuación, se muestran los rendimientos y costos del relleno y compactado del material tipo 1B.

Tabla 26

Diagnóstico Post Aplicación en los meses de febrero, marzo y abril

Ítem	Descripción	Inicial	Observación
1	Costo Unitario Relleno (Soles/m ³)	4.32	Información proporcionada por el Área de costos de MEP
2	Producción Diaria Relleno (m ³)	477.99	Promedio de la producción Diaria de los meses Febrero, marzo y Abril

Nota. En esta tabla se muestra el costo unitario de relleno y la producción diaria de relleno. Fuente: Oficina técnica-MEP

Tabla 27

Rendimiento de la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Motoniveladora 140	Volumen Conformado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 01 de Feb. Al 17 de abr.	Motoniveladora	279.70	36,327.01	129.9	0.007700	0.013333	42.25%
Total		279.70	36,327.01	129.9	0.00770	0.013333	42.25%
Del 01 de Feb. Al 17 de abr.	Rodillo	163.60	36,327.01	222.0	0.00450	0.00667	32.45%
Total		163.60	36,327.01	222.05	0.00450	0.00667	32.45%

Nota. En esta tabla se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en los meses de febrero, marzo y abril.

c. Material Tipo 2A

A continuación, se muestran los rendimientos y costos del relleno y compactado del material tipo 2A después de la aplicación de Lean Construction.

Tabla 28

Diagnóstico post Aplicación

Ítem	Descripción	Inicial	Observación
1	Costo Unitario Relleno (Soles/m ³)	4.51	Información proporcionada por el Área de costos de MEP
2	Producción Diaria Relleno (m ³)	1,461.20	Promedio de la producción Diaria de los meses febrero, marzo y abril.

Nota. En esta tabla se muestra el costo unitario de relleno y la producción diaria de relleno en los meses de febrero, marzo y abril. Fuente: Oficina técnica-MEP

Tabla 29

Rendimiento post aplicación en la actividad de conformación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Tractor D8	Volumen Conformado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 01 de Feb. Al 17 de abr.	Tractor	582.50	111,051.46	190.6	0.005245	0.005882	10.83%
Total		582.50	111,051.46	190.6	0.00525	0.005882	10.83%

Nota. Se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en el mes de febrero. Fuente: Oficina técnica-MEP.

Tabla 30

Rendimiento post aplicación en la actividad de compactación de relleno en la presa de Relaves ET5

Mes	Equipo	Horas Máquina de Rodillo 19 Ton o Equiv	Volumen Compactado	Velocidad (m ³ /h)	Rendimiento Real de Conformación (hm/m ³)	Rendimiento Teórico de Conformación (hm/m ³)	Variación con respecto al Rend. Teór.
Del 01 de Feb. Al 17 de abr.	Rodillo	354.30	111,051.46	313.4	0.00319	0.00353	9.60%
Total		354.30	111,051.46	313.44	0.00319	0.00353	9.60%

Nota. Se muestran los rendimientos reales de conformación y el rendimiento teórico, en el mes de febrero, marzo y abril.

Para el desempeño de las diversas actividades se usaron distintos equipos, en la tabla que se mostrará a continuación se podrán observar el código, modelo y estado de los equipos empleados en el relleno y compactación de la presa Relaves. A si mismo en el Anexo A y B se detallan las cartas balance y la maquinaria empleada.

Tabla 31

Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2

Equipo	Código	Modelo	Estado
Rodillo	PE44/0017	CATERPILLAR CS76XT (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0018	CATERPILLAR CS76XT (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0019	BOMAG BW219DH-4 (S)	Operativo
Rodillo	PE44/A081	HAMM 3520 HT	Operativo
Rodillo	PE44/A098	HAMM 3520 HT	Operativo
Tractor	PE32/0036	KOMATSU D375A-6R (S) (KF)	Operativo
Tractor	PE32/0038	KOMATSU D 275 AX-5EO (S) (KF)	Operativo
Tractor	PE32/0039	CATERPILLAR D10T2 (S)(CATF)	Operativo
Tractor	PE32/0035	CATERPILLAR D9T (S)(CATF)	Operativo
Tractor	PE32/0037	KOMATSU D 2 75 AX-5EO (S) (KF)	Operativo
Tractor	PE32/0034	CATERPILLAR D9T (S)(CATF)	Operativo
Tractor	PE32/0033	CATERPILLAR D9T (S)	Operativo
Tractor	PE32/0043	KOMATSU D275AX-5E0	Operativo

Nota. Extraído de Oficina técnica-MEP

Tabla 32

Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 1B

Equipo	Código	Modelo	Estado
Rodillo	PE44/0007	CATERPILLAR CS-533E (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0028	CATERPILLAR CS54B (S) (IB)	Operativo
Motoniveladora	PE40/0005	CATERPILLAR 140 M (Guide Machine) (S)	Operativo
Motoniveladora	PE40/0011	CATERPILLAR 140 K (S)	Operativo

Nota. Extraído de Oficina técnica-MEP

Tabla 33

Maquinaria empleada en el relleno y compactación del material Tipo 2A

Equipo	Código	Modelo	Estado
Tractor	PE32/0007	CATERPILLAR D8T (S)	Operativo
Tractor	PE32/0041	KOMATSU D155AX-6	Operativo
Rodillo	PE44/0017	CATERPILLAR CS76XT (S)	Operativo
Rodillo	PE44/0019	BOMAG BW219DH-4 (S)	Operativo

Nota. Extraído de Oficina técnica-MEP

Tabla 34

Resumen de cartas Balance después de la aplicación de Lean en el material Tipo 2

FRENTE 2: FERRO SUR									
		28/02/22	01/03/22	02/03/22	03/03/22	04/03/22	05/03/22	06/03/22	TOTAL
TRACTORES	TP	104.00	159.00	0.00	98.00	19.00	70.00	70.00	81.3%
	TC	10.00	13.00	0.00	9.00	3.00	6.00	6.00	7.3%
	TNC	6.00	28.00	0.00	13.00	18.00	4.00	4.00	11.4%
			120.00	200.00	0.00	120.00	40.00	80.00	80.00
RODILLOS	TP	33.00	30.00	0.00	99.00	58.00	33.00	46.00	68.0%
	TC	3.00	3.00	0.00	9.00	9.00	3.00	5.00	7.3%
	TNC	4.00	7.00	0.00	12.00	53.00	4.00	29.00	24.8%
			40.00	40.00	0.00	120.00	120.00	40.00	80.00
FRENTE 2: FERRO SUR									
		28/02/22	01/03/22	02/03/22	03/03/22	04/03/22	05/03/22	06/03/22	TOTAL
TRACTORES	TP	175.00	0.00	0.00	115.00	70.00	0.00	0.00	81.8%
	TC	15.00	0.00	0.00	12.00	6.00	0.00	0.00	7.5%
	TNC	10.00	0.00	0.00	33.00	4.00	0.00	0.00	10.7%
			200.00	0.00	0.00	160.00	80.00	0.00	0.00
RODILLOS	TP	99.00	0.00	0.00	10.00	30.00	0.00	0.00	69.5%
	TC	9.00	0.00	0.00	3.00	3.00	0.00	0.00	7.5%
	TNC	12.00	0.00	0.00	27.00	7.00	0.00	0.00	23.0%
			120.00	0.00	0.00	40.00	40.00	0.00	0.00
FRENTE 3: EXO									
		28/02/22	01/03/22	02/03/22	03/03/22	04/03/22	05/03/22	06/03/22	TOTAL
TRACTORES	TP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
	TC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
	TNC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RODILLOS	TP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
	TC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
	TNC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 **0.0%**

		FRENTE 4: FERRO NORTE							
		28/02/22	01/03/22	02/03/22	03/03/22	04/03/22	05/03/22	06/03/22	TOTAL
TRACTORES	TP	0.00	38.00	239.00	0.00	0.00	210.00	123.00	68.9%
	TC	0.00	6.00	25.00	0.00	0.00	18.00	14.00	7.1%
	TNC	0.00	36.00	96.00	0.00	0.00	12.00	68.00	24.0%
		0.00	80.00	360.00	0.00	0.00	240.00	205.00	100.0%
RODILLOS	TP	0.00	33.00	99.00	0.00	0.00	66.00	66.00	82.5%
	TC	0.00	3.00	9.00	0.00	0.00	6.00	6.00	7.5%
	TNC	0.00	4.00	12.00	0.00	0.00	8.00	8.00	10.0%
		0.00	40.00	120.00	0.00	0.00	80.00	80.00	100.0%

Nota. Elaboración propia (2022)

Tabla 35

Resumen de cartas Balance después de la aplicación de Lean en el material Tipo 1B

		07/03/22	08/03/22	09/03/22	10/03/22	11/03/22	12/03/22	13/03/2022	TOTAL
MOTONIVELADORA	TP	17.00	31.00	26.00	26.00	22.00	26.00	0.00	53.6%
	TC	2.00	5.00	3.00	3.00	10.00	4.00	0.00	9.8%
	TNC	9.00	23.00	11.00	11.00	8.00	39.00	0.00	36.6%
		28.00	59.00	40.00	40.00	40.00	69.00	0.00	100.0%
RODILLOS	TP	17.00	16.00	23.00	5.00	17.00	14.00	0.00	42.8%
	TC	2.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	0.00	6.0%
	TNC	9.00	9.00	14.00	33.00	21.00	24.00	0.00	51.2%
		28.00	27.00	40.00	40.00	40.00	40.00	0.00	100.0%

Nota. Elaboración propia (2022)

Tabla 36

Resumen de cartas Balance del material Tipo 2A

		07/03/22	08/03/22	09/03/22	10/03/22	11/03/22	12/03/22	13/03/2022	TOTAL
TRACTORES	TP	25.00	58.00	52.00	35.00	70.00	35.00	0.00	78.6%
	TC	3.00	6.00	6.00	3.00	6.00	3.00	0.00	7.7%
	TNC	2.00	16.00	22.00	2.00	4.00	2.00	0.00	13.7%
		30.00	80.00	80.00	40.00	80.00	40.00	0.00	100.0%
RODILLOS	TP	28.00	0.00	0.00	19.00	61.00	15.00	0.00	68.3%
	TC	3.00	0.00	0.00	3.00	6.00	4.00	0.00	8.9%
	TNC	9.00	0.00	0.00	18.00	13.00	1.00	0.00	22.8%
		40.00	0.00	0.00	40.00	80.00	20.00	0.00	100.0%

Nota. Elaboración propia (2022)

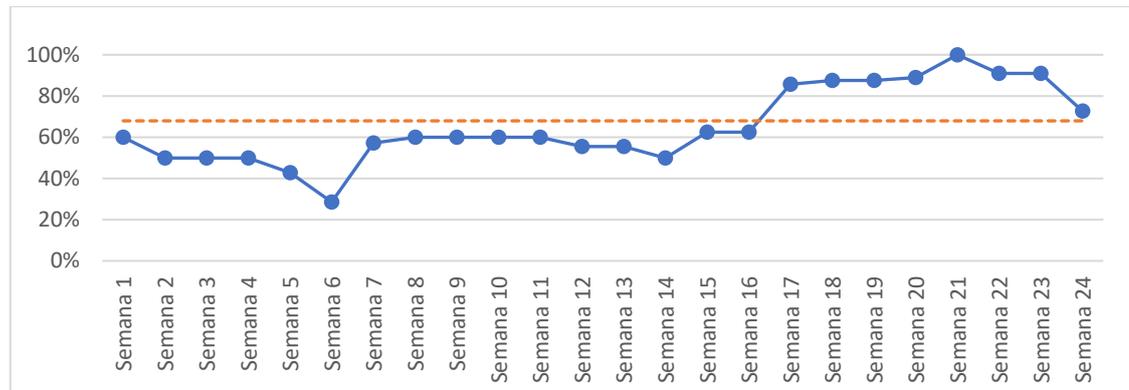
Tabla 37*Porcentaje de plan cumplido post test*

ITEM	Actividad Completada	Actividad no completada	Actividades Programadas	PPC	PPC promedio	PPC acumulado
Semana 1	3	2	5	60%	68%	60%
Semana 2	3	3	6	50%	68%	55%
Semana 3	3	3	6	50%	68%	53%
Semana 4	3	3	6	50%	68%	52%
Semana 5	3	4	7	43%	68%	50%
Semana 6	2	5	7	32%	68%	46%
Semana 7	4	3	7	53%	68%	48%
Semana 8	3	2	5	53%	68%	49%
Semana 9	3	2	5	60%	68%	50%
Semana 10	3	2	5	60%	68%	51%
Semana 11	3	2	5	60%	68%	52%
Semana 12	5	4	9	56%	68%	52%
Semana 13	5	4	9	56%	68%	52%
Semana 14	4	4	8	50%	68%	52%
Semana 15	5	3	8	63%	68%	53%
Semana 16	5	3	8	63%	68%	54%
Semana 17	6	1	7	86%	68%	56%
Semana 18	7	1	8	88%	68%	58%
Semana 19	7	1	8	88%	68%	60%
Semana 20	8	1	9	89%	68%	62%
Semana 21	10	0	10	100%	68%	64%
Semana 22	10	1	11	91%	68%	66%
Semana 23	10	1	11	91%	68%	68%
Semana 24	8	3	11	73%	68%	68%
Promedio	123	58	181	68%		

Nota. En esta tabla se puede observar que el porcentaje del plan cumplido es del 68%, dando a notar el aumento en la productividad después de la aplicación del nuevo sistema. El historial del PPC se extrajo de los informes semanales enviados al cliente, cabe señalar que el indicador del PPC se estuvo manejando de manera interna debido a que el cliente solicitó no mostrar el indicador.

Figura 31

Porcentaje del plan cumplido



Nota. En esta imagen es notorio que en los meses de febrero, marzo y abril la productividad aumentó en un promedio del 16%.

Se analizaron las restricciones que fueron causa de impedimento del Porcentaje de Plan definido en el plan maestro. Encontrándose las siguientes restricciones:

Tabla 38

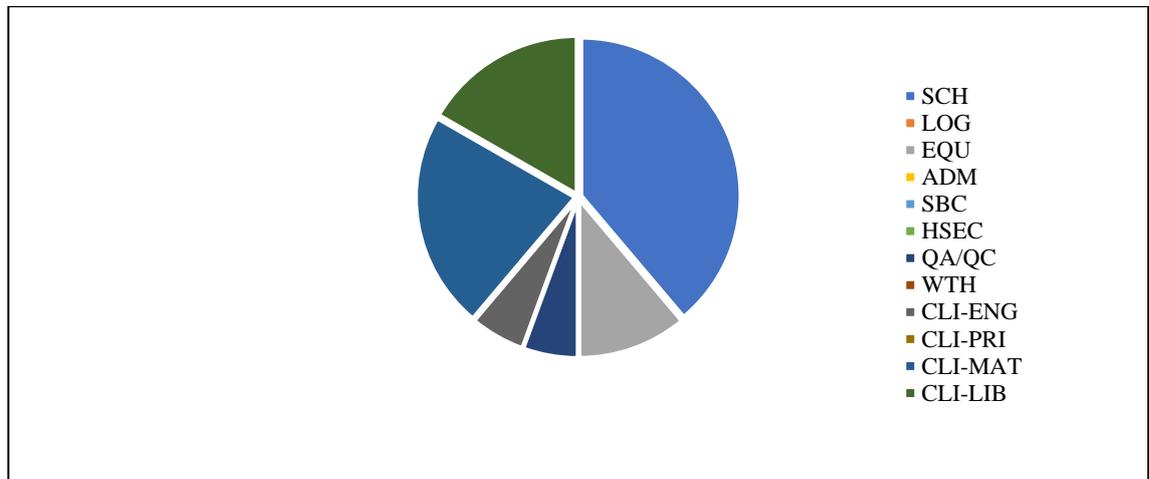
Restricciones en la etapa de Post Test

Restricción	Cantidad	Porcentaje
SCH	7	39%
LOG	0	0%
EQU	2	11%
ADM	0	0%
SBC	0	0%
HSEC	0	0%
QA/QC	1	6%
WTH	0	0%
CLI-ENG	1	6%
CLI-PRI	0	0%
CLI-MAT	4	22%
CLI-LIB	3	17%
	18	100%

Nota. La restricción más encontrada fue la de Programación incorrecta.

Figura 32

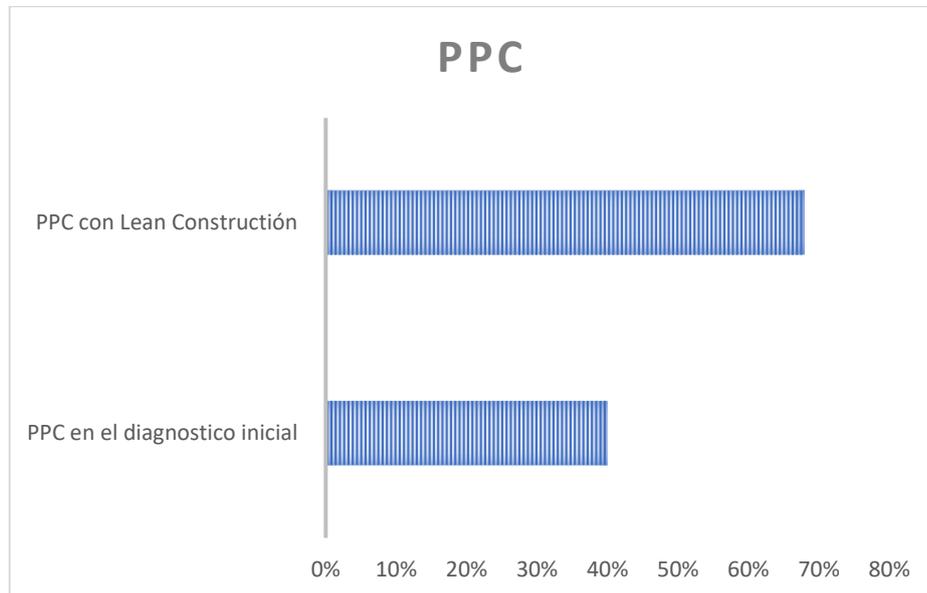
PRE TEST- Causas de Incumplimiento acumulado



Nota. La restricción más recurrente fue la de Programación incorrecta

Figura 33

Comparación de PPC antes y después de la aplicación de Lean Construction



Nota. Elaboración propia (2022).

5. Mejora de productividad

1) Plazo

La ruta crítica es la que evidencia las brechas en el plazo de ejecución del proyecto, cabe resaltar que, en el periodo de evaluación de la presente tesis, la ruta crítica pasa por la actividad de Material Tipo 2

1.1.Ruta crítica de obra antes de la implementación de la metodología Lean Construction

Tabla 39

Porcentaje de avance programado en relación al avance real

	Anterior	Data Date
	23/01/2022	30/01/2022
Programado (%)	47.99%	49.25%
Real (%)	28.33%	28.85%

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 40

Ruta crítica del pre test

ETAPA 5 LB01	SEMANAL	ACUMULADO
Programado (%)	0.25%	46.73%
Real (%)	0.10%	39.70%
Desviación (%)	-0.16%	-7.03%

Nota. Elaboración propia (2022).

El análisis de la situación en el pre test, contemplaba un retraso a nivel del proyecto de -20.40%, y las desviaciones de las partidas en evaluación contemplaban para el Material Tipo 2 un retraso de -26.66%, para el material 1B contemplaba un -16.77% y para el material 2A contemplaba un -18.02%. Las desviaciones mencionadas obedecían a una comparación con la LB01 aprobada por el cliente.

Finalmente ponderando las incidencias de todas las partidas se tiene que la desviación de la ruta crítica es de -7.03% para el pre test.

1.2.Ruta crítica de obra después de la implementación de la metodología Lean

Construction

Tabla 41

Porcentaje de avance programado en relación al avance real

	Anterior	Data Date
	10/04/2022	17/04/2022
Programado (%)	62.90%	64.47%
Real (%)	35.51%	36.33%

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 42

Ruta crítica del post test

ETAPA 5 LB01	SEMANAL	ACUMULADO
Programado (%)	0.25%	49.51%
Real (%)	0.34%	42.71%
Desviación (%)	0.09%	-6.80%

Nota. Elaboración propia (2022).

El análisis de la situación en el post test, contemplaba un retraso a nivel del proyecto de -28.14%, y las desviaciones de las partidas en evaluación contemplaban para el Material Tipo 2 un retraso de -29.27%, para el material 1B contemplaba un -32.61% y para el material 2A contemplaba un -33.63%. Las desviaciones mencionadas obedecían a una comparación con la LB01 aprobada por el cliente.

Finalmente ponderando las incidencias de todas las partidas se tiene que la desviación de la ruta crítica es de -6.80% para el post test. Lo que evidencia una reducción de la brecha en la ruta crítica de 0.23% que en días representan 4 días de reducción de la brecha en plazo. El atraso total del proyecto aún se ve afectado debido a que la ejecución de demás partidas dentro del cronograma está con grandes brechas, producto de los constantes conflictos sociales que se suscitan en el proyecto.

2) Costo.



Con la finalidad de evaluar la influencia de la implementación de la metodología Lean Construction se presenta en la tabla 43 el % de avance de obra con el total a cobrar antes y después de la implementación de Lean Construction. Este % expuesto refiere a la valorización del periodo con respecto al presupuesto total. Los valores presentados obedecen a valorizaciones presentados y aprobados por el cliente en los periodos mencionados.

Tabla 43

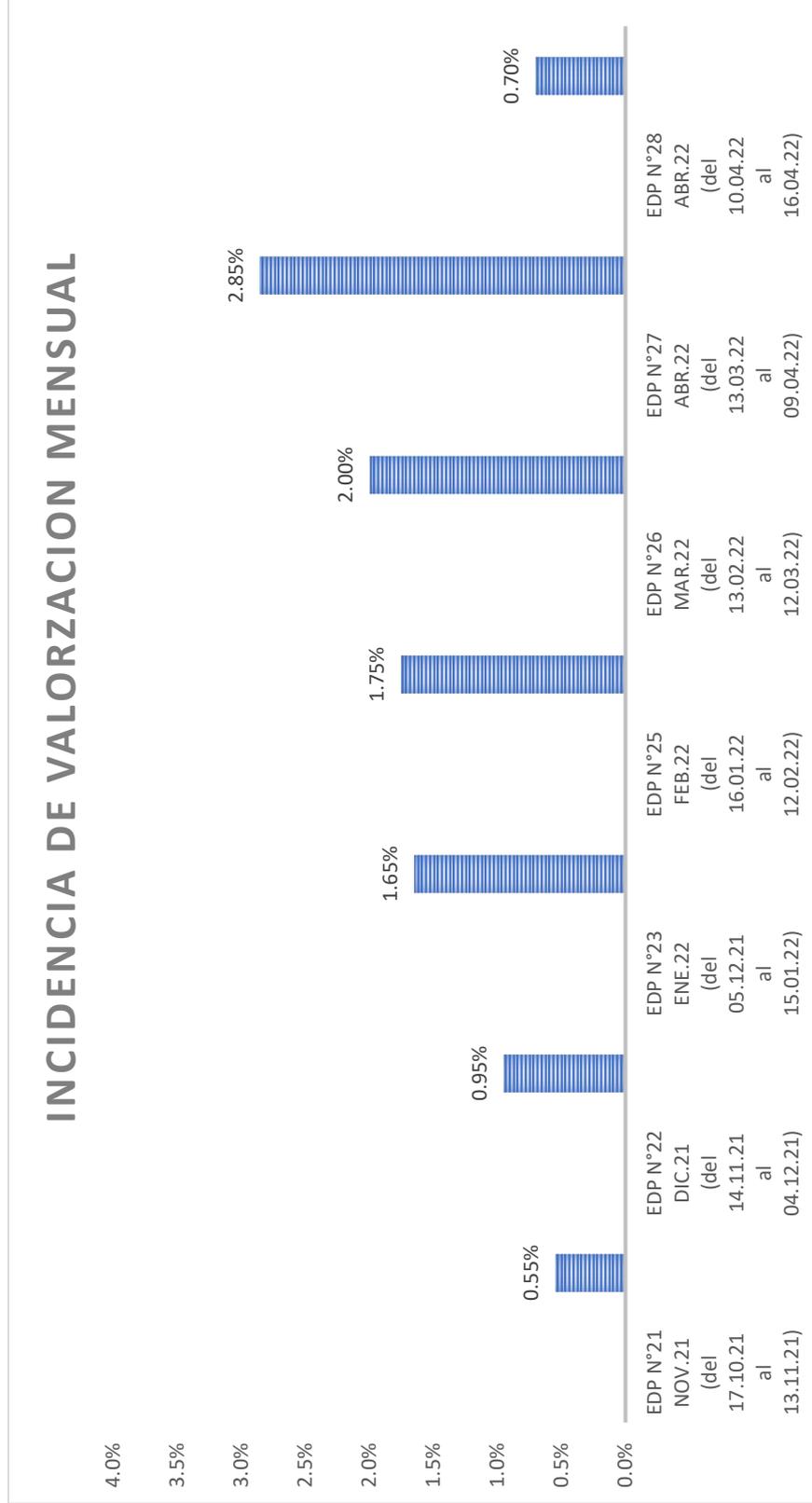
Costo de obra antes y después de la implementación de Lean Construction

DESCRIPCIÓN	PRE TEST			POST TEST			
	EDP N°21 NOV.21 (del 17.10.21 al 13.11.21)	EDP N°22 DIC.21 (del 14.11.21 al 04.12.21)	EDP N°23 ENE.22 (del 05.12.21 al 15.01.22)	EDP N°25 FEB.22 (del 16.01.22 al 12.02.22)	EDP N°26 MAR.22 (del 13.02.22 al 12.03.22)	EDP N°27 ABR.22 (del 13.03.22 al 09.04.22)	EDP N°28 ABR.22 (del 10.04.22 al 16.04.22)
Total, a Pagar	360,128.05	624,434.02	1,082,410.67	1,150,719.83	1,310,177.94	1,872,927.62	461,636.68
% AVANCE	0.51%	1.39%	2.92%	4.54%	6.39%	9.03%	9.68%

Nota. Elaboración propia (2022).

Figura 34

Incidencia de valorización mensual



Nota. Elaboración propia (2022).

Análisis estadístico

En el presente estudio se hizo un planteamiento estadístico que estará conformado por análisis del pre test y el post test de la productividad, plazo y costo del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac. Dado que la muestra del análisis estadístico es menor a 50 registros, se realizaron pruebas de normalidad en los tres análisis.

Análisis de plazo

Tabla 44

Prueba de normalidad al cronograma de obra

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cronograma completo Pre Test	.232	3	.	.980	3	.726
Cronograma completo Post Test	.178	3	.	.999	3	.956

Nota. Elaboración propia (2022).

Puesto que la significancia es mayor a 0.05 se concluye que ambas variables siguen una distribución normal, por lo que se emplea la prueba T de Student.

Tabla 45

Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación	Media de error
			estándar	estándar
Par 1 Cronograma completo Pre Test	.5167	3	.08083	.04667
Cronograma completo Post Test	.7733	3	.12503	.07219

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 46

Correlación de muestras emparejadas

		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Cronograma completo Pre-Test & Cronograma completo Post Test	3	.986	.053	.106

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 47

Prueba T de Student respecto al cronograma de obra

		Diferencias emparejadas				t	gl	Significación	
Cronograma completo Pre-Test - Cronograma completo Post Test	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				P de un factor	P de dos factores
				Inferior	Superior				
	-.25667	.04726	.02728	-.37406	-.13927	-9.407	2	.006	.011

Nota. Elaboración propia (2022).

Puesto que la significancia es menor a 0.05 se concluye que hay una diferencia entre las el cronograma realizado antes y el cronograma después de la implementación de la metodología Lean Construction.

Análisis de costo

Tabla 48

Prueba de normalidad al costo unitario de relleno.

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coste unitario Pre Test	.178	3	.	1.000	3	.960
Coste unitario Post Test	.191	3	.	.997	3	.898

Nota. Elaboración propia (2022).

Puesto que la significancia es mayor a 0.05 se concluye que ambas variables siguen una distribución normal, por lo que se emplea la prueba T de Student.

Tabla 49

Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación	Media de error
			estándar	estándar
Par 1 Coste unitario Pre Test	.9288	3	.04826	.02786
Coste unitario Post Test	.8827	3	.04413	.02548

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 50

Correlación de muestras emparejadas

	N	Correlación	Significación	
			P de un factor	P de dos factores
Par 1 Costo unitario Pre Test & Costo unitario Post Test	3	.997	.024	.047

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 51

Prueba T de Student respecto al costo unitario de relleno

	Diferencias emparejadas				t	gl	Significación	
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior			P de un factor	P de dos factores
Costo unitario Pre-Test – Costo unitario Post Test	.04612	.00536	.00310	.03280 .05945	14.892	2	.002	.004

Nota. Elaboración propia (2022).

Puesto que la significancia es menor a 0.05 se concluye que si hay una diferencia entre el costo unitario del pre test y el costo unitario del post test.

Análisis de productividad

Tabla 52

Prueba de normalidad al costo unitario de relleno.

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Productividad Pre Test	.217	3	.	.988	3	.790
Productividad Post Test	.182	3	.	.999	3	.934

Nota. Elaboración propia (2022).

Puesto que la significancia es mayor a 0.05 se concluye que ambas variables siguen una distribución normal, por lo que se emplea la prueba T de Student.

Tabla 53

Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación	Media de error
			estándar	estándar
Par 1 Productividad Pre Test	43825.33	3	1137.81313	656.91672
Productividad Post Test	79768.05	3	1705.52917	984.68773

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 54

Correlación de muestras emparejadas

		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Productividad Pre Test & Productividad Post Test	3	-.997	.024	.048

Nota. Elaboración propia (2022).

Tabla 55

Prueba T de Student respecto al costo unitario de relleno

		Diferencias emparejadas				t	gl	Significación	
Productividad Pre Test - Productividad Post Test	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				P de un factor	P de dos factores
				Inferior	Superior				
	-	2841.400	1640.483	-43001.148	-28884.292	-21.910	2	.001	.002
	35942.7200								

Nota. Elaboración propia (2022).

Puesto que la significancia es menor a 0.05 se concluye que si hay una diferencia entre la productividad del pre test y la del post test.



4.2. Discusión

La presente investigación tuvo por finalidad aplicar la filosofía Lean Construction para mejorar la gestión de la productividad en la partida de movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en el departamento de Apurímac, se realizó el diagnóstico situacional para posteriormente aplicar las herramientas de Lean Construction. A continuación, se hará un contraste entre los resultados obtenidos y nuestros antecedentes:

Para el desarrollo de esta tesis se implementó la filosofía Lean en las partidas de movimiento de tierras, resultando favorable, en este aspecto concuerda con Álvarez (2019) que en su investigación concluye en que la metodología Lean mejora la productividad en partidas como reconstrucción de túneles y movimientos de tierras.

En el diagnóstico inicial de la productividad del proyecto se evidenció que solo se llegaba a cumplir el 52% del PPC, luego de la implementación el PPC aumentó a 67%, demostrando que la implementación de la metodología en cuestión fue beneficiosa, concordando con Silva (2020), que en su artículo tuvo como resultados que con la aplicación de los indicadores de productividad del Lean Construction su PPC fue superior al 56%. La investigación concluyó que las actividades programadas necesitan de una supervisión y control en el trabajo del personal para incrementar la productividad. Al mismo tiempo concuerda con Pérez (2021), que luego de la implementación de las herramientas de Lean Construction logró mejorar la productividad y reducir el porcentaje de incumplimiento, logrando tener un 80% de porcentajes de actividades completadas, de esta manera no se alcanzó el 100 % pero si se logró reducir la brecha de incumplimiento. Del mismo modo concuerda con Torres (2018) que mediante la utilización de herramientas de la metodología Lean como son el Sistema Last Planner, Carta Balance y la técnica de los 5 porqués obtuvo un porcentaje de plan cumplido promedio de 75%.



Según lo mostrado en los resultados a través del nuevo sistema de gestión se identificaron las restricciones que impedían la correcta planificación y ejecución del proyecto, concordando con Pérez (2021), que en los resultados de su investigación identificó los motivos porque no se cumplieron las actividades planificadas, teniendo a los trabajos previos no completado y planos incompletos como principales motivos de incumplimiento. A si mismo estuvo de acuerdo con Reyes (2020), quien tuvo como resultado al momento de analizar los CNC (causas de no cumplimiento) los problemas de confidencialidad, la no estandarización de los procesos y mala planificación; asimismo en el estudio de los eventos de perfeccionamiento, se rescataron algunas acciones que se toman como forma preventiva del CNC las cuales son, la forma de disciplina operacional y mejora continua.

Por otro lado, la producción de relleno por día de los materiales Tipo 2, Tipo 1B Y Tipo 2A aumentó en un 79.82%, 81.26% y 85 % concordando con Paredes (2019), que en su tesis tuvo como resultado un aumento de trabajo de productividad en 6% y con la carta de balance un aumento de productividad de 36%. En base a los resultados se pudo ver que se tuvo un ahorro de tiempo del 15% y una reducción de mano de obra del 8%, en desacuerdo con Latorre et al. (2019), que en su artículo detalla que consiguió un ahorro de tiempo del 40% y una reducción de horas hombre del 65%, esta diferencia se debe a que el autor implemento la metodología Lean pero de la mano de la metodología BIM, a diferencia de esta investigación en donde solo se implementó la primera. Pero concuerda con Saad y Chafi (2020), quienes en las mediciones de rendimiento de salida para el modelo del mundo real y el modelo Lean rebelaron que Lean Construction llevaron a una mejora del 41 % en la productividad del proceso, una mejora del 14 % en la eficiencia del proceso y un 17 % reducción del tiempo de ciclo.

De esta investigación se puede concluir que la implementación de la metodología



Lean Construction si es posible en proyectos de construcción, obteniendo resultados positivos, además es de suma importancia el compromiso con los trabajadores, proveedores y contratistas para realizar una buena gestión de producción. Se pudo determinar que esta implementación disminuye el costo y el plazo del proyecto, concordando con Arévalo (2018) quien concluye que las herramientas del Lean Construction influyen de manera positiva para la construcción del proyecto, generando un ahorro significativo en tiempo y dinero, beneficiando a la empresa constructora. A si mismo concuerda con Garay (2020), que en su investigación obtuvo como resultado que la productividad tiene una diferencia muy considerable cuando se aplica el Lean y se compara con la manera tradicional, concluyó que es beneficioso utilizar nuevos métodos para generar un mejor orden y control de procesos constructivos en una obra.

Al mismo tiempo después de aplicar la filosofía Lean se acrecentó el valor del proyecto, se reduce el cronograma del proyecto, se optimiza la calidad y reducir desperdicios, por lo que concuerda con Xing et al. (2021) que en su artículo tuvo como resultado que el rendimiento general en la obra mejoró significativamente en función a la incorporación de herramientas como el Last Planner (LS) y Just in time (JIT) en seguridad y gestión de calidad. De esto se concluyó que la implementación de las herramientas LC reduce los defectos y el tiempo de espera en el proyecto. Además, la mejora del flujo de trabajo de construcción junto con la calidad y productividad son los dos beneficios más representativos de las prácticas Lean.



V. CONCLUSIONES

- 1) La implementación de la metodología Lean Construction mejoró de manera satisfactoria la gestión del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac, aumentando la producción de relleno por día de los materiales Tipo 2, Tipo 1B Y Tipo 2A aumentó en un 79.82%, 81.26% y 85 % respectivamente.
- 2) El diagnóstico inicial de la gestión de la productividad de movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac indica un costo unitario de relleno por m³ de 0.93 soles, mientras que la producción diaria de relleno es de 44,153.42 m³ durante los meses de noviembre, diciembre y enero.
- 3) Se implementó la metodología Lean Construction en el movimiento de tierra masiva del proyecto Presa de Relaves de una unidad minera en Apurímac a través de las herramientas Last Planner y Carta Balance. A través de la herramienta Last Planner se realizó la sectorización de las partidas a investigar, las cuales fueron conformación y compactación material tipo 2, conformación y compactación material tipo 2A y conformación y compactación material tipo 1B. Después se determinó el tren de actividades, el cual comprendió la descarga, la conformación y la compactación del material. Luego se fijó el plan maestro, el cual indicó que a mediados del mes de agosto del 2023 se debería de finalizar la construcción de todo el proyecto. Posterior a ello se realizó el LookAhead en donde se identificaron las restricciones del proyecto de la Presa de Relaves Etapa 5. Finalmente, con la herramienta de Carta Balance se verificó las mejoras de la implementación de este sistema de gestión.
- 4) La productividad aplicando la metodología Lean Construction mejoro, siendo la producción diaria de relleno 79,397.32 m³ del material tipo 2, 477.99 m³ del



material tipo 1B y 1461.20 del material tipo 2A en los meses de febrero, marzo y abril, por otro lado, el costo unitario de relleno por m³ disminuyó a 0.88 soles por m³, favoreciendo considerablemente a la ejecución del proyecto, ya que se produjo una disminución de costo y tiempo. Así mismo la desviación de la ruta crítica es de -6.80% para el post test, por lo que se dio una reducción de la brecha en la ruta crítica de 0.23% que en días representan 4 días de reducción de la brecha en plazo. Aun así, el proyecto presenta retraso, pero este sucede debido a que la ejecución de demás partidas dentro del cronograma está con grandes brechas, producto de los constantes conflictos sociales que se suscitan en el proyecto



VI. RECOMENDACIONES

La presente investigación tuvo el propósito de exponer los beneficios del uso de la filosofía Lean Construction como metodología de trabajo y diferenciar con los métodos tradicionales que aún se utilizan en las construcciones en el Perú. A partir de dicha experiencia se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

- 1) Utilizar un software de gestión de proyectos como el Primavera P6 donde se pueda colocar a detalle los avances semanales reales del proyecto con ayuda de su base de datos de Metrado y Costo por partida.
- 2) Designar a un “Planner” desde el comienzo del proyecto para que se pueda trabajar de manera conjunta con el Ing. Residente, de manera de apoyo para poder enfocarse cada uno en sus labores.
- 3) Utilizar la herramienta “Last Planner System” como una guía del proyecto, la cual se debe proteger cada semana para llegar a la meta establecida en la planificación maestra, de ser necesario colocar escudos de tiempo de dos semanas hasta cuatro semanas.
- 4) Utilizar el pensamiento A3 en futuras investigaciones, al momento de buscar una solución para alguna causa de no cumplimiento, ya que es una herramienta Lean Manufacturing que busca la mejora continua.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abusalem, O. (2022). Valuation: A New Approach to Measure the Performance of Last Planner System. *American Journal of Engineering and Technology Management*, 7(1), 1-7. <https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=102&doi=10.11648/j.ajetm.20220701.11>
- Álvarez, P. (2019). *Estudio de Productividad Aplicando la Metodología de Lean Construction Caso Túnel Vial 8, Guaduas - Cundinamarca*. Medellín: Universidad de Antioquia. <https://bit.ly/3Qecodv>
- Arévalo, S. (2018). *Implementación de la metodología Lean Construction en la productividad de la construcción del proyecto casa club recrea las Magnolias - Breña*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://bit.ly/3QbvoJM>
- Choquesa, L. (2019). *Mejora de la productividad en proyectos de edificación mediante el sistema de gestión*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna. <https://bit.ly/3JN3wsV>
- Collachagua, I. (2017). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la Construcción de departamentos multifamiliares "La Toscana"; como herramienta de mejora de la productividad*. Huancayo: Universidad Continental. <https://bit.ly/3SEbzwv>
- CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA. (2018). *Lean Construction en el Perú*. <https://bit.ly/3Qi2CXU>
- Díaz, L., Oliveira, M., Pucharelli, P., & Pizón, J. (2019). Integración entre el sistema last planner y el sistema de gestión de calidad aplicados en el sector de la construcción civil. *Revista de Ingeniería de construcción*. doi:doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200146
- Garay, M. (2020). *Análisis Comparativo Respecto a la Aplicación del enfoque Tradicional y el Enfoque Lean Construction en la Productividad del Proyecto Residencial "Gonzales I" - San Miguel*. Lima: Universidad Privada del Norte. <https://bit.ly/3dmS7nN>
- Gilacopa, A., & Colque, R. (2020). *Aplicación de la filosofía Lean Construction para mejorar la productividad de las obras de edificaciones en la Ciudad de Tacna*. Universidad Privada de Tacna.
- HERNÁNDEZ, R., & MENDOZA, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las*



- rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Celaya: Mc Graw Hill.
<https://bit.ly/3pgpxa5>
- Huapaya, C., & Torres, H. (2021). *Implementación de la Metodología Lean Construction y las Herramientas de la Calidad para mejorar la productividad en la Obra de Reconstrucción y Modernización de la Institución Educativa N°21508 ubicado en el Distrito de Imperial - Provincia de Cañete.* 2021: Universidad San Martín de Porres. <https://bit.ly/3pgpLhr>
- Latorre, A. (2015). *Filosofía Lean en la construcción.* Valencia: Universitat Politècnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50732/LATORRE%20-%20Filosof%20C3%ADa%20Lean%20en%20la%20construcci%C3%B3n.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Latorre, A., Sanz, C., & Sanchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-Bim para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes de la construcción, 71*, 1-9. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.67222>
- Limenh, Z., Demisse, B., & Haile, A. (2022). The Usefulness of Adopting the Last Planner System in the Construction Process of Addis Ababa Road Projects. *Advances in Civil Engineering, 1*(1). <https://www.hindawi.com/journals/ace/2022/7846593/#conclusions>
- López, M., Grajales, M., & Corrales, M. (2017). Lean construction-LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín.*
- MINEM. (s.f.). PROYECTO DE EXPLORACIÓN MINERA LAS BAMBAS. <https://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=4&idTitular=1206>
- Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Estandarizar los procesos relacionados con presas de relave.* Lima. <https://bit.ly/3PgE6oW>
- More, N., & Fulse, Y. (2021). Study of last planner system in construction industry. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), 8*(8), 1-9. <https://www.jetir.org/papers/JETIR2108064.pdf>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la Investigación.* BOGOTÁ: Ediciones U. <https://bit.ly/3QEJF1D>
- Oliva Neyra, C. A. (2019). *Plan Nacional de INFRAESTRUCTURA para la COMPETITIVIDAD.* <https://bit.ly/2K0agqn>
- Paredes, J. (2019). *Aplicación de la filosofía Lean Construction para mejorar la productividad en obras de edificación de la ciudad de Trujillo.* Trujillo:



- Universidad Cesar Vallejo. <https://bit.ly/3zJr4KV>
- Pérez, G. (2021). *Implementación de Lean Construction en la construcción argentina*. Buenos Aires: Pontificia Universidad Católica Argentina. <https://bit.ly/3zLjeAk>
- Pons Achell, J. (2021). *Lean Construction Las 10 clavs del exito para su implantación*. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. <https://bit.ly/3bO5bSD>
- Prasad, K., & Vasugi, V. (2021). Experiences from the implementation of Last Planner System® in construction project. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 28(2), 125-141. https://www.researchgate.net/publication/353070433_Experiences_from_the_implementation_of_Last_Planner_SystemR_in_construction_project
- PromPerú. (2015). *El sector construcción en los paises de Latinoamérica*. Lima. <https://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/estudio/242954558radD1EE3.pdf>
- Quispe, R. (2017). *Aplicación de “lean construction” para mejorar la productividad en la ejecución de obras de edificación, Huancavelica, 2017*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. <https://bit.ly/3BU7IFB>
- Quispe, R. (2017). *Aplicación de Lean Construction para mejorar la productividad en la ejecución de obras de edificación, Huancavelica, 2017*. Huancavelica: Escuela de Posgrado Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/14979>
- Reyes, H. (2020). *Integración y Análisis de eventos de mejora con Lean Construction en proyectos mineros de Codelco*. Santiago: Universidad de Chile. <https://bit.ly/3BXmwDs>
- Rodríguez, F. (2017). *Guía de Implementación de Last Planner System*. A3. <https://bit.ly/3BZ1STu>
- Saad, & Chafi. (2020). Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process.
- Sandoval, A., & Valdez, M. (2020). *Aplicación de la filosofía Lean Construction para la mejora de la productividad en la construcción de 129 unidades básicas de saneamiento en cuatro caseríos del distrito de Llama, Provincia de Chota, departamento de Cajamarca*. Universidad San Martín de Porres.
- Silva. (2020). Indicadores de productividad aplicados al movimiento de tierras masivo. *Constructivo*. <https://bit.ly/3Qgp4ki>
- Torres, R. (2018). *Análisis y mejora de la Productividad aplicando la filosofía Lean Construction en el mejoramiento de la Av. Pedro Motta en San Juan de Miraflores - Lima*. Lima: Universidad San Martin de Porres. <https://bit.ly/3Pd8VKX>



- Tsutsumi, Y. (2017). *Evaluación de una nueva metodología para la medición y evaluación de la productividad de la mano de obra*. Universidad de Chile.
- Tunque, I. (2018). *Filosofía Lean Construction aplicada a la mejora de la productividad de la construcción del edificio multifamiliar en la ciudad de Lima*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Zegarra, L. (2020). *Diagnóstico y Evaluación de Indicadores Generales de Productividad en Obras de Edificaciones Multifamiliares en la Ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo. <https://bit.ly/3AeAdN4>