

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

ESCUELA DE POSGRADO



TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN MODERNA

Planificación con last planner system en el proyecto de la carretera
vizcachani–callalli, arequipa

Área de Investigación:

Gestión moderna de la construcción

Autor:

Br. Alayo Orbegoso, Yoel

Jurado Evaluador:

Presidente: Enrique Francisco Luján Silva

Secretario: Juan Paul Edward Henríquez Ulloa

Vocal: Eduardo Elmer Cerna Sánchez

Asesor:

Gálvez Paredes, José Alcides

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2100-4241>

TRUJILLO – PERÚ

2023

Fecha de sustentación: 2023/03/31

DEDICATORIA

A mis padres, Marino y Digna, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

A mis hermanos, por todo su apoyo incondicional, espero les sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

A mi asesor de tesis, por el apoyo y la orientación para la culminación de mi proyecto final de tesis de maestría.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes de la maestría en gerencia de la construcción moderna que han sido parten de mi camino en los estudios de posgrado, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.

“Agradecerles a todos mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas”

“Por último agradecer a la universidad Antenor Orrego que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido terminar el grado de magister. Agradezco a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos”.

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.1. Planteamiento del problema.....	12
2.1.1. Realidad problemática.....	12
2.1.2. Enunciado del problema.....	15
2.2. Marco teórico.....	15
2.2.1. Antecedentes.....	15
2.2.2. Marco teórico.....	21
2.2.3. Marco conceptual.....	33
2.3. Justificación.....	36
2.3.1. Justificación por implicaciones prácticas.....	36
2.3.2. Justificación por utilidad metodológica.....	37
2.3.3. Justificación económica.....	37
2.4. Objetivos.....	38
2.4.1. Objetivo general.....	38
2.4.2. Objetivos específicos.....	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1. Diseño del estudio.....	40
3.2. Población.....	40
3.3. Muestra.....	40
3.4. Operacionalización de variables.....	40

3.5. Procedimientos y técnicas.....	42
3.5.1. Procedimientos.....	42
3.5.2. Técnicas.....	43
3.6. Procesamiento y análisis de datos.....	43
3.7. Consideraciones éticas	44
IV. RESULTADOS	45
4.1. Resumen del proyecto y preparación del <i>Last Planner System</i>	45
4.2. Elaboración del <i>Master plan</i> e hitos de control	46
4.3. Planificación <i>Look Ahead</i> y análisis de restricciones	49
4.4. Planificación semanal <i>Weekly plan</i>	55
4.5. Porcentaje de plan cumplido	58
4.6. Incidencia de las causas de no cumplimiento	59
4.7. Incidencia sobre el <i>Schedule Performance Index</i> del proyecto	61
V. DISCUSIÓN	67
VI. CONCLUSIONES	71
VII. RECOMENDACIONES	73
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
IX. ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Interacción entre causas y pérdidas de insumos.....	26
Tabla 2 Operacionalización de las variables.....	41
Tabla 3 Hitos del plan maestro	48
Tabla 4 Restricciones de las actividades desarrolladas en el proyecto	52
Tabla 5 Acciones llevadas a cabo para levantar las restricciones.....	55
Tabla 6 Tipos de CNC ocurridas en el periodo evaluado	60
Tabla 7 Valores SPI antes y después de la implementación.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Problemas típicos presentes en la construcción.....	23
Figura 2 Resumen cronológico de la evolución de la filosofía Lean.....	24
Figura 3 Compromisos dentro de la técnica Last Planner System.....	28
Figura 4 Relación de compromisos de ejecución con las fases de planificación..	28
Figura 5 Relación multivariable de la productividad.....	32
Figura 6 Mejoras obtenidas por la implementación de Last Planner.....	33
Figura 7 Secuencia de la construcción.....	47
Figura 8 Planificación Look Ahead – Junio 22.....	50
Figura 9 Formato de identificación y seguimiento de restricciones.....	51
Figura 10 Formato de identificación y seguimiento de restricciones.....	54
Figura 11 Weekly plan – Semana 27.....	56
Figura 12 Porcentaje de plan cumplido (PPC).....	58
Figura 13 Frecuencias e incidencias de las causas de no cumplimiento.....	60
Figura 14 Schedule Performance Index obtenido.....	62
Figura 15 Avances de obra valorizados.....	63
Figura 16 Resultados prueba de normalidad.....	65
Figura 17 Resultados prueba estadística inferencial.....	65

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objeto la aplicación de la técnica *Last planner system* en la obra del proyecto de la carretera Vizcachani–Callalli, Arequipa, la cual se encuentra en ejecución con problemas su productividad debido a deficiencias en el manejo de la información y la organización de los responsables del proyecto. Se utilizó un diseño de investigación experimental, con un alcance explicativo, en el que se analizaron las partidas correspondientes al movimiento de tierra y obras de arte y drenaje. Durante el desarrollo, se realizó el plan maestro de la obra, el *lookahead* y el *weekly plan*, estableciendo hitos de producción, identificación y liberación de restricciones y la medición del desempeño obtenido mediante el porcentaje de plan cumplido, las causas de no cumplimiento y el *Schedule Performance Index*. Se obtuvo que algunas de las partidas mencionadas influyen de manera significativa en el tren de trabajo, por lo que, de no ejecutarse por completo, las que dependen de ella se verán afectadas, influyendo en el índice de plan cumplido. Aun si, se observó que en la medida que los planificadores se familiarizan con el método, el indicador presento una tendencia positiva, pasando de 50% a un 75%. Por su parte, mediante el *Schedule Performance Index* se pudo observar una reducción en la variabilidad de los resultados obtenidos, con una desviación del 0.48% entre lo planificado y lo ejecutado.

Palabras clave: last planner, gestión de proyectos, productividad, vialidad.

ABSTRACT

The objective of this investigation was the application of the Last planner system technique in the work of the Vizcachani-Callalli highway project, Arequipa, which is in execution with productivity problems due to deficiencies in information management and organization. of those responsible for the project. An experimental research design was developed, with an explanatory scope, in which the items corresponding to earth movement and works of art and drainage were analyzed. During the development, the master plan of the work, the lookahead and the Weekly Plan were carried out, revealing production milestones, identification and release of restrictions and the measurement of the performance obtained through the percentage of the plan fulfilled, the causes of non-compliance and the Programming performance index. It was obtained that some of the items mentioned had a significant influence on the work train, therefore, if they are not fully executed, those that depended on it will be affected, influencing the rate of completed plan. Even if it is shown that as planners become familiar with the method, the indicator presents a positive trend, going from 50% to 75%. On the other hand, through the Schedule Performance Index it was possible to observe a reduction in the preference of the results obtained, with a deviation of 0.48% between what was planned and what was executed.

Keywords: last planner, project management, productivity, roads.

I. INTRODUCCIÓN

La ejecución del proyecto de la carretera Vizcachani–Callalli en la provincia de Caylloma, Arequipa, presenta problemas de productividad, no alcanzando las metas establecidas en la planificación de la obra, lo que se traduce en un retraso en cuanto al cronograma general y una disminución de la rentabilidad en cuanto a flujo de caja se refiere, por lo cual, se plantea la aplicación de la técnica *Last Planner System* perteneciente a la filosofía *Lean Construction*, con el objetivo de mejorar la planificación relacionada a la ejecución de la obra y la productividad, pues los problemas encontrados coinciden con los que tradicionalmente presentan los métodos de gestión convencional y que estos no son capaces de resolver de manera ágil y eficiente (Pons & Rubio, 2019).

Si bien los preceptos de la metodología son generales para cualquier proyecto de construcción, se hace necesario comprobar si efectivamente se logra una adaptación de la técnica a una obra de rehabilitación vial como el presente caso de estudio. De esta manera, la investigación presenta un nivel explicativo en cuanto a la evolución de las labores en la obra, la formulación de estrategias de mejora y su efecto sobre la productividad, para lo cual se precisa aplicar un registro de indicadores de la productividad alcanzada con la planificación con *Last Planner System*, cuyo contraste se realizará mediante técnicas propias de la estadística descriptiva.

Bajo este contexto, resulta importante valorar la aplicación de esta técnica para este tipo de obras, dado que no existen referencias suficientes en este ámbito de aplicación, y a su vez, se presenta como un tipo de obras que históricamente presenta problemas frecuentes en su ejecución (Torres, 2019), por lo tanto, los

resultados contribuirán a identificar las ventajas y dificultades que pueden surgir en este tipo de proyectos, cómo abordarlos y qué podemos esperar al aplicar una gestión alternativa a los métodos de planificación convencionales.

En función de ello, el presente documento se encuentra organizado en nueve capítulos, los tres primeros contemplan una visión al problema de investigación, objetivos y metodología utilizada, el capítulo cuatro presenta los resultados de la aplicación de la técnica en la obra tomada como caso de estudio, mientras que en los capítulos cinco y seis contiene la discusión de resultados y las conclusiones de la investigación. Finalmente, los capítulos siete, ocho y nueve se presentan las recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos, respectivamente.

II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Planteamiento del problema

2.1.1. Realidad problemática

El sector construcción ha sido uno de los principales protagonistas del desarrollo económico de los países desarrollados, por medio de la cual es posible obtener la infraestructura necesaria para elevar la calidad de vida de la población en general; su influencia sobre la dinámica económica y social es evidente cuando de ella depende en gran medida el crecimiento del PIB (De la Vega, 2021). De acuerdo a la Organización Internacional del Trabajo, la industria de la construcción es una de las mayores generadoras de empleo y riquezas, cuyo auge se ha visto incrementado en los últimos años debido al efecto de la globalización, para lo cual han nacido nuevos enfoques empresariales destinados a la máxima obtención de beneficios como método para mantener su presencia en un entorno altamente competitivo a nivel local e internacional (Organización Internacional del Trabajo, 2021).

Por su parte, para una empresa, la productividad es la medida que relaciona las metas planteadas y aquellas logradas en cuanto a la ejecución de un proyecto, y en tal sentido, permite cuantificar el éxito de la actividad empresarial. Así, la productividad es una medida del uso de recursos para lograr un objetivo dentro de un espacio de tiempo determinado, y, por lo tanto, se refiere a la eficacia de los trabajos realizados, muchas veces referido al cumplimiento de un cronograma de ejecución preestablecido en la fase de planeamiento del proyecto (Cantú et al., 2018; Fontalvo-Herrera et al., 2017). Sin embargo, la productividad es afectada por una gran cantidad de factores, como el clima

organizacional, la motivación, la supervisión, el liderazgo y el desempeño laboral, con el inconveniente de que muchas veces los sistemas de control tradicional no son capaces de identificar la causa raíz de los problemas de productividad dentro de la organización (Gómez, 2021; Srinivas, 2019).

Entre los enfoques recientemente creados se encuentra el Lean Management, el cual tiene como objetivo la reducción de los desperdicios; su éxito ha hecho posible su adaptación fuera de la industria de manufactura, conociéndose dentro del entorno de la construcción civil como *Lean Construction*, la cual ha sido fuertemente acogida en países desarrollados con grandes industrias de construcción como Estados Unidos, Reino Unido y China, países de los cuales se predice una inversión en construcción en torno a los 4.5 billones de dólares entre el 2020 y el 2030 (Lozano, 2022). Por su parte, la investigación presentada por Prasad y Vasugi (2021) revela que hoy en día existe una gran difusión de la filosofía *Lean* y de la técnica *Last Planner System* en países latinoamericanos, entre ellos, Brasil, México, Ecuador, Chile y Perú. En cuanto a este último, el Perú considera la industria de la construcción como uno de sus principales motores económicos; en el 2021, el sector construcción generó más de 1 millón de empleos, al tiempo que la inversión pública ascendió a más de 9,500 millones de Soles (Ninahuanca, 2020).

En relación a ello, la entrada de la filosofía *Lean* al Perú se atribuye al Dr. Virgilio Ghio, quien llegó a determinar que, en promedio, solo un 28% del tiempo empleado en los métodos de construcción comúnmente utilizados en el país corresponden a actividades productivas, mientras que el resto se divide entre un 36% actividades contributivas y 36% de actividades no contributivas;

a pesar de ello, la aplicación de los principios de la metodología ha permitido un incremento considerable en el desempeño de obras, habiendo sido utilizada en diversos tipos de obras civiles: en Lima ha habido implementaciones en edificaciones residenciales, oficinas y habilitaciones urbanas; en Junín, en proyectos mineros; en Apurímac, en viviendas masivas, en Arequipa, en infraestructura aérea y proyectos mineros, industriales, colegios y puentes (Quiñonez, 2019).

Hoy en día, se contabilizan unas 16,000 obras en ejecución a lo largo y ancho del país, de las cuales, un 24% pertenecen al sector de Transporte y Comunicaciones; sin embargo, cabe resaltar que al mismo tiempo existen unas 3,000 obras paralizadas, muchas de ellas por problemas en la ejecución e incumplimiento de plazos (Contraloría General de la República, 2022). En relación a ello, Castilla (2021) menciona que en el contexto histórico del país predomina la baja capacidad de gestión para planificar, presupuestar y ejecutar de manera adecuada los proyectos, principalmente por la falta de personal con las capacidades técnicas, a lo que se suma el débil y limitado acompañamiento y supervisión de la ejecución, un ineficaz control de calidad y poca coordinación entre las partes.

Este mismo panorama aplica en la ejecución de la obra “Mejoramiento de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa”, un proyecto de vialidad iniciado en septiembre de 2021 que contempla la ejecución de 35 km de carretera a nivel de carpeta asfáltica en caliente, que desde los primeros meses de ejecución ha presentado deficiencias en los trabajos realizados, teniendo un retraso en cuanto al cronograma general de la

obra cercano a un 10%, cuyo comportamiento, de mantenerse, compromete la finalización de la obra en los tiempos contractuales acordados, poniendo en riesgo a la empresa frente a la aplicación de multas de acuerdo a las disposiciones legales. Entre los problemas suscitados se tienen la falta de materiales para la ejecución de labores, equipos en mal estado, incompatibilidad del expediente técnico en cuanto a metrados y rendimientos, falta de liberación y saneamiento de predios y falta de absolución de consultas técnicas. De allí que se requiera de la implementación de medidas correctivas que permitan un incremento de la productividad en la obra.

2.1.2. Enunciado del problema

¿De qué manera influye la planificación con Last Planner System en el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa?

2.2. Marco teórico

2.2.1. Antecedentes

Aroni y Mayhuire (2022) realizaron la investigación titulada “Dirección del proyecto “Mejoramiento de transitabilidad vehicular y peatonal de la Carretera Vía El Cerro - La Hacienda - Quichinihuaya, distrito de Yarabamba – Arequipa” basado en los estándares globales de la guía del PMBOK® – sexta edición” para obtener el grado de maestros en administración y dirección de proyectos, con el objetivo de evidenciar el desarrollo del proyecto e ilustrar los conceptos y herramientas que se pueden utilizar para gestionar una obra de

vialidad. En ello exponen cada una de las fases del proceso de planeación del proyecto, incluyendo el alcance, requisitos, actividades a ejecutar, cronograma, gestión de recursos, costos y presupuestos, donde la técnica Last Planner System fungió como herramienta metodológica para gestionar el desarrollo y control de los avances de obra. Obtuvieron que, al finalizar la obra, se obtuvo un retorno de la inversión TIR de 19%, donde el uso de las metodologías empleadas y el registro e involucramiento de los interesados fueron indispensables para incrementar las probabilidades de éxito. Concluyeron que el rendimiento de la mano de obra fue el factor de mas difícil estimación y control, siendo difícil de consolidar incluso con otros proyectos desarrollados. Nervi (2021), en su tesis de maestría “Evaluación de la productividad usando modelos Bim 3D – *Lean Construction* en la ejecución del proyecto Los Triunfadores, Juliaca 2018 – 2019”, tuvo por objetivo demostrar un aumento en la productividad al emplear ambas metodologías de forma simultánea. De esa manera, el estudio fue de tipo experimental con pre test y post test, empleando como indicadores los tiempos contributorios y tiempos productivos. Encontró que con la aplicación de las herramientas Lean en combinación con un proyecto gestionado con la metodología BIM se obtuvo un aumento en la productividad del 6%, reduciendo simultáneamente el trabajo no contributorio en 4%.

Xing et al., (2021) llevaron a cabo el estudio “*Implementing Lean Construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China*”, en el cual tuvieron como objetivo determinar la influencia de la aplicación de la técnica *Last Planner* en la valorización del proyecto, la

reducción del cronograma, el aumento de la calidad y la eliminación de desperdicios. Para ello, llevaron a cabo entrevistas a los encargados y la medición de indicadores en la ejecución de una obra caso de estudio, en la cual encontraron un aumento de la productividad relacionada con la mejora en los flujos de trabajo debido a la identificación de restricciones en el proceso constructivo. Se toma como referencia el aporte de los canales de comunicación implementados entre los encargados de la obra como factor agilizador del flujo de trabajo para la eliminación de restricciones durante la fase de ejecución.

Neyra (2021), para su tesis de maestría realizó una investigación con el nombre de “Implementación de la constructabilidad del cronograma de obra para la reducción de reclamos en proyectos de construcción Fast-Track: Caso de estudio proyecto de construcción de una planta industrial en Arequipa”, cuyo objetivo fue disminuir el número de reclamos del cliente en la ejecución de la obra en cuanto a desviaciones de costos y plazos, empleando en ello el sistema del último planificador. De ello, el trabajo colaborativo permitió obtener una relación de desempeño en labores planificadas y ejecutadas de 1.04, es decir, que se estuvo por encima de lo establecido.

Prasad y Vasugi (2021) realizaron la investigación “*Experiences from the implementation of Last Planner System in construction Project*” con el objetivo de presentar los beneficios y determinar los factores críticos de éxito en la implementación de la metodología *Last Planner System* en proyectos de construcción. Para ello realizaron una extensa revisión literaria de casos de implementación en diversos tipos de construcciones, encontrando que, si bien se reporta un aumento sustancial en la calidad de los proyectos y en la

productividad, aún existe recelo al cambio de la metodología tradicional de gestión típica del sector construcción. Así mismo, encontraron que la mayoría de casos de implementación se ubican en proyectos de edificaciones, por lo que casos como los proyectos de vialidad aun no son muy conocidos por la aplicación de la metodología. Como conclusión listan una serie de medidas a tomar en cuenta durante la fase de implementación en referencia a la división de la zona de trabajo y la asignación de indicadores de progreso, lo cual es tomado como referencia para el presente estudio.

Mejía y Chavez (2021), en su tesis de maestría llevaron a cabo el estudio “Implementación del sistema *Last Planner* para la mejora de la etapa de planeación en la construcción de muros de contención, caso región Cusco, 2021”, cuyo propósito consistió en implementar el *Last Planner System* para la gestión de restricciones en la referida obra. Tras su implementación, obtuvo una mejora en el rendimiento de la mano de obra debido en parte a un mejor control sobre el suministro de materiales y herramientas necesarias para las tareas, todo lo cual significó un ahorro en costos de personal de 25.35%, y de 38.81% en general, en comparación al expediente original.

Saldaña (2022), presentó su tesis de maestría “Aplicación de la metodología *last planner system* en el mantenimiento del Camino Vecinal Alto Succha – La Viña – La Libertad – 2022”, con el propósito de determinar la influencia sobre el cumplimiento de las actividades planificadas dentro de los plazos establecidos. Tras la elaboración de la planificación maestra, look ahead y medición de tareas planificadas y ejecutadas, obtuvo una tendencia positiva en el cumplimiento de actividades (PPC), cuyo valor mínimo fue del 67% y

teniendo otros plazos con un 100% de ejecución. Concluyó que para la elaboración del plan maestro se parte del expediente técnico como referencia, pero considerando la experiencia propia para ajustar los hitos a establecer.

Avalos (2021), en su tesis de maestría “*Last Planner en la mejora de ejecución de parques en la Empresa León Contratista Generales S.A.C, Lima 2021*”, tuvo como objetivo determinar las mejoras que el *Last Planner* tiene en la ejecución de parques por la empresa Leon Contratista Generales SAC, para lo cual emplearon un diseño experimental puro, de tipo pre test – post test para medir la influencia de la técnica del ultimo planificador sobre indicadores de la gestión de las obras. Como resultado, encontró que al aplicar la técnica se produjo una disminución en el indicador de tiempo de ejecución de los trabajos en un 20%, así como también un ahorro en igual porcentaje en el indicador sobre los costos asociados a dicha ejecución, mientras que sobre el indicador referido a las penalidades por incumplimiento hubo una reducción del 83%. Como aporte a la investigación se toma el uso de indicadores para medir el desempeño de la gestión de la obra, así como las características del diseño experimental empleado.

Cabrera (2020), en su tesis de maestría “Caso de aplicación de *Last Planner System* en Barcelona”, tuvo como objetivo analizar la efectividad de la metodología en proyectos desarrollados en la ciudad de Barcelona, España. Se basó en una metodología de búsqueda documental, con el enfoque de medir la influencia en el porcentaje de plan cumplido y las causas de no cumplimiento en casos nacionales e internacionales a fin de hacer una comparación entre ello. Encontró que, a nivel mundial y en distintos tipos de obra (edificaciones

residenciales, vialidad, edificaciones industriales, entre otras) prevalece la falta de recursos materiales o de personal, el suministro de materiales incorrectos según especificaciones del proyecto, y las restricciones por requisitos previos no terminados a tiempo. Por su parte, encontró que en cuanto al porcentaje de plan cumplido (PPC), un 21.8% de obras obtienen un PPC de entre 69% a 79%, el 12.7% de obras obtiene de 80% a 90% y que hasta un 23.6% de obras alcanza más del 90% de cumplimiento. Concluye que, con la aplicación de la metodología, las obras en promedio logran obtener más del 75% del plan cumplido, siendo esto clasificado como una media excelente.

Torres (2019), en su tesis de maestría “Sistema Integral de Gestión para el Aseguramiento de la Calidad en Obras Viales de los Gobiernos Regionales de Tacna, 2018”, tuvo como objetivo desarrollar un sistema integral de gestión (SIG) para asegurar la calidad en la ejecución en obras viales de gobiernos regionales, para lo cual desarrolló los procedimientos de gestión a implementar durante la planificación y ejecución de la obra, incluyendo en ello el registro de indicadores que describían el desempeño de la gestión y la calidad obtenida en los trabajos ejecutados. Encontró, mediante el juicio de expertos, que los principales inconvenientes que inciden sobre el desarrollo adecuado de este tipo de obras son las incompatibilidades del expediente técnico, la falta de mecanismos de control en la gestión de la obra y la falta de supervisión de los procedimientos. Como aporte a la investigación se tiene la opinión de expertos en la ejecución de obras públicas de vialidad en el entorno nacional, quienes identifican las principales razones que producen inconvenientes durante la

ejecución de la obra, causando problemas en la productividad. Tales razones son empleadas para la elaboración de las fichas de recolección de datos.

2.2.2. Marco teórico

2.2.2.1. La gestión de obras tradicional

Históricamente, la industria de la construcción es una actividad de gran importancia económica que ha acaparado la atención de distintos actores, todos los cuales buscan la máxima eficiencia de los recursos empleados y los beneficios percibidos. Es así que el análisis de la eficiencia en la producción y avances de obra ha marcado un hito de referencia en términos de calidad y desempeño empresarial, promoviendo el interés en el desarrollo de distintas metodologías para lograr resultados óptimos (Srinivas, 2019). Sin embargo, Pons y Rubio (2019) exponen que los métodos tradicionales utilizados en la gestión de obras no han sido capaces de solventar una serie de problemas recurrentes que caracterizan la ejecución de una construcción, cuyas fallas típicas y reiterativas terminan por convertirse en un despilfarro de recursos.

Al respecto, Pellicer et al., (2017) mencionan que el sistema utilizado de manera tradicional no posee mecanismos adecuados para manejar apropiadamente la incertidumbre y la variabilidad que se suele encontrar en los sitios de trabajo. Aunado a lo anterior, el sector construcción ha sido reticente a la hora de modificar sus flujos de trabajo adoptando las prácticas de los sistemas de gestión que han aparecido en los últimos años (Pons & Rubio, 2019). Se tiene como ejemplo que la planificación típica de una obra sigue haciéndose mediante los diagramas de Gant en aplicaciones como Microsoft

Project y Primavera, a sabiendas que muchos profesionales dicen ser conscientes de que, en la práctica, estos esquemas suelen requerir una constante reprogramación y adaptación a medida que avanzan los trabajos y surgen contratiempos, por lo que estos terminan cayendo en el abandono (Álvarez et al., 2019).

Pons y Rubio (2019) recogen las razones que ocasionan los problemas típicos durante la ejecución de obras, cuyo listado se presenta en la figura 1, donde se puede observar que la razón de mayor relevancia se centra en las deficiencias en los procesos de planificación, control y gestión de la producción, mientras que las limitaciones económicas, aunque presentes, se encuentran en los escalones finales.

En un análisis similar, Kuran (2021) menciona que, por ejemplo, en los Estados Unidos, el 92% de las empresas invierten parte de sus recursos en la creación de departamentos e implementación de sistemas de control de la productividad, sin embargo, cerca del 54% de los proyectos de construcción son terminados fuera de los tiempos establecidos. En relación a ello, destaca que muchas de tales metodologías poseen una antigüedad cercana a los 70 años en las cuales se trata de prever las condiciones presentes en el lugar de la obra, pero, sin embargo, no lo gran considerar los cambios que producen la dinámica constructiva, ni reconocen el proyecto como un ecosistema complejo con sistemas productivos ejecutados por una gran variedad de personas.

Figura 1

Problemas típicos presentes en la construcción

1	Uso de métodos obsoletos para la Planificación, Control y Gestión de la Producción.
2	Escaso rigor en el cumplimiento de la Seguridad.
3	Proyectos incompletos, poco detallados y escasamente analizados.
4	Controles de calidad ineficaces que no garantizan la entrega de calidad a la primera.
5	Incumplimiento sistemático de los plazos de entrega.
6	Mano de obra poco cualificada, comparada con la industria manufacturera.
7	Falta de coordinación y transparencia entre las partes interesadas.
8	Escasos o nulos controles de la productividad.
9	Sobrecostos. Sistema de licitación basado en: (1) diseño, (2) licitación, (3) construcción.
10	Gran cantidad de retrabajos.

Nota: tomado de Pons y Rubio (2019).

2.2.2.2. Lean Construction y Last Planner System

La filosofía *Lean* nace como respuesta a las carencias de la producción manufacturera en cuanto a producción, calidad y seguridad. Esta filosofía parte del concepto de analizar los flujos de trabajo y convertir dichas actividades en tareas críticas, con cero holguras, es decir, sin gastos de tiempos en los que no se agregan valor al proyecto. Este nuevo sistema de producción se basa en las técnicas de manufactura de Henry Ford y las ideas de control de calidad de Edward Deming (figura 2), siendo implementada por la industria Toyota después de la segunda guerra mundial. (Murray, 2018).

Figura 2

Resumen cronológico de la evolución de la filosofía Lean

1913	Henri Ford. Cadena de montaje móvil.
Mediados de los 50	Taiichi Ohno tiene operativo el Toyota Production System.
1950 1970	Deming, Juran, Shewhart, Shigeo Shingo, Kaoru Ishikawa, etc. desarrollan sus teorías sobre la Calidad y Mejora Continua que hoy forma parte de LEAN.
Década de los 70	Crisis energética. Toyota destaca por encima de las demás compañías.
Década de los 80	Estudio del MIT que da origen a Lean Production como concepto. John Krafcik acuña Lean Production.
1992	Lauri Koskela fundamenta la teoría de Lean Construction.
1993	Se funda el International Group for Lean Construction IGLC.
1996	Se publica el libro "Lean Thinking" de James Womack y Daniel Jones.
1997	Se funda el Lean Construction Institute (LCI) USA.
2000	Glenn Ballard. Publica su Tesis Doctoral "The Last Planner System of Production Control".

Nota: tomado de Pons y Rubio (2019).

En síntesis, la filosofía Lean plantea 3 puntos principales, tales que se resumen en (Calua, 2020):

- La eliminación de desperdicios
- Una buena relación con el trabajador
- Incrementar la calidad de todo producto

En este mismo orden de ideas, entre las características principales que presenta la filosofía del *Lean Construction* se tiene (Dávila & Pereda, 2021):

- El trabajo en equipo
- La comunicación permanente
- El uso eficiente de los recursos
- La mejora continua
- La reducción de los tiempos muertos (no contributivos)
- La reducción de costos y duración de la construcción

- Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor (hacer más con menos)
- Reducir la variabilidad, los tiempos de ciclo, minimizar pasos e incrementar la flexibilidad

Dávila y Pereda (2021) establecen que la construcción se basa en el empleo de materias primas y su conversión en productos acabados, siendo importante aclarar que no todas las fases de ejecución suman un valor agregado al producto final. En este sentido, según la filosofía *Lean* se diferencia en dos tipos de actividades, las que generan un valor agregado o contributivas, y las que no, siendo estas últimas aquellas actividades que consumen recursos, tiempos y espacio, pero no aportan significancia al producto final, y, por tanto, deben ser eliminadas o mitigadas. En el mismo orden de ideas, existen diversos factores que repercuten en la producción dentro de la actividad constructora, relacionados muchas veces a las deficiencias en la programación de tareas, errores de comunicación y falta de motivación del personal. Entre algunas de estos factores, tenemos:

- La falta de especificaciones técnicas de las labores a ejecutar
- Modificaciones de los diseños originales durante la ejecución de la obra
- Logística deficiente en la adquisición y recepción de materiales y equipos
- Obsolescencia de la tecnología utilizada durante la construcción

Estos factores se encuentran íntimamente relacionados y tienden a causar el desarrollo una mayor cantidad de trabajos contributivos y no contributivos a

costa de disminuir los trabajos que son verdaderamente productivos, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Interacción entre causas y pérdidas de insumos

Causas de pérdidas	Clasificación general	Insumo perdido
Problemas de planificación	Perdidas por sobreproducción y retrabajos.	Mano de obra, materiales y equipos
	Perdidas por inventariado.	
Problemas de burocracia u organización	Perdidas por esperas (tiempo muerto)	Eficiencia, productividad
Problemas de información	Perdidas personales, papeleo	Calidad, administración

Nota: adaptado de Dávila y Pereda (2021)

A partir de lo anterior, Pons y Rubio (2019) definen a los últimos planificadores como los responsables de los diferentes oficios que se ejecutan en la obra, quienes conocen íntimamente la dinámica diaria del proceso constructivo y lo que realmente sucede cada semana. De allí que, mediante la aplicación de la metodología, son estos los interlocutores que deben ser capaces de asignar, garantizar o coordinar los recursos necesarios para la ejecución de las metas establecidas.

2.2.2.3. Cronograma maestro y planificación semanal

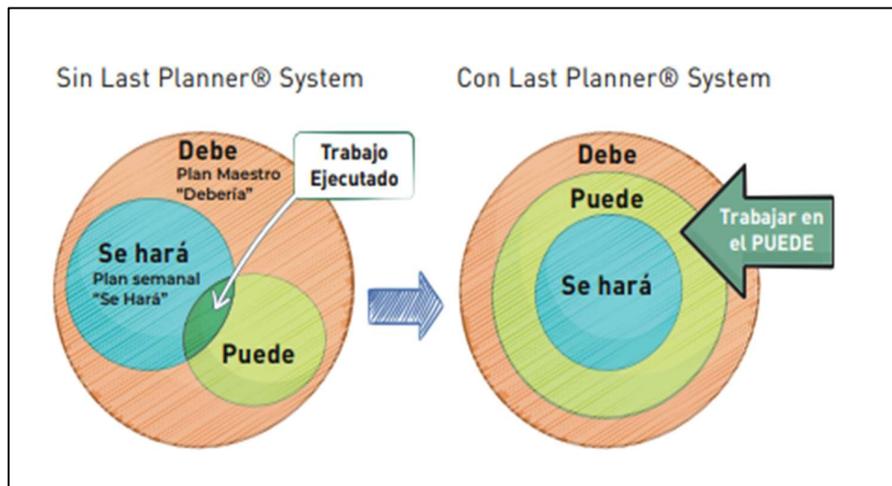
Entre los recursos utilizados para la planificación de la ejecución del proyecto se encuentra el llamado cronograma de obras, con el cual es posible visualizar los rendimientos de obra (velocidad), las metas estimadas (tiempo) y los

recursos empleados (mano de obra y equipos). En este sentido, un cronograma de obras ofrece una visión del ciclo de vida del proyecto (Krzemiński, 2017). En términos generales, el rendimiento del personal que labora una partida de construcción, es decir, su capacidad de producir cierta cantidad de obra en un tiempo determinado, es el factor que determina la duración de una actividad dentro del cronograma de obra. Sin embargo, esta planificación falla al no considerar los problemas de logística que surgen a lo largo de la ejecución toda vez que se necesita la interacción de un gran grupo de personas. De allí que la filosofía Lean, por medio de la técnica *Last Planner*, se dedica a la disminución de la incertidumbre asociada a la planificación de dichas tareas mediante el análisis de factores inherentes a la actividad que pueden repercutir en su ejecución, llamadas restricciones, existiendo estas debido a la falta de diseños, materiales, mano de obra, equipos, o por actividades previas sin realizar (Srinivas, 2019; Nesteby et al., 2016).

Como menciona Nesteby (2016), mediante el *Last Planner System*, se parte de la planificación maestra o cronograma general de la obra y se desglosa en sub fases, típicamente las partidas del proyecto, y se presenta entonces una planificación detallada por semanas de las actividades a ejecutar y la delimitación de su ejecución dentro de sectores de la obra, así como sus restricciones, de manera que se puede visualizar de manera específica lo que puede hacerse y el cómo se hará en el futuro inmediato, como resumen las figuras 3 y 4.

Figura 3

Compromisos dentro de la técnica Last Planner System



Nota: tomado de Pons y Rubio (2019).

Figura 4

Relación de compromisos de ejecución con las fases de planificación

Debería	PROGRAMA MAESTRO	Establecer hitos y primeros acuerdos.
	PLANIFICACIÓN POR FASES	Especificar entregables y fechas de cada equipo/sector.
Se puede	PLANIFICACIÓN INTERMEDIA	Preparar trabajo, identificando restricciones y gestionando su liberación.
Se hará	PLANIFICACIÓN SEMANAL	Establecer compromisos de avance para el periodo.
Se hizo	APRENDIZAJE	Medir porcentaje de cumplimiento de compromisos del periodo (avance y gestión). Actuar sobre causas de no cumplimiento.

Nota: tomado de Pons y Rubio (2019).

Lo contrario a la planificación maestra es la planificación inmediata o semanal, la cual ofrece mayor detalle de las actividades a realizar, representando, según

la metodología, lo que efectivamente se hará. El objetivo es establecer un plan de trabajo con metas claras, con un nivel de precisión que permita cuantificar apropiadamente el nivel de compromiso y el nivel de consecución de las metas planteadas (Pons & Rubio, 2019).

Para su formulación, se usan formatos donde se señala el plan acordado por el equipo de trabajo, donde se debe colocar lo referente a:

- Actividades a ejecutar
- Responsables
- Cantidad de obra comprometida a ejecutar en cada partida
- Cronograma (diagrama de gant) de la planificación semanal
- Índice de cumplimiento

El índice de cumplimiento, también llamado índice de porcentaje del plan completado, es la métrica que permite medir la eficacia de la planificación efectuada, pues las tareas deben ser clasificadas como “cumplidas” o “no cumplidas”. Esto a su vez indica que no se relaciona con el porcentaje de avance alcanzado en la obra (Pons & Rubio, 2019). Se determina con la expresión:

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{\text{Hitos cumplidos}}{\text{Hitos programados}} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

2.2.2.4. Reuniones de planificación colaborativa

La técnica del último planificador se basa en el trabajo colaborativo (Welles, 2020), de manera que se requiere la concertación de reuniones entre las personas encargadas de la gestión de actividades. Entre las mejores prácticas, sugeridas por Pons y Rubio (2019) se encuentran:

- Presentación de todos los participantes
- Conversación sobre las expectativas de la obra
- Exposición de requisitos para lograr el flujo de trabajo (restricciones y tareas precedentes)
- Identificar posibles conflictos entre actividades
- Duración de las actividades

El propósito principal es que todos los participantes logren entender los requerimientos globales y en función de ellos realizar los ajustes necesarios para lograr un adecuado flujo de trabajo. Como resultado del análisis de restricciones y la toma de las medidas pertinentes para su consecución, gestión anterior, surge la planificación de “lo que se hará”, es decir, la planificación o plan de corto plazo, donde los últimos planificadores asumen compromisos de ejecución de manera conjunta. El objetivo es armar un plan de trabajo comprometido con actividades específicas a realizar, con metas cuantitativas claras, lo que finalmente permite el uso de indicadores de control, tal es el caso del porcentaje de plan o tareas completadas, siendo esto la relación entre tareas planificadas y tareas ejecutadas. Tales arreglos son acordados por los últimos planificadores y se coordinan las actividades a realizar entre los responsables de cada frente de trabajo de la obra (Pons & Rubio, 2019).

2.2.2.5. Productividad en obras de construcción

La productividad figura como una medida de eficiencia concebida como indicador del desarrollo constructivo; relaciona los recursos utilizados en la elaboración de un producto durante la ejecución de un proyecto. En el ámbito de la construcción, relaciona la cantidad de obra ejecutada en un plazo de

tiempo determinado (Jiménez, 2019). Se puede determinar cuantitativamente a partir de la siguiente expresión:

$$Productividad = \frac{Producto}{Recursos} = \frac{Cantidad\ de\ obra\ ejecutada}{Periodo\ de\ evaluacion} \quad \text{Ec. 2}$$

A partir de lo anterior, es posible decir que determinar la productividad implica cuantificar el rendimiento de las cuadrillas de trabajo, entendido como una evaluación del desempeño en el proceso constructivo respecto a una unidad de tiempo; para lo cual se debe definir la configuración de la cuadrilla, las horas laborables, los recursos empleados la cantidad de obra obtenida.

De manera similar, Zegarra (2020) empleó una clasificación de la productividad en función del componente principal utilizado para lograr el avance de la obra, quedando está definida como:

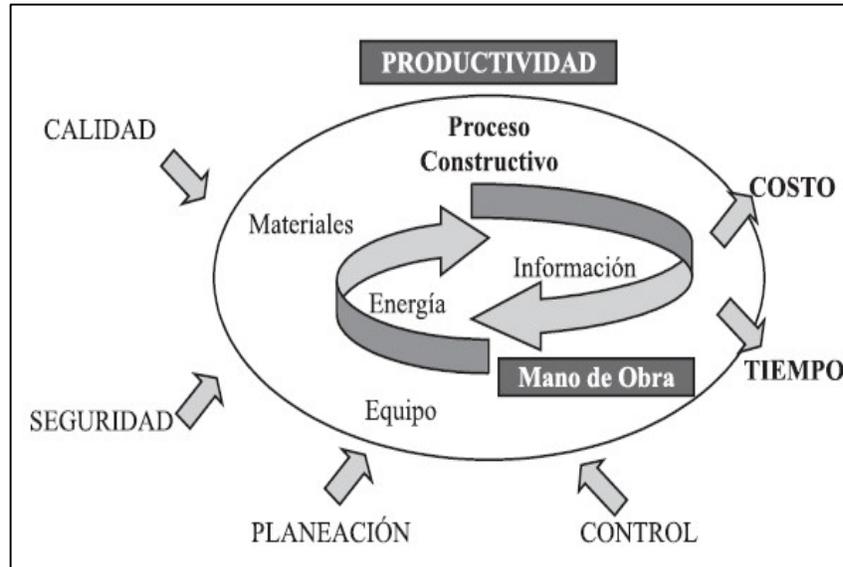
- Productividad de los materiales: relaciona la cantidad de material utilizado y la cantidad de material desperdiciado.
- Productividad de la mano de obra: asocia la cantidad de obra ejecutada por cada persona que haya participado en su elaboración y el tiempo empleado para ello.
- Productividad de la maquinaria y equipos: se refiere a la incidencia del número de artefactos utilizados y la capacidad individual de estos en relación a la cantidad de obra trabajada.

Considerando que los factores antes mencionados son puestos a disposición de la obra según lo establezca la gerencia de la obra en cuanto al uso de recursos, Zegarra (2020) afirma que la productividad, o la falta de ella, depende la eficiencia de la administración de los recursos, el diseño y la planificación, la

seguridad, los métodos de trabajo, la capacidad del capital humano y los sistemas formales de control, una relación que se muestra en la figura 6.

Figura 5

Relación multivariable de la productividad

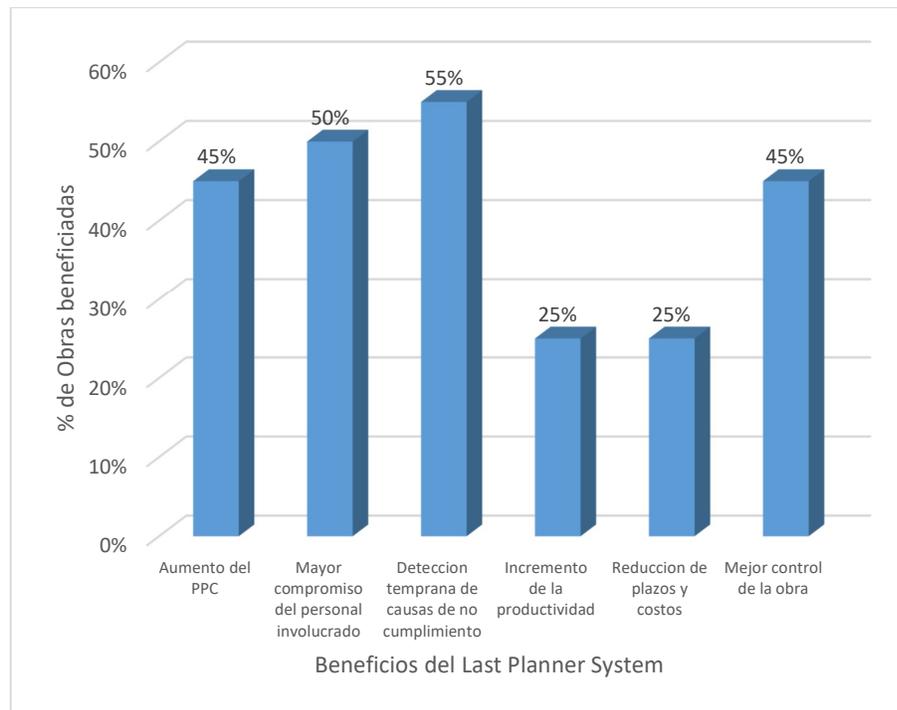


Nota: Tomado de Zegarra (2020).

Entre tanto, se ha reportado a partir de la recopilación de datos documentales que la metodología ejerce una mejora significativa en distintos aspectos, de los cuales Cabrera (2020) señala los mostrados en la figura 6, donde prevalece la detección temprana de posibles causas de no cumplimiento y liberación de restricciones, un mayor compromiso del personal encargado de la planificación y gestión de la obra y un mejor balance entre las actividades planificadas y ejecutadas, dentro de los plazos previstos.

Figura 6

Mejoras obtenidas por la implementación de Last Planner



Nota. Tomado de Cabrera (2020).

2.2.3. Marco conceptual

- Desempeño de obra: figura como una medida de eficiencia concebida como indicador del desarrollo constructivo; relaciona los recursos utilizados en la elaboración de un producto durante la ejecución de un proyecto. En el ámbito de la construcción, relaciona la cantidad de obra ejecutada en un plazo de tiempo determinado (Jiménez, 2019). Para medir la incidencia sobre el desempeño de la obra, la filosofía *Lean* y la técnica *Last Planner* introducen el concepto de *Schedule Performance Index* (SPI), el cual mide la relación entre el avance de la obra planificado (*Planned Value*) y el avance realmente

obtenido (*Earned Value*), donde estos están expresados en términos monetarios.

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

Si el SPI es menor a 1, entonces el proyecto está atrasado. Si el SPI es igual a 1, el proyecto está al día, mientras que, si el SPI es mayor a 1, el proyecto se encuentra adelantado.

- Porcentaje del plan cumplido: Abreviado PPC, Es un indicador que mide la eficacia de la planificación realizada, así como la confiabilidad del equipo de planificación. Relaciona el número de tareas que se lograron cumplir con el número total de tareas programadas en el plan semanal (Pons & Rubio, 2019).

$$PPC = \frac{Tareas\ completadas}{Tareas\ programadas} * 100$$

- Causas de no cumplimiento: las causas de no cumplimiento (CNC) se refieren a la causa raíz por la cual una tarea no fue cumplida. Primeramente, permite establecer acciones correctivas para que no se vuelvan a presentar. Sin embargo, el análisis de causas de no cumplimiento recurrentes permite evaluar si las medidas tomadas fueron realmente efectivas o no (Torres, 2019). Entre las causas de no cumplimiento más comunes se encuentran la liberación de trabajos previos, la falta de personal, materiales o herramientas, estimación incorrecta del tiempo o los retrabajos.
- Análisis de Restricciones: se entiende por restricción toda acción o requerimiento que impida el inicio o avance de una actividad. Dentro de la técnica *Last Planner System*, la identificación de las restricciones forma la base de las estrategias a implementar para poder garantizar que las actividades

sean ejecutadas a tiempo, para lo cual se debe trabajar de manera colaborativa con todo el equipo responsable de la obra, llegando establecer compromisos de resolución. El no cumplimiento de esta fecha significa una falla en la gestión de las estrategias implementadas. En este sentido, el análisis de las restricciones liberadas (RL) permite medir de manera indirecta la efectividad de las reuniones de planificación (Pons & Rubio, 2019).

$$RL = \frac{\text{Restricciones liberadas a tiempo}}{\text{Restricciones identificadas por semana}} * 100$$

- Cronograma: plan maestro de los plazos para la ejecución de trabajos en la obra, dividido en partidas, en función del plazo contractual otorgado. Tradicionalmente se elabora utilizando el método PERT-CPM, con el cual se establece una representación gráfica de las operaciones que intervienen en el proyecto y su duración, donde además es posible divisar aquellas actividades que se encuentran en la ruta crítica (Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado, s.f.).
- Partida: desglose en parte de los trabajos que engloban la ejecución de un proyecto, con lo cual se puede cuantificar, presupuestar y pagar una obra. Cada partida consta de un nombre, unidad de medida, metrado y normas o cláusulas que definen la manera de hacer la medición (Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado, s.f.).
- Sectorización: División del área total de la obra en sub sectores, lo que permite gestionar los frentes de trabajo de manera separada. Es una técnica frecuentemente utilizada para gestionar las actividades de diferentes frentes de trabajo de manera coordinada (Dávila & Pereda, 2021).

- Expediente técnico: Documento vinculado a una obra de construcción, el cual contiene las características y detalles que especifican el producto a obtener mediante la ejecución del proyecto. Típicamente contiene la memoria descriptiva, las especificaciones técnicas, planos, metrados, costos referenciales y calendario de ejecución (Hidalgo, 2017).
- Gestión de obra: Metodología que hace uso de la ingeniería para maximizar los recursos y disminuir los costos; consiste en aplicar conocimientos, habilidades, técnicas y herramientas en los procedimientos y actividades del proyecto, pudiendo estas ser estos en agrupados en las fases de planeamiento, ejecución, control y cierre (Hidalgo, 2017).
- Rendimiento: velocidad con que se obtiene un producto, lo cual depende del uso de personal, materiales, herramientas y equipos. En el ámbito de la construcción, se suele emplear la “horas hombre por unidad de producción” como medida de rendimiento (Kuran, 2021).
- Sistema Pull: Sistema de producción en el que se conoce la cantidad exacta de material requerido, en el momento preciso y lugar indicado, de manera tal que no existen excesos de inventarios ni movimientos innecesarios para realizar el proceso asociado, de manera que se evitan los desperdicios por sobreproducción o sobrealmacenamiento de insumos (Calua, 2021).

2.3. Justificación

2.3.1. Justificación por implicaciones prácticas

Teniendo en cuenta lo planteado en la realidad problemática, al llevar a cabo la investigación e implementar las medidas correctivas que en ella se habrán de

formular, se espera que el avance de la obra ocurra de manera óptima, cumpliendo principalmente con los tiempos de ejecución contractuales ya establecidos, lo que al mismo tiempo implica un correcto desempeño económico para la empresa en cuanto a calidad del servicio ofrecido.

2.3.2. Justificación por utilidad metodológica

Al llevar a cabo la investigación se realizará una evaluación del modelo de gestión actual y su contraste con lo establecido en la metodología Lean Construction y la técnica Last Planner System, para lo cual se hace necesario analizar las prácticas constructivas llevadas a cabo en la obra, poniendo en contexto las costumbres y prácticas de las empresas de construcción del Perú para finalmente amalgamar estas a los lineamientos de métodos gerenciales no tradicionales destinados a una mejor productividad, eficacia y eficiencia en la ejecución de proyectos de construcción. Los resultados obtenidos con los procedimientos a implementar servirán de base a futuros emprendimientos de la empresa ejecutora y a cualquier otra que requiera una optimización de sus procesos constructivos.

2.3.3. Justificación económica

Considerando el ambiente altamente competitivo de los mercados, cada vez más se hace necesaria la capacidad de llevar a cabo la ejecución de proyectos de manera eficiente, manteniendo un nivel de desempeño que permita a las empresas competir frente a otras. Los niveles de productividad no solo

atestiguan la capacidad de llevar a cabo los requisitos particulares de una obra, sino que ponen en manifiesto la calidad de trabajo de la empresa, lo cual es tomado como referencia por los entes contratantes al momento de decidir la ejecución de futuros proyectos. La finalización de la obra tomada como caso de estudio dentro de los plazos contractuales preestablecidos permitirá a la empresa gozar de la rentabilidad económica esperada con la ejecución del proyecto, así como servir de referencia para la futura contratación de obras.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la planificación con Last Planner System en el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa.

2.4.2. Objetivos específicos

- Realizar el master plan con los hitos de control en el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa.
- Realizar la planificación Look Ahead en el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa.
- Realizar la planificación del Weekly plan del proyecto.
- Realizar los cálculos de los Porcentaje del Plan Cumplido (PPC).

- Determinar la incidencia de las Causas de No Cumplimiento (CNC) sobre el PPC en el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa.
- Determinar la mejora que produce la técnica Last Planner System sobre el Schedule Performance Index (SPI) en el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño del estudio

La investigación emplea un diseño experimental, dado por hecho la manipulación de la variable de forma premeditada para observar el efecto producido. Dentro de este tipo de diseños, se considera de tipo cuasi experimental, dado que no existe un grupo de control (Hernandez *et al.*, 2014). De esta manera, el estudio abarca un análisis de la situación de la obra antes y después de hacer uso de la técnica Last Planner, a fin de evaluar el efecto producido en el desarrollo de la obra. Aunado a lo anterior, según su finalidad, la investigación es de tipo aplicada, mientras que, en función al diseño de contrastación y el alcance, posee un nivel explicativo.

3.2. Población

La población de estudio viene a estar conformada por las partidas de obra ejecutadas semanalmente durante la construcción del proyecto el proyecto de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa.

3.3. Muestra

Las partidas de demolición, movimientos de tierra y conformación de pavimentos.

3.4. Operacionalización de variables

Variable independiente: Last Planner System

Variable dependiente: Planificación

La operacionalización de cada variable del estudio se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Independiente: <i>Last Planner System</i>	Técnica asociada a la mejora del proceso constructivo que forma parte de la filosofía <i>Lean Construction</i> , empleada para la reducción de costos y plazos de ejecución, basándose fundamentalmente en el ciclo de Deming: Planificar, Hacer, Comprobar, Actuar (Álvarez et al., 2019)	Se refiere a la elaboración de planes particulares que permitan controlar las variaciones en las secuencias de trabajo, identificando los requerimientos previos para llevar a cabo las tareas y haciendo una programación de actividades subsecuente.	Actividades Planificadas	Hojas de medición	N°
			Actividades cumplidas	Hojas de medición	N°
			Avance programado	Hojas de medición	S/
			Avance logrado	Hojas de medición	S/
Dependiente: Planificación	Herramienta fundamental en la administración de un proyecto, cuyas decisiones marcan el rumbo de la construcción; al planificación se encarga de garantizar que las tareas sean realizadas en el momento y lugar indicado (Gutiérrez et al., 2021)	Proporciona asignación de recursos que se reflejan en el desempeño de los procesos, tales como el costo asumido, el tiempo empleado y las medidas de control utilizadas	SPI	Hojas de medición	N°
			PPC	Hojas de medición	%
			CNC	Hojas de medición	N°
			RL	Hojas de medición	%

3.5. Procedimientos y técnicas

3.5.1. Procedimientos

- Primeramente, se recabó información sobre las características de la obra y la planificación base respecto a la duración del proyecto y el cronograma de avance. Así mismo, se recabó información de campo respecto a las labores ejecutadas en la obra, los procedimientos e insumos empleados y la producción obtenida de manera semanal, utilizando las fichas de recolección de datos elaboradas para tal fin.
- Los problemas encontrados en las fases anteriores de la ejecución fueron analizados y discutidos en reunión con los encargados de la obra, donde se plantearán las medidas correctivas y la forma de llevar estas a cabo haciendo uso de la técnica Last Planner System. En función de los acuerdos logrados se estableció un nuevo cronograma semanal de producción para las siguientes semanas de ejecución. Se implementaron las medidas acordadas durante el lapso establecido, tiempo durante el cual se realizarán nuevas mediciones respecto a los indicadores de productividad obtenida semanalmente.
- Finalmente, se llevó a cabo una comparación ente los resultados obtenidos durante la gestión original de la obra y aquellos logrados mediante la implementación formulada, en base a lo cual se hará el contraste de la información y se establecerán las conclusiones de la investigación.

3.5.2. Técnicas

Se empleó la revisión documental, mediante la cual se indagarán características de la obra tales como: descripción general, duración, especificaciones técnicas, partidas en ejecución, cronograma de obra planificado, características del sitio de ejecución, entre otros datos relevantes que describen la productividad requerida en la ejecución de los trabajos, los cuales fueron obtenidos de la revisión del expediente técnico del proyecto.

Igualmente, se empleó la técnica de observación directa, mediante la cual se recolectó información sobre la productividad realmente obtenida en la ejecución de la obra bajo la gestión actual, así como también aquella que resultó de la implementación de las mejoras formuladas en el desarrollo del presente estudio. Los datos fueron registrados con el uso de fichas de observación y tabulados para su presentación (anexos 2 y 3), con lo cual se realizará la medición de los indicadores de desempeño de la obra.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Se utilizó la estadística descriptiva para ilustrar el desempeño de la obra en relación a las cantidades ejecutadas en cada partida. Se utilizaron tablas y graficas de frecuencia para tal fin, elaborados en el programa Excel. Aunado a ello, el estudio de vale del análisis numérico de indicadores, por lo que se utiliza un enfoque cuantitativo para la contratación de los resultados.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico inferencial a fin de comparar las medias obtenidas en el desempeño de la obra, antes y después de la implementación,

por medio de la prueba estadística t de Student, con un 95% de confianza. En análisis fue llevado a cabo empleando el programa SPSS versión 25.

3.7. Consideraciones éticas

Se contó con autorización de la empresa ejecutora del proyecto para la evaluación de información relacionada a la gestión de la obra, el expediente técnico, la toma de datos en campo y la participación del personal. Se mantuvo el anonimato de las personas que resultaron involucradas en las actividades conexas a la investigación, y en ningún caso se actuó de manera que resultara en actos denigratorios, de racismo o discriminación en cualquiera de sus formas. El desarrollo de la investigación de campo se realizó sin que resultara contraproducente para el desarrollo normal de los trabajos. Así mismo, se respeta la propiedad intelectual de los autores consultados en el desarrollo de la investigación, utilizando estilos de citación acordes al reglamento de grado.

IV. RESULTADOS

4.1. Resumen del proyecto y preparación del *Last Planner System*

La obra “Mejoramiento de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa” contempla la ejecución de 35 km de carretera a nivel de carpeta asfáltica en caliente. Las partidas a evaluar en la investigación involucran principalmente dos secciones principales, el movimiento de tierras y la conformación del pavimento.

El proyecto dio inicio en el mes de septiembre de 2021, siendo que, en los primeros tres meses de ejecución, los avances logrados estuvieron a la par de la programación general del proyecto. Sin embargo, la obra se suspendió desde enero a mediados de abril por la temporada de lluvias. A partir de ese entonces, la producción empezó a verse disminuida por problemas en la planificación de actividades y la logística asociada a ello, destacando también protestas realizadas por las comunidades aledañas al proyecto, que dificultaron los trabajos por varios días, así como también huelgas realizadas por los trabajadores por retrasos en la fecha de pago, lo que al mes de mayo de 2022 se veía traducido en un 10% de retraso respecto al cronograma general.

Es menester puntualizar que la dirección de la obra se daba según los métodos tradicionales, por lo que:

- Se conocía la fecha de finalización de la obra según el contrato, pero cada actividad era ejecutada de forma descoordinada, sin metas e hitos de producción

- No se realizaban reuniones para coordinar las actividades entre los distintos encargados del proyecto y los diversos frentes de trabajo.
- El flujo de información respecto a requerimientos o decisiones era ineficiente, las decisiones se tomaban entre pocas personas, por lo que otros miembros del equipo de trabajo las desconocían.
- Información no actualizada en tiempo real, reportes diarios incongruentes, retraso en la presentación de valorizaciones por falta de información.
- Retrabajos por una gestión de calidad ineficiente

Esta situación motivó un cambio en la dirección de la obra, pasando a implementar la técnica *Last Planner System* con el propósito de mejorar la planificación de los trabajos y aumentar la productividad. Es así que previo a la implementación del método se precisaron las siguientes acciones:

- Acondicionamiento de un salón para las reuniones de planificación
- Capacitación introductoria sobre *Last Planner System* al personal clave de la obra
- Recopilación y actualización de la información administrativa de la obra
- Convocatoria y preparación de las reuniones de planificación colaborativa

4.2. Elaboración del *Master plan* e hitos de control

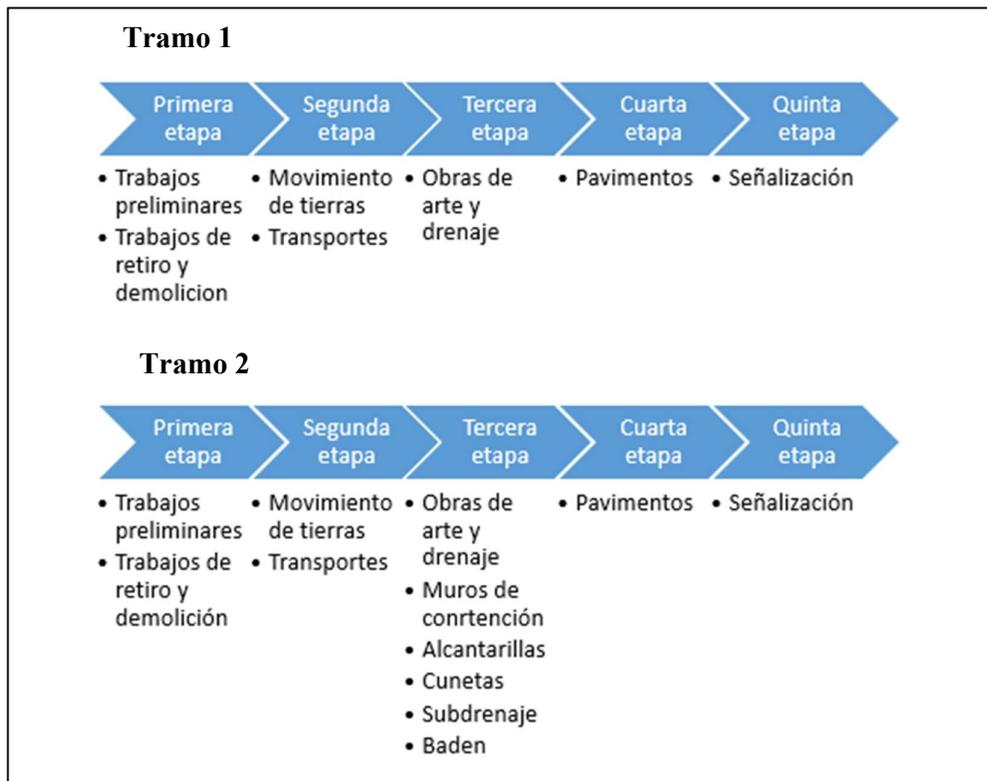
Para la elaboración del plan maestro se procedió a definir el tren de actividades a ejecutar en la obra. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

- Sectorización: La obra se desenvuelve en dos frentes principales de trabajo, denominados “Tramo 1” y “Tramo 2”. Cada sector ocupa las siguientes progresivas:

- Tramo 1: Km 0+000 al Km 11+000; Km 12+000 al Km 22+000; Km 23+000 al Km 36+920 y Ramal 02 Km 0+000 al Km 0+360
- Tramo 2: Km 84+000 al Km 98+500
- Secuencia de construcción: Se estableció a grandes rasgos el orden lógico de la construcción, visualizando de manera general cómo avanzar con el proyecto. Con esta información se realizó el esquema que se muestra en la figura 7.

Figura 7

Secuencia de la construcción



- Plazos de ejecución: se computaron primeramente las cantidades de obra ejecutadas y aquellas que faltaban por ejecutar según los metrados en el expediente técnico de la obra, en base a lo cual se establecieron los hitos para

cada partida. A manera de resumen, la tabla 3 muestra las partidas que formaron parte del presente estudio, ya que las demás mencionadas en el expediente de la obra se encuentran sin ejecución. Siguiendo la filosofía *Lean*, esto corresponde a “lo que debe hacerse” para finalizar el proyecto en los términos previstos.

Tabla 3

Hitos del plan maestro

Partida	Cantidad por ejecutar	Duración en días	Inicio	Fin
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Desbroce y limpieza	21.66 HA	121	1/6/2022	30/9/2022
Corte en material suelto	152,877.82 M3	152	1/6/2022	31/10/2022
Corte en roca suelta	8,524.42 M3	121	1/8/2022	30/11/2022
Corte en roca fija	5,074.83 M3	121	1/9/2022	31/12/2022
Perfilado y compactación de sub-rasante	233,241.60 M2	182	1/6/2022	30/11/2022
Conformación de terraplén con material propio	75,522.47 M3	244	1/6/2022	31/1/2023
Conformación de terraplén con material de préstamo	259,535.12 M3	211	1/9/2022	31/3/2023
Mejoramiento de suelos con relleno de grava	4,797.00 M3	60	1/10/2022	30/11/2022
Geotextil tejido integral de alto modulo para mejoramiento	13,525.00 M2	60	1/10/2022	30/11/2022
PAVIMENTOS				
Sub base granular	125,907.56 M3	150	1/11/2022	31/3/2023
Base granular	81,931.80 M3	150	1/12/2022	30/4/2023
Imprimación con emulsión asfáltica	466,817.37 M2	150	1/1/2023	31/5/2023
Riego de liga	466,817.37 M2	149	1/2/2023	30/6/2023
Carpeta asfáltica en caliente e=7.50 cm	35,011.30 M3	149	1/2/2023	30/6/2023
OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	12,286.35 M3	60	1/6/2022	31/7/2022
Relleno compactado para estructuras con material propio	5,367.02 M3	182	1/6/2022	30/11/2022
Eliminación de material excedente en sitio	7,717.06 M3	183	1/8/2022	31/1/2023
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	1,607.27 M	60	1/6/2022	31/7/2022
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	655.85 M	60	1/6/2022	31/7/2022

En el anexo 1 se muestra de forma gráfica como se ubican las tareas según el cronograma maestro elaborado.

Una de las dificultades para la elaboración del plan maestro fue que mucha de la información del expediente técnico de la obra no coincide con la realidad, habiendo planos con incongruencias o la falta de detalles constructivos, partidas con cantidades de obra erradas y deficiencias en las especificaciones técnicas. Por lo tanto, muchos datos fueron tomados en base a la experiencia conjunta de quienes participaron en las sesiones de planificación.

4.3. Planificación *Look Ahead* y análisis de restricciones

En el presente caso, la programación *Look Ahead* se realizó para periodos de cinco semanas, lo que equivale aproximadamente a un mes calendario, de manera que lo planificado coincidiera con la presentación de las valorizaciones de la empresa al ente contratante. La figura 8 muestra la planificación elaborada para el mes de junio 2022, partiendo de las partidas señaladas en la planificación maestra para tal periodo, pero considerado aquellas que no tienen impedimentos para ser ejecutadas. Para el caso de estudio, esto corresponde a las actividades que ya se venían realizando previa la implementación del *last planner*.

En base a lo anterior, se encontraron 8 partidas en ejecución, correspondiente al movimiento de tierra para la conformación de la vial y obras de arte y drenajes. Para este último caso, las tareas ejecutadas fueron excavaciones y la colocación de alcantarillas de drenaje, en este sentido, se observa que las actividades son complementarias entre sí con las de movimiento de tierra y podían ser ejecutadas simultáneamente. En esta parte de la planificación, las cantidades de obra mencionada corresponden con el rendimiento esperado para poder cumplir con los hitos establecidos en la planificación maestra.

Figura 8

Planificación Look Ahead – Junio 22

PROGRAMACION LOOK AHEAD - JUNIO 2022																																
ACTIVIDAD	CANT	UND	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
			Semana 27					Semana 28					Semana 29					Semana 30					Semana 31									
			MM	J	V	S	D	L	M	MM	J	V	S	D	L	M	MM	J	V	S	D	L	M	MM	J	V	S	D	L	M	MM	J
TRAMO 1																																
MOVIMIENTO DE TIERRAS																																
Desbroce y limpieza	4.79	HA	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			0.5	0.285																	
Corte en material suelto	25434.72	m3	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26	978.26
Perfilado y compactación de sub-rasante	27864.47	m2	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	1071.7	
Conformación de terraplén con material propio	7153.71	m3	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	275.14	
OBRAS DE ARTE Y DRENAJE																																
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	370.32	m3	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	14.24	
Relleno compactado para estructuras con material propio	1264.26	m3	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	48.63	
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	380.21	m	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	181.75	m	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	6.99	
TRAMO 2																																
OBRAS DE ARTE Y DRENAJE																																
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	3,362.48	m3	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	129.33	
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	460.88	m	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	17.73	
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	61.80	m	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	

Nota. La tabla muestra la programación para el mes de junio 2022 de acuerdo al plan maestro y las cantidades de obra que se espera ejecutar.

Seguidamente, se procedió identificar las restricciones para tales actividades, fijar a los responsables de levantar las restricciones y las fechas límites para que fueran levantadas. Para ello se utilizó el formato mostrado en la figura 9.

Figura 9

Formato de identificación y seguimiento de restricciones

REGISTRO DE RESTRICCIONES									
Proyecto: Mejoramiento de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa									
ACTIVIDAD	RESTRICCION	TIPO DE RESTRICCION	PRIORIDAD	TIPO DE RESTRICCION	IDENTIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO				OBSERVACIÓN
					FECHA CREACION	FECHA LIMITE	FECHA LIBERACION	RESPONSABLE	
MOVIMIENTO DE TIERRAS									
Desbroce y limpieza									
Corte en material suelto									
Corte en roca suelta									
Corte en roca fija									
Perfilado y compactación de sub-rasante									
Conformación de terraplén con material propio									
Conformación de terraplén con material de préstamo									
Mejoramiento de suelos con relleno de grava									
Geotextil tejido integral de alto modulo para mejoramiento									
PAVIMENTOS									
Sub base granular									
Bases granular									
Imprimación con emulsión asfáltica									
Riego de liga									
Carpeta asfáltica en caliente e=7.50 cm									

Las restricciones detectadas en la ejecución de los trabajos se muestran a continuación en la tabla 4. Para efectos de la investigación, se ha omitido de dicha tabla las restricciones de personal obrero y maquinaria, dado que queda implícita su necesidad para realizar los trabajos, destacando entonces los requisitos de actividades previas para mostrar la dependencia con otras partidas, y aquellas actividades, materiales, equipos e información particular de la que depende la ejecución de la labor.

Tabla 4*Restricciones de las actividades desarrolladas en el proyecto*

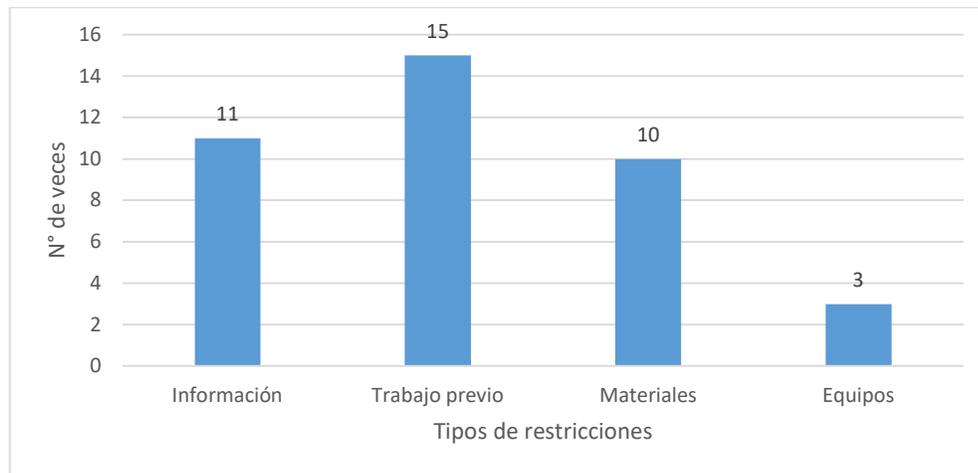
N°	Actividad	Restricción	Tipo de restricción
1	Desbroce y limpieza	Acceso al área de trabajo (permiso de intervención)	Información
2	Corte en material suelto	Área libre de desbroce	Trabajo previo
		Replanteo topográfico de secciones según expediente técnico	Trabajo previo
3	Corte en roca suelta	Área libre de desbroce	Trabajo previo
		Replanteo topográfico de secciones según expediente técnico	Trabajo previo
4	Corte en roca fija	Área libre de desbroce	Trabajo previo
		Replanteo topográfico de secciones según expediente técnico	Trabajo previo
5	Perfilado y compactación de sub-rasante	Área libre de desbroce	Trabajo previo
		Replanteo topográfico de niveles de referencia	Trabajo previo
		Camiones cisterna de agua para el riego de la superficie de compactación	Materiales
		Ensayo de calidad (Proctor modificado)	Información
6	Conformación de terraplén con material propio	Replanteo topográfico de niveles de referencia	Trabajo previo
		Ensayo de calidad de material	Información
7	Conformación de terraplén con material de préstamo	Replanteo topográfico de niveles de referencia	Trabajo previo
		Ensayo de calidad de material	Información
8	Mejoramiento de suelos con relleno de grava	Ensayo de calidad de material (granulometría)	Información
		Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales
9	Geotextil tejido integral de alto modulo para mejoramiento	Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales
10	Sub base granular	Ensayo de calidad de material (granulometría)	Información
		Camiones cisterna de agua para el riego de la superficie de compactación	Materiales

Nº	Actividad	Restricción	Tipo de restricción
		Replanteo topográfico con niveles de referencia, trazo horizontal y vertical	Trabajo previo
		Ensayo de calidad de la superficie (Proctor modificado)	Información
11	Base granular	Ensayo de calidad de material	Información
		Camiones cisterna de agua para el riego de la superficie de compactación	Materiales
		Replanteo topográfico con niveles de referencia, trazo horizontal y vertical	Trabajo previo
		Ensayo de calidad de la superficie (Proctor modificado)	Información
12	Imprimación con emulsión asfáltica	Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales
		Camión imprimador	Equipos
13	Riego de liga	Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales
		Superficie imprimada	Trabajo previo
		Superficie libre de polvo	Trabajo previo
14	Carpeta asfáltica en caliente e=7.50 cm	Ensayo de calidad de material	Información
		Equipo de compactación	Equipos
		Ensayo de calidad (IRI)	Información
15	Excavación para estructuras material suelto c/maq.	Replanteo topográfico de secciones según expediente técnico	Trabajo previo
16	Relleno compactado para estructuras con material propio	Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales
17	Eliminación de material excedente en sitio	Equipos para el acarreo y transporte del material	Equipos
18	Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales
19	Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	Suministro de material según especificaciones técnicas	Materiales

A modo de detalle, se presenta el gráfico de la figura 10, el cual muestra cómo se distribuyen los tipos de restricciones detectadas en el proyecto.

Figura 10

Formato de identificación y seguimiento de restricciones



Nota. El gráfico muestra los tipos de restricciones identificadas en el *look ahead* elaborado.

Se observa que el tipo de restricción más repetido es la de trabajos previos, en este caso particular, el replanteo topográfico cobra una gran importancia, ya que de ello depende que los trabajos de movimiento de tierras se realicen en el sitio adecuado y en la cantidad adecuada, lo cual es vital para evitar la sobre ejecución de la partida. Para otros casos, este tipo de restricciones revela la prelación que se debe cumplir para realizar una tarea, lo que da la pauta del tren de trabajo en la obra, como, por ejemplo, que el área se encuentre libre de desbroce para poder hacer el perfilado y la compactación. Por su parte, para levantar dichas restricciones, se consideraron las siguientes acciones según las partidas involucradas

Tabla 5*Acciones llevadas a cabo para levantar las restricciones*

Restricción	Solución
Acceso al área de trabajo (permiso de intervención)	Actualizar estatus de trámites pendientes y dar seguimiento
Área libre de desbroce	Identificar las áreas donde se requiere la actividad, coordinar ejecución
Replanteo topográfico de secciones según expediente técnico	Replanteo topográfico in situ
Replanteo topográfico de niveles de referencia	Replanteo topográfico in situ
Camiones cisterna de agua para el riego de la superficie de compactación	Estimar cantidad de camiones requeridos, coordinar maquinaria disponible
Ensayos de materiales	Coordinar personal para la toma de muestras
Suministro de material según especificaciones técnicas	Coordinar toma de muestras para ensayos
Replanteo topográfico con niveles de referencia, trazo horizontal y vertical	Habilitar equipos, verificando certificado de calibración

También es de notar que las actividades se solapan entre sí, no requiriendo que se ejecuten completamente antes de iniciar con la siguiente, sino que se va avanzando a lo largo del trayecto de la vía.

4.4. Planificación semanal *Weekly plan*

Se procedió a colocar en la planificación semanal solo aquellas actividades que se tiene la certeza de que puedan ser ejecutadas, es decir, que no presenten restricciones o que estas ya hayan sido levantadas. Así, la figura 11 muestra la programación de la primera semana de trabajo.

Figura 11

Weekly plan – Semana 27

PROGRAMACION SEMANAL												
PROYECTO: Mejoramiento de la carretera Vizcachani – Callalli, provincia de Caylloma, región Arequipa												
N°	Actividad	Und	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	SEMANA: 27			
			30-may	31-may	1-jun	2-jun	3-jun	4-jun	Cantidad planificada	Cantidad ejecutada	% Ejecución	
Tramo 1												
	Conformación de terraplén con material de préstamo				640.00	640.00	640.00	640.00		2560.00	1877.55	73%
	Excavación para estructuras material suelto c/maq.				120.00	120.00	120.00	120.00		480.00	180.44	38%
	Relleno compactado para estructuras con material propio				275.14	275.14	275.14	275.14		1100.57	70.22	6%
	Eliminación de material excedente en sitio				30.00	30.00	30.00			90.00	110.22	122%
	Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m				14.62	14.62	14.62	14.62		58.49	47.20	81%
	Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m				10.00	10.00	10.00			40.00	14.21	36%
Tramo 2												
	Desbroce y limpieza				0.50					0.50	0.83	166%
	Corte en material suelto				460.00	460.00	460.00			1380.00	1548.76	112%
	Corte en roca suelta									920.00	2340.42	254%
	Excavación para estructuras material suelto c/maq.				129.33	129.33	129.33			387.98	420.00	108%
	Relleno compactado para estructuras con material propio				100.00	100.00	100.00			300.00	321.89	107%
	Eliminación de material excedente en sitio							80.00		80.00	98.11	123%
	Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m				20.00	20.00	20.00	20.00		80.00	40.00	50%
	Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m				10.00	10.00	10.00			30.00	20.30	68%

Como producto del análisis de restricciones en cada partida, surgieron diferencias significativas respecto a la planificación maestra y el *look ahead*, entre lo que destaca lo siguiente:

- Se encontraron incongruencias con los planos del expediente técnico sobre las secciones transversales del terreno y la ubicación de la poligonal de apoyo, por lo que no se pudo incluir otras labores sin corregir el alineamiento topográfico. Este tipo de incongruencias entre lo planificado a nivel general y las características reales del terreno son unas de las principales demoras que enfrenta el proyecto. Necesitando corregir y ajustar tales especificaciones, las labores se concentran en la conformación de terraplenes en las áreas habilitadas del tramo 1 y en avanzar las labores de corte en el tramo 2.
- Al verificar la calidad del material obtenido en las excavaciones, este no cumple con las especificaciones técnicas, por lo que se debió utilizar material de préstamo para la conformación del terraplen. En vista de ello, se debió incorporar la partida de eliminación de material excedente.
- Se decide entonces concentrar mayores esfuerzos en el tramo 2, pasando a incorporar las partidas de desbroce y corte dada la disponibilidad de la

maquinaria. De manera similar al tramo anterior, el material excedente debió de retirarse.

- Nuevamente, fallas en la calidad obliga al retrabajo en las obras de compactación del material granular. Por esta razón, la partida se ejecutó en menor cantidad de lo esperado, mientras que restó oportunidad para cumplir con la meta acordada en la colocación de las tuberías de drenaje.
- Para la semana 31 de la obra, se retoman las actividades de desbroce, corte y perfilado en el tramo 1. Así mismo, en el tramo 2 se inicia la conformación de terraplenes en las áreas disponibles.

Para este momento de la planificación, se han ajustados los avances de obra en función de los rendimientos obtenidos en las semanas anteriores, siendo ahora más conscientes de los factores que intervienen en el desenvolvimiento de la obra. En este sentido, a medida que se llevó el control de las labores planificadas y ejecutadas semana a semana, se fue afinando la predicción de los rendimientos en obra. Ello se muestra en un aumento en los porcentajes de obra ejecutada en el tramo 1 en comparación a la primera semana de planificación.

Cabe resaltar que la partida de corte en roca fija no ha sido incluida en la programación pues la presencia de esta condición en campo no coincide con la descripción preliminar del proyecto según el expediente técnico, presentándose en zonas fuera de lo estipulado, requiriendo aprobación de la supervisión pues los metrados se verán alterados. Por esta razón se observa que las cantidades de obra ejecutada en las partidas de corte en el tramo 2 se presenta en menores porcentajes a lo planificado.

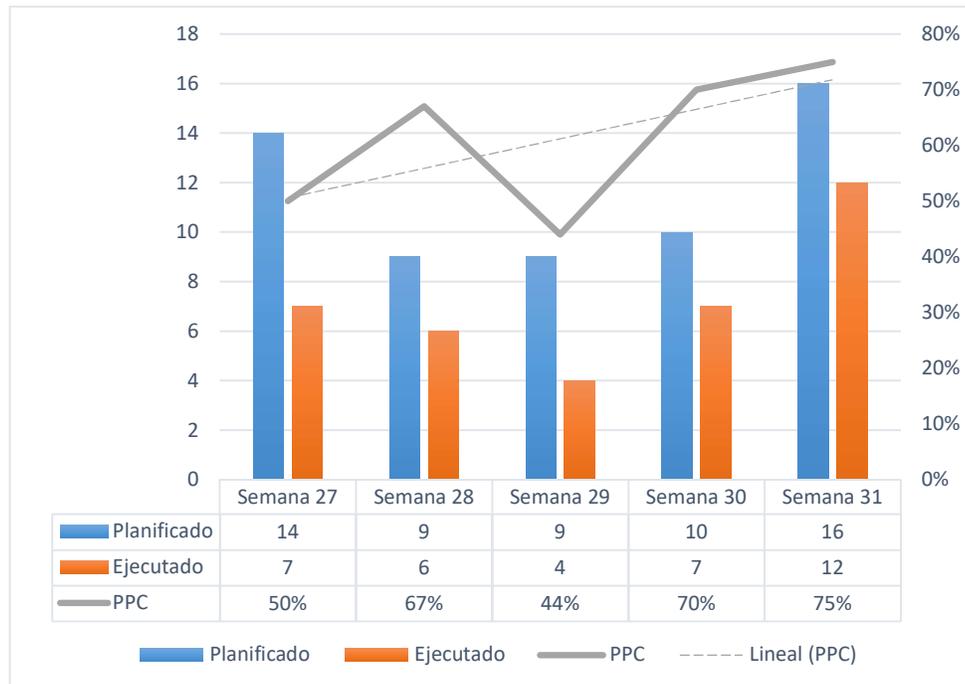
De manera similar, la partida de conformación de terraplenes con material propio no se ejecuta dado que el material disponible no cumple con las especificaciones técnicas requeridas. Esto ha motivado que se dependa del material proveniente de las canteras aprobadas para la ejecución de la obra.

4.5. Porcentaje de plan cumplido

En base a lo anteriormente expuesto, la planificación de labores resulta en un proceso dinámico que gira en torno al levantamiento de restricciones, sin embargo, la efectividad de las decisiones tomadas se determina por medio del indicador de plan cumplido. En la figura 12 se muestra los resultados de las semanas consideradas en el *look ahead*, realizado a partir del comportamiento observado en las partidas ejecutadas (Anexo 2).

Figura 12

Porcentaje de plan cumplido (PPC)



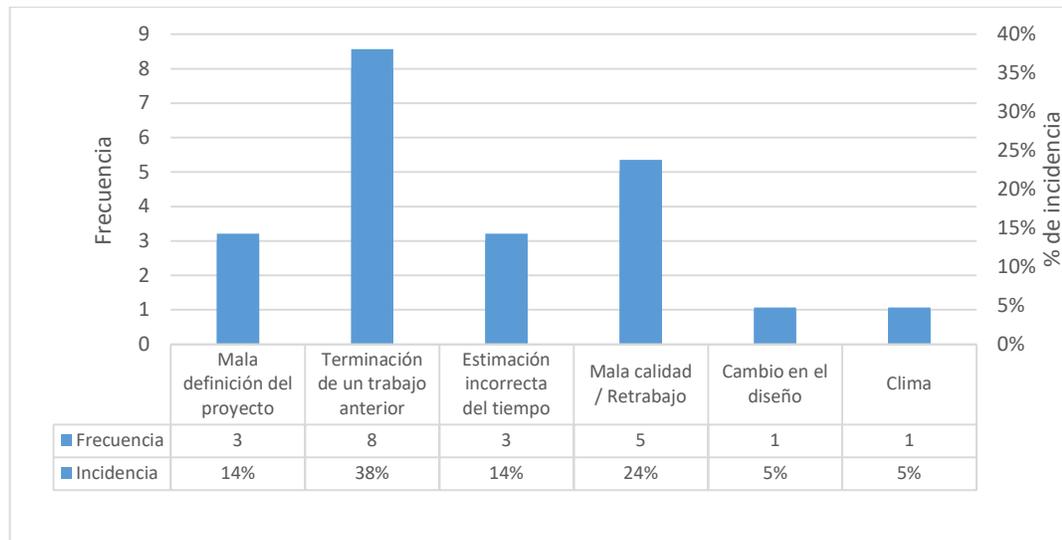
Se observa que la relación entre lo programado y lo realmente ejecutado presentó una tendencia positiva, como muestra la línea punteada en azul dentro de la figura, pasando de 50% a un 75%. Se interpreta que a medida que el equipo de trabajo se acostumbra a la planificación semanal con el análisis de restricciones, se incrementa también el acierto de las tareas cumplidas. Considerando los resultados obtenidos semana a semana, en promedio, el porcentaje de plan cumplido en todo el periodo evaluado fue del 61%. El análisis de las causas que impidieron que las tareas se ejecutaran según lo programado en su totalidad se comenta en la próxima sección.

4.6. Incidencia de las causas de no cumplimiento

En el anexo 1 se muestran las razones por las que las partidas no fueron ejecutadas en su totalidad aun cuando se encontraban libres de restricciones. Con el porcentaje de plan cumplido quedó establecido que con el empleo de la técnica de *Last Planner* hubo una tendencia a disminuir la cantidad de partidas no ejecutadas en su totalidad, de lo que al examinar las causas de no cumplimiento podemos detectar las fallas que persisten en la organización de las labores. Para ilustrar el punto anterior se construyó la tabla 6, la cual muestra las razones de no cumplimiento semana a semana en el periodo evaluado, mientras que la figura 13 resume la información encontrada.

Tabla 6*Tipos de CNC ocurridas en el periodo evaluado*

Semana	N° Tareas no cumplidas	Causas
Semana 27	7	Mala calidad / Retrabajo Mala definición del proyecto Terminación de un trabajo anterior Estimación incorrecta del tiempo
Semana 28	4	Mala calidad / Retrabajo Terminación de un trabajo anterior Cambio en el diseño
Semana 29	5	Mala definición del proyecto Terminación de un trabajo anterior
Semana 30	2	Mala calidad / Retrabajo Clima
Semana 31	4	Estimación incorrecta del tiempo Terminación de un trabajo anterior Mala calidad / Retrabajo

Figura 13*Frecuencias e incidencias de las causas de no cumplimiento*

Se tuvo como resultado que la falta de terminación de un trabajo anterior fue la causa más repetida, con ello, si una partida no era ejecutada en su totalidad según lo planeado, la actividad subsecuente se veía afectada. Esto fue típico en las

actividades de excavación, compactación y el desalojo del material excedente, pues entre ellas hay una dependencia directa.

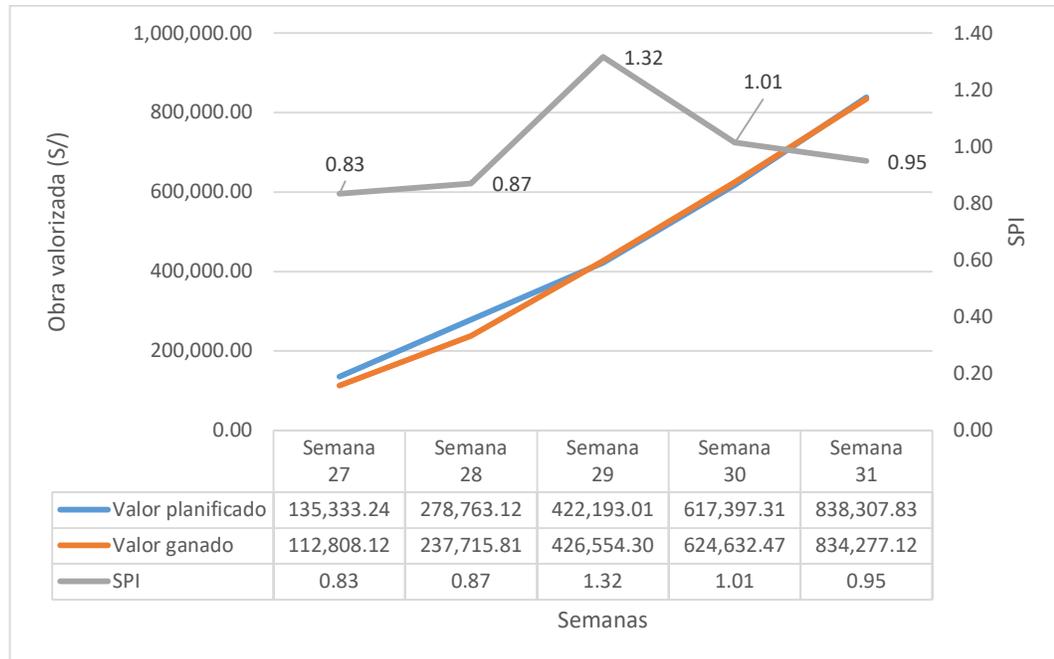
De manera similar, los retrabajos por motivos de calidad fueron la segunda causa, lo que viene a ser actividades que demoraron más tiempo del previsto y, por lo tanto, su rendimiento fue bajo y no se completó el metrado planificado. Tal problema motivo la solicitud de personal adicional para la realización de ensayos de calidad. Luego, en tercer lugar, se presentaron malas definiciones en el proyecto y estimaciones incorrectas del tiempo. En estos dos particulares, fue común la presencia de material tipo roca en un porcentaje mucho mayor que los previstos, no coincidiendo incluso con las bases del expediente técnico del proyecto.

4.7. Incidencia sobre el *Schedule Performance Index* del proyecto

Para medir la incidencia de la técnica de *Last Planner* sobre la productividad se computaron los totales de obra ejecutada durante el periodo de evaluación, lo cual, como se dijo anteriormente, coincide con la presentación de las valorizaciones del proyecto. En este sentido, el indicador *Schedule Performance Index* o SPI está relacionado a la gestión tradicional de la obra, pues a diferencia del porcentaje del plan cumplido, este mide la desviación entre lo planificado y lo ejecutado. El resultado obtenido se muestra en la figura 14.

Figura 14

Schedule Performance Index obtenido

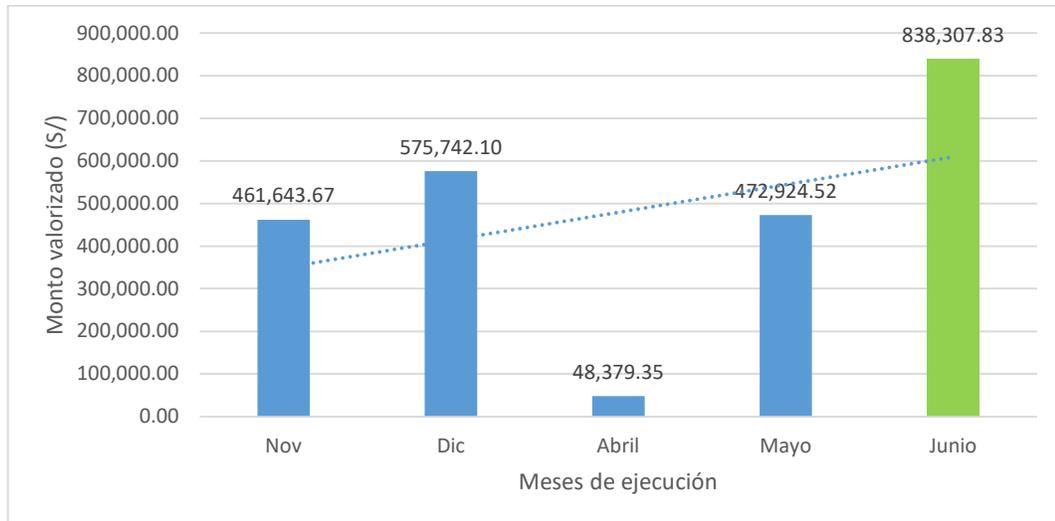


Se observa que las primeras dos semanas el indicador obtenido fue menor a la unidad, lo que significa que la obra estuvo retrasada en función de la planificación elaborada. Para la tercera semana, se obtuvo un SPI de 1.32 puntos, lo que significa que la obra tuvo una productividad mayor a la planificada, y pudo sobreponerse a los retrasos anteriores. En la cuarta semana, también se obtuvo un avance mayor a lo previsto, pero sucedido nuevamente de producción menor. Finalmente, el valor ganado acumulado para la última semana fue de S/ 834,277.12 frente a un valor planificado de S/ 838,307.83, una desviación de -0.48%.

Finalmente, si se compara el avance de obra logrado con la implementación del *Last Planner System* con el de los meses anteriores, la valorización de los trabajos ejecutados resulta superior, tal como muestra la figura 15.

Figura 15

Avances de obra valorizados



Se observa que durante el mes se obtuvo una valorización mucho mayor que el de meses anteriores, siendo un 77% mayor que en el mes de mayo. Sin embargo, resulta prudente destacar las afectaciones externas producidas en esos meses tal como se comentó en el punto 4.1 del presente capítulo, como el caso de las protestas en las comunidades aledañas al proyecto o las huelgas realizadas por los trabajadores, por lo tanto, es discutible comparar los resultados de manera directa cuando no se tiene igualdad de condiciones. Así, por ejemplo, resulta irreal comparar lo obtenido con el mes de abril. No obstante, la línea de tendencia en el gráfico indica un comportamiento positivo, lo que refleja una mejora sostenida con el paso del tiempo y la implementación de la metodología.

Aunado a lo anterior, se presenta un análisis estadístico inferencial para determinar si los cambios producidos tras la implementación de la metodología de trabajo son significativos en comparación a los avances de obra obtenidos en meses anteriores,

empleando los valores reportados en las valorizaciones de la obra como se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Valores SPI antes y después de la implementación

Periodo	Programado	Ejecutado	SPI
	256,913.98	256,913.98	1.00
Pre test	2,534,597.08	3,260,247.31	1.29
	3,507,741.40	2,544,835.93	0.73
	2,554,151.22	103,075.04	0.04
Post test	135,333.24	112,808.12	0.83
	143,429.88	124,907.69	0.87
	143,429.88	188,838.50	1.32
	195,204.31	198,078.17	1.01

El análisis estadístico fue realizado en el programa SPSS versión 25, empleando un análisis de comparación de medias, para lo cual, primeramente, se hace necesario observar el comportamiento de los datos, aplicando la prueba estadística de Shapiro–Wilk, teniendo en consideración los siguientes supuestos:

- H_0 : los datos presentan una distribución normal
- H_1 : Los datos no presentan una distribución normal
- Nivel de confianza: 95%, significancia 5%

En base a lo anterior, si el p-valor obtenido es menor o igual a 0.05 se rechaza la hipótesis nula H_0 y se debe aceptar la hipótesis alternativa, debiendo proceder al análisis de medias mediante pruebas no paramétricas (Romero, 2016). El resultado obtenido se muestra en la figura 16.

Figura 16

Resultados prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pre_Test	,224	4	.	,953	4	,734
Post_Test	,246	4	.	,875	4	,320

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Se toma en consideración los resultados de la prueba Shapiro-Wilk, ya que los datos analizados son menores a 50 elementos (Romero, 2016). Resultados obtenidos en el programa SPSS.

Se observa que en ambos casos el p-valor obtenido (significancia) es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, siendo que los datos presentan una distribución normal. Por lo tanto, se realiza el análisis por medio de la prueba t Student para muestras pareadas (Molina et al., 2020), teniendo las siguientes hipótesis:

- H_0 : no hay una diferencia significativa entre las dos series de datos
- H_1 : hay una diferencia significativa entre las dos series de datos

Figura 17

Resultados prueba estadística inferencial

→ Prueba T					
Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Pre_Test	,7650	4	,53470	,26735
	Post_Test	1,0075	4	,22217	,11108

Correlaciones de muestras emparejadas					
		N	Correlación	Sig.	
Par 1	Pre_Test & Post_Test	4	-,355	,645	

Nota. Análisis realizado en el programa SPSS.

Se observa que el p-valor obtenido es mayor a 0.05, por lo tanto, se debe aceptar la hipótesis nula, es decir, que las series de datos analizados no presentan una diferencia estadísticamente significativa, pudiéndose considerar similares. En el contexto de la presente investigación, ello viene a significar que, aunque se observa una mejora parcial, no representa un aumento sólido en el desempeño de la ejecución de la obra. No obstante, se puede observar que la serie de datos correspondientes al post test presenta una desviación estándar menor que el pre test ($0.22217 < 0.53470$), lo que significa que la variabilidad de los resultados obtenidos periodo a periodo es menor, es decir, los resultados obtenidos son más consistentes.

V. DISCUSIÓN

La ejecución del proyecto de la carretera Vizcachani–Callalli en la provincia de Caylloma, Arequipa, ha presentado diversos problemas durante su ejecución que ha afectado negativamente la productividad según los avances de obra presentados al ente contratante. De acuerdo a la literatura especializada en el tema, dichos problemas son los típicamente encontrados en los modelos de gestión de proyectos tradicionales, por lo que se decidió utilizar la técnica del *Last Planner System* para corregir las deficiencias encontradas.

Al respecto de la consecución de los objetivos planteados, empezando por la creación del plan maestro, se empleó la sectorización de la obra en dos tramos, a fin de poder visualizar de forma más clara los requerimientos de cada zona por separado. Así mismo, se estableció el tren de trabajo considerando las partidas que se pueden ejecutar de forma simultánea, y cuales deben esperar a la finalización de la fase anterior.

Se encontró que el cronograma general del proyecto era muy conservador en cuanto a los rendimientos de cada partida y su secuencia de ejecución, a lo que se sumó las deficiencias en cuanto a actividades requeridas, pero no incluidas en el presupuesto. Por ello, cierta cantidad de partidas no han podido ser ejecutadas ni consideradas en la planificación futura, teniendo como ejemplo el mejoramiento de suelos o el corte en roca fija. Como síntesis de lo anterior, se coincide con lo encontrado por Torres (2019), quien establece que en las obras de vialidad desarrolladas en el contexto nacional presentan una cantidad considerable de fallas en los expedientes técnicos que generan problemas de productividad. Así mismo, según expone Saldaña (2022), para la elaboración del plan maestro se considera lo planteado en

el expediente técnico del proyecto, pero refinando los resultados en base a la experiencia propia proveniente de experiencias anteriores y las habilidades del grupo de trabajo.

En el caso del objetivo relacionado a la planificación intermedia (*lookahead*) y semanal (*weekly plan*), se encontraron actividades con restricciones que no pueden ser levantadas, como es el caso de los requerimientos de calidad del material granular in situ, por lo que se depende del transporte de material de préstamo para la ejecución de los trabajos. Por otra parte, al momento de realizar la planificación se tuvo que trabajar en función de los rendimientos esperados y los metrados en cada partida, no pudiendo confiar en los planos y otros datos del expediente técnico debido a incongruencias presentes en los mismos.

Sobre este aspecto, resalta lo señalado por Aroni y Mayhure (2022), quienes puntualizan que, en este tipo de obras, existe un grado de incertidumbre respecto al rendimiento de la mano de obra que es mucho más pronunciado que el de otros elementos e incluso dista con otros tipos de proyectos, siendo uno de los factores de mas difícil planificación. De ello se deduce que los rendimientos teóricos que son utilizados para la formulación del proyecto y presupuesto pueden estar significativamente alejados de la realidad, razón que incide en el desempeño de la ejecución de la obra, los indicadores de control y las valorizaciones a realizar.

Aunado a lo anterior, al sumar las incongruencias del expediente técnico, tuvo una incidencia directa en los resultados cuarto objetivo de la investigación, el porcentaje de plan cumplido, pues existió cierta incertidumbre al momento de establecer el metrado a realizar en una semana de programación. Sin embargo, este indicador no está relacionado con los avances de obra, sino con la capacidad de planeamiento de

los últimos planificadores del proyecto, tal como indican Pons y Rubio (2019). Es así, que se observó una mejora en este indicador con el paso del tiempo una vez se empezó a documentar y planificar a partir de lo reportado anteriormente, tal como muestra los resultados en la tabla 5. Así mismo, en relación a lo anterior, los autores Neyra (2021) y Nervi (2021) señalan la compatibilidad de la metodología Lean con el método BIM, de lo cual se obtiene como principal beneficio expedientes de obras con mayor calidad, mitigando los problemas en la fase de planificación debido a información errónea.

En relación al uso de indicadores para evaluar la eficiencia de la gestión, se concuerda con lo descrito por Cornejo et al. (2018), donde el uso de la metodología permite reducir la variabilidad de la producción. Así, en el gráfico de la figura 14 se puede observar que existió poca diferencia entre lo programado y lo ejecutado, medido también por el *Schedule Performance Index* obtenido en la última semana, con una variación de solo 0.48%. Tal comportamiento es superior al encontrado en periodos diferentes, donde para el caso de abril, la diferencia fue cercana al 10%. Bajo este contexto, se deduce que la disminución entre lo programado y lo ejecutado en combinación al monto valorizado demuestran un aumento en la productividad de la obra, entendiéndose como la capacidad de gestionar los recursos de forma adecuada para obtener resultados satisfactorios.

En cuando al porcentaje de plan cumplido, se obtuvo en promedio un rendimiento del 61%, como se señala a partir de los datos de la figura 12, estando ligeramente por debajo del promedio mundial, según señala Cabrera (2020). No obstante, se coincide en que los aspectos fundamentales que mejoran con la filosofía Lean es la

planificación colaborativa y la detección temprana de las causas de no cumplimiento ligado a la liberación de restricciones.

De acuerdo a Avalos (2021), una mejor gestión del proyecto conduce a la reducción de los tiempos de ejecución. En el presente caso, tal premisa no se ha cumplido de forma directa, pero, se logró acelerar la liberación de áreas por concepto de calidad cuando se solicitó la incorporación a la obra de personal adicional para realizar tal tarea, lo que permitió conocer más rápidamente el resultado. Sin embargo, los retrabajos perduraron pues en diversos casos no se alcanzaba el grado de compactación requerida. Aun así, en base a lo mostrado en la gráfica de la figura 15, se obtuvo una valorización superior a la de meses anteriores, siendo 77% superior a la del mes de mayo.

No obstante, se reconoce que existen perturbaciones en tal estimación, considerando también que las valorizaciones de obra se refieren a las partidas ejecutadas, y que ellas poseen distintos precios unitarios, por lo tanto, se puede dar el caso de que una partida se ejecute en mayor cantidad que en un periodo anterior, pero el peso de la misma (costo que se obtiene al multiplicar la cantidad ejecutada por su precio unitario) queda eclipsado por partidas más costosas que se ejecuten simultáneamente.

Finalmente, se procedió a determinar de manera estadística si el desempeño obtenido en la obra con la implementación del *Last Planner System* difiere de los avances obtenidos en lapsos anteriores. Se aplicó una prueba t de Student, encontrando que el valor de significancia supera el 5%, por lo tanto, no se puede considerar que el desempeño ha variado significativamente, aunque se evidencia una disminución porcentual en la variación entre lo planificado y lo obtenido.

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó la planificación maestra de la obra, considerando la división del proyecto en dos tramos, el establecimiento de etapas para fijar el tren de trabajo y los hitos de control, debiendo culminar la obra en un plazo de 10 meses aproximadamente.
- Para la planificación intermedia, se establecieron ventanas de 5 semanas, de manera que los resultados obtenidos coincidieran con la frecuencia de presentación de las valorizaciones de obra al ente contratante.
- Se efectuó la programación semanal de actividades previo levantamiento de restricciones, lo que ayudó a esclarecer el tren de trabajo. Las labores se ejecutaron de forma paralela a lo largo de los dos tramos que forman el proyecto en cuestión. Al ser necesario llevar un control constante de los avances de obra, se facilitó la administración del proyecto, la presentación de valorizaciones y la logística de personal y materiales.
- El porcentaje del plan cumplido, como indicador que mide la efectividad de los compromisos acordados por los últimos planificadores, tuvo una tendencia positiva a lo largo de la implementación, tal como muestra la tabla 5. Aun así, en ningún caso se llegó a un 100% de cumplimiento, lo que denota que aún no se logra una estimación correcta de los alcances y limitaciones de las actividades en la obra.
- El análisis de las causas de no cumplimiento revela que la mayoría de actividades no son ejecutadas en su totalidad según lo programado por problemas relacionados a actividades previas, es decir, al no poder cumplir una actividad, todo el tren de trabajo se ve afectado. Aunado a ello, se tiene

que los motivos tras este tipo de falla son, primeramente, problemas de calidad y retrabajos, y, en segundo lugar, contratiempos debido a incongruencias encontradas en el expediente técnico.

- Sobre la incidencia de la metodología sobre el *Schedule Performance Index* del proyecto, se obtuvo una menor variabilidad entre los avances de obra planificados y la ejecución, donde el gráfico de la figura 14 muestra que en al término del periodo de evaluación hubo una diferencia de solo 0.48%. El análisis estadístico inferencial revela que aún no se alcanzan diferencias significativas respecto al periodo anterior a la implementación de la metodología, no obstante, se observó una disminución de la desviación estándar, lo cual indica que los resultados son menos variables, es decir, más apegados a la planificación.

VII. RECOMENDACIONES

- A la comunidad académica y profesional de ingeniería, profundizar en la aplicación del *Last Planner System* en obras de vialidad, pues existen escasas referencias de su aplicación a este tipo de obras.
- Se recomienda que la filosofía de *Lean Construction* sea implementada en otras obras públicas del país, visto su potencial para elevar la productividad, disminuir retrasos en la ejecución y disponer la obra prontamente a los beneficiarios.
- Se recomienda la investigación de metodologías como BIM en combinación con la técnica *Last Planner System*, pudiendo así cubrir la generación del expediente técnico y la ejecución de la obra, evitando en lo posible fallas o restricciones por falta de información o información errónea.
- Se recomienda emplear datos de rendimiento en las partidas del proyecto que provengan de experiencias propias y no de bases de datos generales, pues se corre el riesgo de sufrir grandes desviaciones entre lo planificado y lo ejecutable, pues cada proyecto es particular.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M., Soler, M., & Pellicer, E. (2019). An improvement in construction planning: Last Planner System. *Building & Management*, 3(2), 60-70. doi:<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.2.3924>
- Aroni, J., & Mayhuire, R. (2022). *Dirección del proyecto “mejoramiento de transitabilidad vehicular y peatonal de la Carretera Vía El Cerro - La Hacienda - Quichinihuaya, distrito de Yarabamba – Arequipa” basado en los estándares globales de la guía del PMBOK® – sexta edición*. [Tesis de Maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667232>.
- Avalos, M. (2021). *Last Planner en la mejora de ejecución de parques en la Empresa Leon Contratista Generales S.A.C, Lima 2021*. [Tesis de Maestría, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74342/>.
- Cabrera, J. (2020). *Caso de aplicación de Last Planner System en Barcelona*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/190671>.
- Calua, C. (2021). *Propuesta del sistema Last Planner en la construcción del mejoramiento del servicio educativo en la I.E. primaria N° 82675 Tacamache distrito de Chugur – Hualgayoc*. [Tesis de Maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7111/>.
- Cantú, A., López, M., & Peirone, P. (2018). *Análisis de los factores que afectan la productividad de obras civiles*. I Jornada de Divulgación de la Carrera de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10948/cantut09.pdf.
- Castilla, L. (17 de Septiembre de 2021). *Inversión y gestores públicos*. Obtenido de <https://propuestasdelbicentenario.pe/inversion-y-gestores-publicos-2/>

- Contraloría General de la República. (2022). *Sistema de información de obras públicas*. Obtenido de https://apps.contraloria.gob.pe/ciudadano/wfm_mapa3.aspx
- Cornejo, K., Gonzales, F., & Tapia, V. (2017). *Implementación de Last Planner System en actividades de concreto armado para proyectos de edificación industrial*. [Tesis de Maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623900>.
- Dávila, J., & Pereda, D. (2021). *Implementación del sistema last planner para la optimización y control de obra de la vivienda multifamiliar Residencial Santa Edelmira - Trujillo - La Libertad*. [Tesis de Maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7089>.
- De la Vega, M. (26 de abril de 2021). *Perú puede tener un boom en la construcción*. Obtenido de El peruano: <https://elperuano.pe/noticia/119555-peru-puede-tener-un-boom-en-la-construccion>
- Fontalvo-Herrera, T., De La Hoz, E., & Morelos, J. (2017). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión Empresarial*, 15(2), 47-60. doi:<http://dx.doi.org/10.15665/rde.v15i2.1375>
- Gómez, H. (2 de septiembre de 2021). *La productividad en la industria de la construcción*. Obtenido de Lean Construction Institute Mexico: <https://lcimexico.org/articulos/la-productividad-en-la-industria-de-la-construccion/#:~:text=%E2%80%9CLa%20productividad%20en%20la%20construcci%C3%B3n,motivadoras%2C%20ubicaci%C3%B3n%20de%20obra%2C%20grupos>
- Gutiérrez, M., Mora, I., & Quirós, J. (2021). Planificación de operaciones de construcción. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(4), 175-191. doi:<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i4.5155>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición ed.). México: McGraw-Hill.
- Hidalgo, O. (2017). Desarrollo de un Sistema Integral de Gestión (SIG) para mejorar la gestión de proyectos en obras de saneamiento en gobiernos

- locales. *Veritas et Scientia - UPT*, 6(1), 672-676.
doi:<https://doi.org/10.47796/ves.v6i1.200>
- Jiménez, A. (2019). Productividad en Obras de Construcción. *Tecnología Vital*, 2(6), 40-43. Obtenido de <https://revistas.ulatina.ac.cr/index.php/tecnologiavital/article/view/248/257>
- Krzemiński, M. (2017). The scheduling of construction work under the assumption of brigade multitasking. *Procedia Engineering*, 208, 63-68. doi:10.1016/j.proeng.2017.11.021
- Kuran, D. (5 de julio de 2021). *Performance management in the construction industry*. Obtenido de <https://tread.io/performance-management-in-the-construction-industry/>
- Lozano, V. (3 de enero de 2022). *Construcción: el gran motor de la recuperación económica mundial*. Obtenido de Agencia Peruana de Noticias: <https://andina.pe/agencia/noticia-construccion-gran-motor-de-recuperacion-economica-mundial-875595.aspx>
- Mejía, B., & Chavez, L. (2021). *Implementación del sistema Last Planner para la mejora de la etapa de planeación en la construcción de muros de contención, caso región Cusco, 2021*. [Tesis de Maestría. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659150>.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2020). *Marco Macroeconómico Multianual 2021 - 2024*. Perú. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/pol_econ/marco_macro/MMM_2021_2024.pdf
- Molina, M., Ochoa, C., & Ortega, E. (2020). Comparación de dos medias. Pruebas de la t de Student. *Evid Pediatr*, 16(4), 1-7. Obtenido de <https://evidenciasenpediatria.es/articulo.php?lang=es&id=7699>
- Murray, M. (12 de septiembre de 2018). *The Origins and Principles of Lean Manufacturing*. Obtenido de <https://www.thebalancesmb.com/origins-and-principles-of-lean-manufacturing-2221395>
- Nervi, M. (2021). *Evaluación de la productividad usando modelos Bim 3D – Lean construction en la ejecución del proyecto Los Triunfadores, Juliaca 2018 – 2019*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Antonio Abad del

Cusco].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNS_eb1ce3ec80076be4699bc515a252e733.

- Neyra, A. (2021). *Implementación de la constructabilidad del cronograma de obra para la reducción de reclamos en proyectos de construcción Fast-Track: Caso de estudio proyecto de construcción de una planta industrial en Arequipa*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/11913>.
- Ninahuanca, C. (25 de mayo de 2021). *El sector construcción genera más de un millón de empleos al año*. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia/121379-el-sector-construccion-genera-mas-de-un-millon-de-empleos-al-ano#:~:text=El%20documento%20tambi%C3%A9n%20se%20B1ala%20que,el%20primer%20trimestre%20del%202020>.
- Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado. (s.f.). *Contratación de obras públicas*. Obtenido de https://portal.osce.gob.pe/osce/sites/default/files/Documentos/Capacidades/Capacitacion/Virtual/curso_contratacion_obras/libro_cap3_obras.pdf
- Organización Internacional del Trabajo. (22 de mayo de 2021). *Construcción*. Obtenido de <https://www.ilo.org/global/industries-and-sectors/construction/lang-es/index.htm>
- Pellicer, E., Cerveró, F., Lozano, A., & Ponz-Tienda, J. (2017). The last planner system of construction planning and control as a teaching and learning tool. *Proceedings of INTED 2017 Conference*. Madrid, España.
- Pons, J., & Rubio, I. (2019). *Lean construction y la planificación colaborativa*. Madrid: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. Obtenido de <https://www.cgate.es/pdf/LEAN%20CONSTRUCTION%20PDF%20Web.pdf>
- Prasad, V., & Vasugi, V. (2021). Experiences from the implementation of Last Planner System in construction project. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 28(2), 125-141. Obtenido de <https://www.researchgate.net/profile/Prasad-K->

V/publication/353070433_Experiences_from_the_implementation_of_Last_Planner_SystemR_in_construction_project/links/60e691cd30e8e50c01eb8e50/Experiences-from-the-implementation-of-Last-Planner-SystemR-in-constru

- Quiñonez, E. (2019). *Mejoramiento del desempeño de la construcción al implementar Lean Construction en el control de la producción en una obra de infraestructura aérea en Arequipa, Perú, en el año 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10691>.
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 105-114. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>
- Srinivas, K. (2019). Lean Construction in a Real Estate Project - A Case Study. *Journal of Construction Research*, 01(02), 25-29. doi:10.30564/jcr.v1i2.2577
- Torres, S. (2019). *Sistema Integral de Gestión para el Aseguramiento de la Calidad en Obras Viales de los Gobiernos Regionales de Tacna, 2018*. [Tesis de Maestría, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1091>.
- Welles, H. (16 de abril de 2020). *The Basics of Lean Construction Methods*. Obtenido de <https://www.constructconnect.com/blog/the-basics-of-lean-construction-methods>
- Xing, W., Hao, J., Quian, L., Tam, V., & Sikora, C. (2021). Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124944. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124944>

Anexo 2. Registro de causas de no cumplimiento

Actividades programadas	% de ejecución	Incumplimiento (Si / No)	Descripción del problema	Causa de no cumplimiento
Semana 27				
Conformación de terraplén con material de préstamo	73%	No	Falla compactación del material	Mala calidad / Retrabajo
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	38%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Mala definición del proyecto
Relleno compactado para estructuras con material propio	6%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Terminación de un trabajo anterior
Eliminación de material excedente en sitio	122%	Si		
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	81%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Terminación de un trabajo anterior
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	36%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Terminación de un trabajo anterior
Desbroce y limpieza	166%	Si		
Corte en material suelto	112%	Si		
Corte en roca suelta	254%	Si		
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	108%	Si		
Relleno compactado para estructuras con material propio	107%	Si		
Eliminación de material excedente en sitio	123%	Si		
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	50%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Estimación incorrecta del tiempo
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	68%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Estimación incorrecta del tiempo

Actividades programadas	% de ejecución	Incumplimiento (Si / No)	Descripción del problema	Causa de no cumplimiento
Semana 28				
Conformación de terraplén con material de préstamo	85%	No	Falla compactacion del material	Mala calidad / Retrabajo
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	108%	Si		
Relleno compactado para estructuras con material propio	89%	No	Falla compactacion del material	Mala calidad / Retrabajo
Eliminación de material excedente en sitio	119%	Si		
Corte en material suelto	66%	No	Material de corte no coincide con la partida	Cambio en el diseño
Corte en roca suelta	133%	Si		
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	133%	Si		
Relleno compactado para estructuras con material propio	111%	Si		
Eliminación de material excedente en sitio	89%	No	Cantidad de obra sobreestimada, se excava menos material del pensado	Terminación de un trabajo anterior
Semana 29				

Actividades programadas	% de ejecución	Incumplimiento (Si / No)	Descripción del problema	Causa de no cumplimiento
Conformación de terraplén con material de préstamo	157%	Si		
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	88%	No	Información del expediente no coincide	Mala definición del proyecto
Relleno compactado para estructuras con material propio	72%	No	Cantidad de obra sobreestimada, se excava menos material del pensado	Terminación de un trabajo anterior
Eliminación de material excedente en sitio	116%	Si		
Corte en material suelto	107%	Si		
Corte en roca suelta	122%	Si		
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	66%	No	Información del expediente no coincide	Mala definición del proyecto
Relleno compactado para estructuras con material propio	55%	No	Cantidad de obra sobreestimada, se excava menos material del pensado	Terminación de un trabajo anterior
Eliminación de material excedente en sitio	77%	No	Cantidad de obra sobreestimada, se excava menos material del pensado	Terminación de un trabajo anterior

Semana 30

Actividades programadas	% de ejecución	Incumplimiento (Si / No)	Descripción del problema	Causa de no cumplimiento
Conformación de terraplén con material de préstamo	92%	No	Falla compactación del material	Mala calidad / Retrabajo
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	102%	Si		
Relleno compactado para estructuras con material propio	100%	Si		
Eliminación de material excedente en sitio	102%	Si		
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	100%	Si		
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	87%	No	Lluvia	Clima
Corte en material suelto	133%	Si		
Corte en roca suelta	104%	Si		
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	108%	Si		
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	102%	Si		
Semana 31				
Desbroce y limpieza	109%	Si		
Corte en material suelto	116%	Si		
Corte en roca suelta	117%	Si		
Perfilado y compactación de sub-rasante	105%	Si		
Conformación de terraplén con material de préstamo	103%	Si		
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	96%	No	Cantidad de obra sobreestimada	Estimación incorrecta del tiempo
Relleno compactado para estructuras con material propio	87%	No	Cantidad de obra sobreestimada, se excava menos material del pensado	Terminación de un trabajo anterior

Actividades programadas	% de ejecución	Incumplimiento (Si / No)	Descripción del problema	Causa de no cumplimiento
Eliminación de material excedente en sitio	109%	Si		
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	100%	Si		
Desbroce y limpieza	133%	Si		
Corte en material suelto	174%	Si		
Conformación de terraplén con material de préstamo	96%	No	Falla compactación del material	Mala calidad / Retrabajo
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	111%	Si		
Relleno compactado para estructuras con material propio	109%	Si		
Eliminación de material excedente en sitio	65%	No		
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	101%	Si		

Causas de no cumplimiento

A	Terminación de un trabajo anterior	F	Falta de materiales	K	Clima	P	Avería de maquina
B	Actividad no planificada	G	Falta de equipos	L	Condiciones inseguras de trabajo	Q	Reorganización de tareas
C	Falta de información	H	Falta de supervisión	M	Mala definición del proyecto	R	Otra
D	Cambio en el diseño	I	Estimación incorrecta del tiempo	N	Mala calidad / Retrabajo		
E	Falta de personal	J	Situaciones externas	O	Rendimiento inferior al esperado		

Anexo 3. Evolución del porcentaje de plan cumplido (PPC)

Partidas	Semana 27	Semana 28	Semana 29	Semana 30	Semana 31
Tramo 1					
Desbroce y limpieza					109%
Corte en material suelto					116%
Corte en roca suelta					117%
Corte en roca fija					
Perfilado y compactación de sub-rasante					105%
Conformación de terraplén con material de préstamo	73%	85%	157%	92%	103%
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	38%	108%	88%	102%	96%
Relleno compactado para estructuras con material propio	6%	89%	72%	100%	87%
Eliminación de material excedente en sitio	122%	119%	116%	102%	109%
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	81%			100%	100%
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	36%			87%	
Tramo 2					
Desbroce y limpieza	166%				133%
Corte en material suelto	112%	66%	107%	133%	174%
Corte en roca suelta	254%	133%	122%	104%	
Conformación de terraplén con material de préstamo					96%
Excavación para estructuras material suelto c/maq.	108%	133%	66%		111%
Relleno compactado para estructuras con material propio	107%	111%	55%		109%
Eliminación de material excedente en sitio	123%	89%	77%		65%
Alcantarilla TMC circular d = 0.90 m	50%			108%	101%
Alcantarilla TMC abovedada 1.80 x 1.20 m	68%			102%	
Actividades planificadas	14	9	9	10	16
Actividades totalmente cumplidas	7	6	4	7	12
PPC	50%	67%	44%	70%	75%
PPC promedio			61%		



Corte en material suelto km 31+320
N 8267961 E 240241



Corte en material suelto km 23 23+600
Ruta 34
Perú
N 8264678 E 242626





