



TRABAJO DE GRADO
Opción Seminario-Diplomado.

Implementación del pensamiento sistémico como estrategia de mejoramiento en los procesos de construcción de tanques de bombeo en la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada – Segovia.

Corporación Universitaria Remington.

Nombre de la facultad: Facultad de Ciencias Básicas y Ingeniería

Nombre del programa académico: Ingeniería Civil

Abner David Vargas Menco

Silvana Ruiz Moreno M.Sc.

Seminario en pensamiento sistémico

2026.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios, por brindarme salud, fortaleza, sabiduría y la oportunidad de culminar una etapa importante en mi formación profesional.

A mis padres y a mi familia, quienes han sido el apoyo más importante durante todo este proceso académico, brindándome motivación, confianza y acompañamiento incondicional en cada uno de los retos enfrentados. Su esfuerzo y dedicación han sido fundamentales para alcanzar este logro.

También dedico este trabajo a todas aquellas personas que hicieron parte de mi proceso de formación, aportando conocimientos, enseñanzas y experiencias que contribuyeron tanto a mi crecimiento personal como profesional.

Finalmente, dedico este proyecto a mí mismo, como resultado del esfuerzo, la disciplina y la perseverancia invertidos durante esta etapa académica, demostrando que con compromiso y constancia es posible alcanzar las metas propuestas.

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a la Corporación Universitaria Remington por la formación académica y profesional brindada durante mi proceso universitario, así como por proporcionar los conocimientos y herramientas necesarias para el desarrollo del presente trabajo de grado.

De manera especial, agradezco a los docentes y asesores académicos que participaron en este proceso, por sus orientaciones técnicas, recomendaciones y acompañamiento constante, los cuales fueron fundamentales para fortalecer el enfoque investigativo y metodológico del proyecto.

Asimismo, agradezco a la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada por permitir el acceso a la información y a los procesos constructivos relacionados con la construcción de tanques de bombeo, facilitando el análisis técnico y operativo necesario para el desarrollo de la investigación.

También extiendo mi agradecimiento a mis compañeros, colegas y demás personas que, de una u otra manera, contribuyeron con su apoyo, experiencias y conocimientos durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que acompañaron este proceso académico y profesional, aportando motivación y respaldo para culminar satisfactoriamente esta etapa de formación.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	5
Planteamiento del problema.....	6
Marco conceptual y contextual	10
Objetivos	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos	13
Desarrollo e implementación del aprendizaje.....	14
Caracterización del sistema.....	16
Análisis de oportunidades de mejora	18
Plan de acción	19
Indicadores de seguimiento.....	20
Conclusiones	23
Referencias.....	25

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito proponer una estrategia de mejoramiento para los procesos constructivos asociados a la construcción de tanques de bombeo en la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada, dedicada a la ejecución de obras civiles especializadas en minería subterránea. La investigación surge a partir de la identificación de problemáticas operacionales relacionadas con retrasos en la ejecución de actividades, reprocesos constructivos, deficiencias en la coordinación entre frentes de trabajo, dificultades en el control de materiales y limitaciones en el seguimiento técnico y administrativo de las obras.

El objetivo principal del trabajo consiste en diseñar una propuesta de mejoramiento orientada al fortalecimiento de los procesos constructivos mediante la aplicación del pensamiento sistémico y herramientas de mejora continua, con el fin de optimizar la productividad, fortalecer el control operacional y mejorar la trazabilidad de las actividades ejecutadas en obra.

Para el desarrollo de la propuesta se implementó una metodología de enfoque descriptivo y aplicado, basada en observación técnica en campo, revisión documental, análisis de procesos constructivos y evaluación de las condiciones operacionales presentes durante la ejecución de proyectos de minería subterránea. Asimismo, se utilizaron herramientas como diagramas causa-efecto, caracterización de procesos y establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPI), permitiendo identificar relaciones entre las actividades técnicas, administrativas y operacionales que afectan el desempeño general de los proyectos.

Como resultado, se estructuró un plan de acción enfocado en el fortalecimiento de la planeación operativa, control de calidad, seguimiento de actividades críticas, optimización de recursos y mejora continua de los procesos constructivos. Además, se plantearon indicadores de seguimiento orientados al control de productividad, reducción de reprocesos y cumplimiento de cronogramas, buscando contribuir al fortalecimiento técnico y organizacional de la empresa.

Palabras clave: Construcción subterránea, mejora continua, pensamiento sistémico, procesos constructivos, tanques de bombeo.

Planteamiento del problema

Actualmente, las empresas dedicadas a la ejecución de obras civiles especializadas en minería subterránea enfrentan importantes desafíos relacionados con la planeación, coordinación y control de los procesos constructivos, debido a las condiciones operacionales y técnicas propias de este tipo de proyectos. La construcción de estructuras hidráulicas como tanques de bombeo requiere una alta articulación entre actividades operativas, recursos, personal técnico y procesos administrativos, ya que cualquier desviación durante la ejecución puede generar afectaciones sobre los tiempos de obra, los costos y la continuidad operativa de la mina.

La empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada desarrolla actividades enfocadas en la construcción de tanques de bombeo y demás obras civiles para minería subterránea, donde intervienen procesos de excavación sobre roca, instalación de acero de refuerzo, formaletería, vaciado de concreto, impermeabilización y montaje hidráulico. Estas actividades se ejecutan en ambientes de alta complejidad operacional, caracterizados por restricciones de espacio, interferencia con labores mineras activas, condiciones geomecánicas variables y limitaciones logísticas para el transporte de materiales y equipos.

Dentro de la ejecución de los proyectos desarrollados por la empresa, se han identificado situaciones relacionadas con retrasos en actividades críticas, tiempos muertos por falta de coordinación operativa, reprocesos constructivos derivados de inconsistencias técnicas, dificultades en el control y suministro de materiales, así como limitaciones en el seguimiento documental y operativo de las obras. Estas situaciones se presentan principalmente durante la programación y ejecución simultánea de actividades dentro de los frentes de trabajo subterráneos, donde existe una alta dependencia entre procesos constructivos, recursos operacionales y condiciones propias de la mina. En este tipo de proyectos, cualquier retraso asociado al suministro de materiales, disponibilidad de equipos, acceso a los frentes o liberación de actividades previas termina afectando directamente la continuidad operativa y el rendimiento general de la obra.

Las afectaciones derivadas de estas condiciones se reflejan en disminución de la productividad, incremento de tiempos improductivos, sobrecostos operacionales y dificultades para cumplir los cronogramas establecidos. Asimismo, la limitada articulación entre la planeación de obra, la ejecución en campo y el seguimiento técnico genera dificultades para realizar controles oportunos, afectando la capacidad de respuesta frente a desviaciones constructivas, cambios operacionales o restricciones presentes durante el desarrollo de las actividades subterráneas.

Bajo este contexto, el pensamiento sistémico representa una herramienta de análisis que permite comprender los procesos constructivos de manera integral, considerando la relación existente entre las diferentes variables que intervienen en la ejecución de las obras civiles. Según La Quinta Disciplina, las organizaciones deben analizarse como sistemas dinámicos e interrelacionados, donde las decisiones tomadas en una etapa del proceso generan impactos directos sobre el comportamiento global del proyecto. Desde esta perspectiva, es posible identificar relaciones causa-efecto, restricciones operacionales y factores críticos que normalmente no son detectados mediante enfoques tradicionales de gestión.

De igual manera, Donella Meadows establece que el análisis sistémico facilita la comprensión de las variables que afectan el desempeño organizacional y contribuye al fortalecimiento de estrategias orientadas al mejoramiento continuo. En complemento, la norma International Organization for Standardization ISO 9001:2015 resalta la importancia de implementar una gestión basada en procesos, seguimiento operativo y control continuo como mecanismos para fortalecer la eficiencia organizacional y garantizar la calidad en la ejecución de los proyectos.

En el sector de la construcción, diferentes estudios relacionados con gestión de proyectos evidencian que la baja integración entre procesos técnicos, administrativos y operacionales incrementa significativamente la probabilidad de retrasos, reprocesos constructivos,

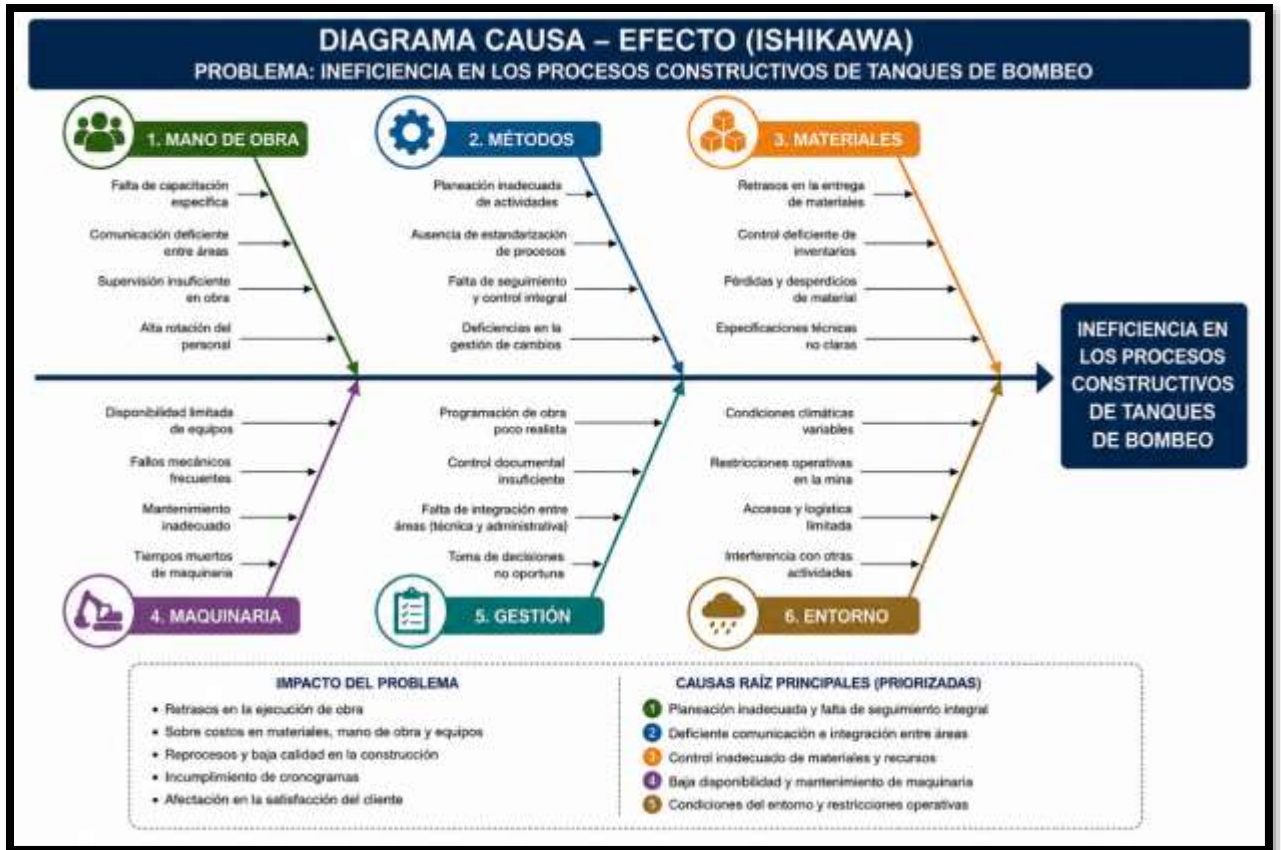
pérdidas económicas y disminución del desempeño productivo, especialmente en proyectos desarrollados en ambientes de alta complejidad como la minería subterránea.

Según Sterman, John D., la aplicación de herramientas sistémicas contribuye al fortalecimiento de la toma de decisiones y al mejoramiento del control operacional en proyectos complejos, especialmente en entornos donde múltiples variables afectan simultáneamente el desempeño de las actividades.

A partir de lo anterior, surge la necesidad de analizar los procesos constructivos desarrollados por PSIE desde un enfoque sistémico que permita identificar oportunidades de mejora orientadas al fortalecimiento de la planeación, coordinación y control operacional durante la construcción de tanques de bombeo en minería subterránea.

Ilustración 1:

Diagrama causa-efecto de ineficiencia constructiva.



Nota: Elaboración propia.

Marco conceptual y contextual

El sector de la minería subterránea requiere actualmente procesos constructivos cada vez más especializados debido a las condiciones operacionales, geotécnicas y de seguridad presentes en este tipo de ambientes. Las obras civiles desarrolladas dentro de minas subterráneas demandan altos niveles de planificación, coordinación técnica y control operacional, especialmente en estructuras hidráulicas destinadas al manejo de aguas, ventilación y sostenimiento de las operaciones mineras. Dentro de estas estructuras, los tanques de bombeo representan elementos fundamentales para garantizar la evacuación y conducción adecuada de aguas subterráneas, contribuyendo a la continuidad operativa y a la estabilidad de las labores mineras.

En este contexto, la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada desarrolla actividades de construcción de obras civiles especializadas enfocadas en minería subterránea, principalmente relacionadas con la construcción de tanques de bombeo, losas estructurales, pedestales, sumideros y demás estructuras hidráulicas utilizadas en los sistemas de drenaje y manejo de aguas dentro de las minas. Estas actividades demandan un alto nivel de control técnico y operativo, debido a que involucran procesos especializados como excavaciones sobre roca, sostenimiento de excavaciones, instalación de acero de refuerzo, conformación de formaletería, vaciado de concreto estructural, impermeabilización y verificación de calidad de los elementos construidos. La correcta ejecución de cada una de estas etapas resulta fundamental para garantizar la estabilidad estructural, la funcionalidad hidráulica y la continuidad operativa de los sistemas de bombeo dentro de la mina.

No obstante, las condiciones propias de la minería subterránea generan múltiples desafíos durante la ejecución de los proyectos desarrollados por Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada. Entre las principales dificultades se encuentran las restricciones de espacio en los frentes de trabajo, el acceso limitado para el ingreso de personal, equipos y materiales, las condiciones de ventilación, la interferencia con operaciones mineras activas y la necesidad de coordinar simultáneamente actividades técnicas, operativas y

administrativas. Estas condiciones incrementan considerablemente la complejidad de los procesos constructivos y hacen necesario implementar estrategias que permitan fortalecer la planeación, el seguimiento y la optimización de los recursos disponibles.

Frente a esta necesidad, el pensamiento sistémico surge como una herramienta de análisis que permite comprender los procesos organizacionales desde una perspectiva integral. Según Peter Senge, las organizaciones deben analizarse como sistemas interrelacionados, donde las actividades, recursos y decisiones mantienen una relación directa con los resultados obtenidos. Desde este enfoque, es posible identificar causas raíz, relaciones de dependencia y factores que afectan el comportamiento global de los proyectos, facilitando el diseño de estrategias orientadas al mejoramiento continuo.

De igual manera, Donella Meadows plantea que los sistemas organizacionales deben evaluarse de forma integral, debido a que cualquier variación dentro de un proceso genera impactos sobre las demás actividades del sistema. En el caso de los proyectos constructivos desarrollados en minería subterránea, este enfoque permite analizar la relación existente entre productividad, logística de materiales, programación de obra, disponibilidad de recursos, seguimiento técnico y control operacional.

En los últimos años, diferentes investigaciones relacionadas con gestión de proyectos e ingeniería han demostrado que la implementación de metodologías sistémicas y herramientas de mejora continua contribuye significativamente al fortalecimiento de los procesos constructivos. Estudios asociados a enfoques como Lean Construction y gestión por procesos evidencian que una adecuada integración entre planeación, ejecución y seguimiento operativo permite reducir reprocesos, minimizar pérdidas de recursos y mejorar el rendimiento general de las actividades en obra.

Asimismo, la gestión integral de proyectos ha adquirido una alta relevancia dentro del sector minero y de infraestructura. La guía PMBOK desarrollada por el Project Management Institute establece la importancia de implementar procesos estructurados de

planificación, seguimiento y control para optimizar tiempos, costos y calidad durante la ejecución de proyectos. De igual manera, la norma International Organization for Standardization ISO 9001:2015 resalta la necesidad de fortalecer la gestión por procesos y los mecanismos de mejora continua como herramientas fundamentales para garantizar la eficiencia organizacional y el cumplimiento de estándares de calidad.

En este contexto, el seminario de pensamiento sistémico aporta herramientas conceptuales y metodológicas aplicables al análisis de los procesos constructivos desarrollados por PSIE en minería subterránea. La aplicación de estos conceptos busca fortalecer la integración entre las áreas técnicas, operativas y administrativas, permitiendo mejorar la coordinación de actividades, optimizar el control operacional y fortalecer la eficiencia en la ejecución de obras civiles asociadas a tanques de bombeo y estructuras hidráulicas.

De igual manera, el presente trabajo se enfoca en analizar problemáticas relacionadas con retrasos operacionales, dificultades logísticas, reprocesos constructivos, deficiencias en el seguimiento técnico y limitaciones en la coordinación entre procesos. A partir del enfoque sistémico, se busca establecer estrategias orientadas al mejoramiento continuo y al fortalecimiento del desempeño operacional de la empresa dentro de proyectos de minería subterránea. A través de herramientas sistémicas y metodologías de mejora continua, se pretende establecer estrategias orientadas al fortalecimiento de la productividad, el control técnico y la eficiencia operativa dentro de la empresa.

Finalmente, el presente marco conceptual y contextual permite consolidar las bases teóricas necesarias para el desarrollo del trabajo de grado, integrando conceptos relacionados con pensamiento sistémico, gestión de procesos, control operacional, mejora continua y construcción de obras civiles en minería subterránea, los cuales servirán como fundamento para el análisis y desarrollo de propuestas de mejoramiento aplicables a los procesos constructivos ejecutados por la empresa PSIE.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta de mejoramiento para los procesos constructivos asociados a la construcción de tanques de bombeo en la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada, mediante la aplicación del pensamiento sistémico y herramientas de mejora continua, orientadas al fortalecimiento del control operacional, la optimización de recursos y el incremento de la eficiencia en proyectos de minería subterránea.

Objetivos específicos

- Caracterizar los procesos constructivos relacionados con la construcción de tanques de bombeo en minería subterránea bajo un enfoque de pensamiento sistémico, identificando las interacciones existentes entre las actividades operacionales, técnicas y administrativas.
- Analizar oportunidades de mejora en los procesos constructivos mediante visitas de campo, revisión documental, observación técnica de actividades y aplicación de herramientas de diagnóstico como diagramas causa-efecto, análisis de procesos y metodología de mejora continua.
- Diseñar un plan de acción orientado al mejoramiento y trazabilidad de los procesos constructivos, considerando indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con productividad, tiempos de ejecución, control de calidad, cumplimiento de cronogramas y optimización de recursos.

Desarrollo e implementación del aprendizaje

El desarrollo del presente informe técnico se enfocó en la aplicación del pensamiento sistémico como herramienta de análisis integral para el mejoramiento de los procesos constructivos ejecutados por la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada en proyectos de minería subterránea, específicamente en la construcción de tanques de bombeo y estructuras hidráulicas asociadas al manejo y evacuación de aguas.

La aplicación de los conceptos abordados durante el seminario permitió analizar los procesos constructivos desarrollados por Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada desde una perspectiva más integral, entendiendo que las actividades ejecutadas dentro de los proyectos de minería subterránea no operan de forma independiente, sino como parte de un sistema donde intervienen variables técnicas, operativas y administrativas que mantienen una relación constante entre sí. A partir del enfoque de pensamiento sistémico fue posible identificar cómo aspectos relacionados con la planeación, la logística de materiales, la disponibilidad de recursos, el seguimiento técnico y el control operacional influyen directamente sobre el comportamiento y desempeño general de las obras.

Durante el análisis realizado en campo se evidenció que las debilidades en la planeación operativa afectan de manera directa la programación y continuidad de las actividades constructivas. Cuando las actividades no se encuentran correctamente coordinadas con el suministro de materiales, equipos y personal requerido, se generan interrupciones operacionales, tiempos improductivos y retrasos en procesos críticos como excavaciones, instalación de acero de refuerzo, vaciado de concreto y adecuaciones hidráulicas. Estas situaciones terminan impactando el cumplimiento de cronogramas y aumentando los costos asociados a reprocesos, ampliación de jornadas de trabajo y disminución del rendimiento operativo de las cuadrillas.

Asimismo, se identificó que la logística de materiales representa uno de los factores de mayor incidencia dentro de los proyectos ejecutados en minería subterránea. Las

restricciones de acceso, el transporte limitado al interior de la mina y la coexistencia con otras actividades operacionales dificultan el ingreso oportuno de materiales e insumos requeridos para la ejecución de las obras. Como consecuencia, algunas actividades deben ser reprogramadas constantemente, afectando la continuidad de los procesos y aumentando el riesgo de desviaciones constructivas y pérdida de productividad.

De igual manera, el análisis permitió evidenciar que las limitaciones en el seguimiento técnico y la baja trazabilidad documental dificultan el control adecuado de las actividades ejecutadas en obra. La falta de registros actualizados, controles incompletos y seguimiento insuficiente a inspecciones técnicas limita la capacidad de identificar desviaciones de manera oportuna, situación que puede generar inconsistencias constructivas y afectar la calidad final de las estructuras hidráulicas.

Desde la perspectiva del pensamiento sistémico, estas problemáticas no pueden evaluarse de forma aislada, debido a que cada una genera efectos directos sobre los demás procesos del sistema constructivo. Por ejemplo, una deficiencia en la planeación puede ocasionar retrasos en logística; los retrasos logísticos afectan la disponibilidad de materiales; la falta de materiales genera tiempos muertos y reprocesos; y los reprocesos terminan impactando los costos, la productividad y el cumplimiento de los cronogramas establecidos. Esta relación entre variables evidencia la importancia de fortalecer la integración y coordinación entre los diferentes procesos que intervienen en la ejecución de los proyectos.

De acuerdo con La Quinta Disciplina, el pensamiento sistémico permite comprender cómo las relaciones existentes entre procesos, recursos y decisiones influyen directamente sobre el comportamiento organizacional y operativo de las empresas. En el contexto de la minería subterránea, este enfoque adquiere una mayor relevancia debido a la complejidad técnica y operacional que caracteriza este tipo de proyectos constructivos. Este enfoque resulta especialmente importante en minería subterránea, donde las condiciones operacionales son dinámicas y cualquier variación dentro de una actividad puede generar impactos acumulativos sobre todo el sistema constructivo.

Caracterización del sistema

La caracterización del sistema permitió identificar los componentes principales que intervienen en la construcción de tanques de bombeo ejecutados por PSIE dentro de minería subterránea. El sistema constructivo se encuentra conformado por actividades de excavación sobre roca, adecuación geotécnica, instalación de acero de refuerzo, formaletería, vaciado de concreto, impermeabilización, montaje hidráulico y supervisión técnica.

Sin embargo, el análisis sistémico permitió establecer que estas actividades mantienen relaciones de dependencia operativa entre sí. La excavación condiciona el inicio de las actividades estructurales; la disponibilidad de acero y formaletería afecta el avance del vaciado de concreto; y el retraso en las inspecciones técnicas impacta directamente la continuidad de las actividades posteriores.

Adicionalmente, se identificó que factores externos como ventilación minera, disponibilidad de equipos, interferencia con producción minera y restricciones logísticas generan afectaciones sobre la programación y el rendimiento de las actividades constructivas.

Tabla 1. Relación sistémica entre variables del proceso constructivo.

Variable	Relación dentro del sistema	Impacto generado
Planeación operativa	Define secuencia y disponibilidad de recursos	Cumplimiento de cronograma
Logística de materiales	Condiciona continuidad de actividades	Retrasos y tiempos muertos
Seguimiento técnico	Controla calidad y cumplimiento	Reducción de reprocesos
Gestión documental	Permite trazabilidad operativa	Control y supervisión
Coordinación de cuadrillas	Optimiza simultaneidad de actividades	Incremento de productividad
Restricciones mineras	Limitan acceso y operación	Disminución del rendimiento

Nota: Elaboración propia.

Ilustración 2: Sistema constructivo - Tanque de bombeo.



Nota: Elaboración propia.

Análisis de oportunidades de mejora

Mediante la aplicación de diagramas causa-efecto, observación técnica en campo y análisis sistémico de procesos, se identificaron oportunidades de mejora orientadas al fortalecimiento del desempeño operacional y constructivo de los proyectos ejecutados por PSIE.

El análisis permitió evidenciar que gran parte de las afectaciones operacionales no se originan únicamente por fallas técnicas, sino por la falta de integración entre planeación, logística, seguimiento operativo y control documental. La limitada coordinación entre estos procesos genera acumulación de retrasos, pérdida de productividad y afectaciones sobre la calidad constructiva.

Por ejemplo, cuando el suministro de materiales no se encuentra alineado con la programación de actividades, las cuadrillas deben detener operaciones o ejecutar actividades fuera de secuencia, ocasionando reprocesos y aumento de tiempos improductivos. De igual manera, la ausencia de indicadores de seguimiento limita la capacidad de identificar desviaciones operacionales y tomar decisiones correctivas oportunas.

Tabla 2. Principales oportunidades identificadas.

Oportunidad de mejora	Condición encontrada	Impacto sobre el sistema
Integración de planeación y logística	Programaciones desarticuladas	Retrasos operacionales
Control de materiales	Pérdidas y sobreconsumos	Incremento de costos
Seguimiento técnico	Inspecciones insuficientes	Reprocesos constructivos
Gestión documental	Baja trazabilidad	Dificultad de control
Seguimiento KPI	Ausencia de indicadores	Baja capacidad de análisis
Coordinación operativa	Actividades simultáneas mal articuladas	Disminución de productividad

Nota: Elaboración propia.

La aplicación del pensamiento sistémico permitió comprender que las fallas operacionales generan efectos acumulativos sobre costos, tiempos, calidad y productividad, afectando el desempeño general de los proyectos constructivos desarrollados dentro de minería subterránea.

Plan de acción

Con base en los hallazgos obtenidos, se diseñó un plan de acción orientado al fortalecimiento de la integración entre planeación, logística, control técnico y seguimiento operacional, con el propósito de mejorar la eficiencia de los procesos constructivos asociados a la construcción de tanques de bombeo.

Las estrategias propuestas se enfocan en:

- Fortalecer la planeación semanal y operativa.
- Implementar seguimiento continuo de actividades críticas.
- Mejorar la trazabilidad documental.
- Optimizar el control de materiales y recursos.
- Implementar indicadores KPI para productividad y control operativo.
- Fortalecer la comunicación entre áreas técnicas y administrativas.

Asimismo, se propuso implementar mecanismos de mejora continua basados en ciclos PHVA, seguimiento preventivo de riesgos y evaluación periódica del desempeño operacional, buscando fortalecer la capacidad de respuesta frente a desviaciones constructivas y mejorar la eficiencia global del sistema.

Ilustración 3: Estrategias propuestas.



Nota: Elaboración propia.

Indicadores de seguimiento

Con el propósito de evaluar la efectividad de la propuesta de mejoramiento y realizar seguimiento al desempeño de los procesos constructivos ejecutados por la empresa Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada, se establecieron indicadores clave de desempeño (KPI) orientados al control operacional, productividad, calidad y cumplimiento de los proyectos de construcción de tanques de bombeo en minería subterránea.

La definición de estos indicadores permite fortalecer la trazabilidad de los procesos, facilitar la toma de decisiones y evaluar el impacto de las acciones implementadas dentro del sistema constructivo. Asimismo, los indicadores fueron estructurados considerando

variables críticas identificadas durante el análisis sistémico, tales como planeación operativa, logística de materiales, seguimiento técnico, control documental y productividad de obra.

Tabla 3: Indicadores de seguimiento y desempeño

Indicador	Fórmula	Frecuencia de medición	Responsable	Meta esperada
Cumplimiento del cronograma	$(\text{Actividades ejecutadas} / \text{Actividades programadas}) \times 100$	Semanal	Residente de obra	$\geq 95\%$
Índice de reprocesos	$(\text{Actividades reprocesadas} / \text{Actividades ejecutadas}) \times 100$	Semanal	Supervisión técnica	$\leq 5\%$
Productividad de excavación	$\text{m}^3 \text{ excavados} / \text{jornada laboral}$	Diario	Ingeniero de campo	\geq Rendimiento programado
Productividad de concreto	$\text{m}^3 \text{ vaciados} / \text{jornada laboral}$	Diario	Residente de obra	\geq Rendimiento programado
Cumplimiento de inspecciones técnicas	$(\text{Inspecciones realizadas} / \text{Inspecciones programadas}) \times 100$	Semanal	Área de calidad	100%
Disponibilidad de materiales	$(\text{Material disponible} / \text{Material requerido}) \times 100$	Diario	Almacén y logística	$\geq 95\%$
Desviación de costos	$((\text{Costo real} - \text{costo presupuestado}) / \text{costo presupuestado}) \times 100$	Mensual	Coordinador de proyectos	$\leq 5\%$
Avance físico de obra	$(\text{Cantidad ejecutada} / \text{Cantidad total proyectada}) \times 100$	Semanal	Residente de obra	Según programación
Tiempo de respuesta operativa	Tiempo promedio de atención de novedades	Semanal	Coordinación operativa	≤ 24 horas
Cumplimiento documental	$(\text{Registros diligenciados} / \text{registros requeridos}) \times 100$	Semanal	Supervisión técnica	100%

Nota: Elaboración propia.

El seguimiento periódico de estos indicadores permitirá identificar desviaciones operacionales de manera oportuna y fortalecer el control técnico y administrativo de los proyectos. Desde el enfoque del pensamiento sistémico, los KPI establecidos no deben analizarse de forma aislada, debido a que existe una relación directa entre ellos. Por ejemplo, una baja disponibilidad de materiales puede afectar el cumplimiento del cronograma, incrementar los tiempos improductivos y generar disminución de la productividad en obra. De igual manera, un control insuficiente de inspecciones técnicas puede ocasionar reprocesos constructivos y aumentar las desviaciones de costos.

La implementación de estos indicadores permitirá a Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada fortalecer el control y seguimiento de los procesos constructivos ejecutados en proyectos de minería subterránea, facilitando una gestión más organizada, eficiente y orientada a resultados. Asimismo, el uso de indicadores de desempeño contribuirá a mejorar la trazabilidad operativa de las actividades, optimizar la toma de decisiones y detectar oportunamente desviaciones relacionadas con productividad, costos, tiempos de ejecución y control de calidad, permitiendo establecer acciones correctivas y de mejora continua durante el desarrollo de las obras.

Conclusiones

La caracterización de los procesos constructivos asociados a la construcción de tanques de bombeo permitió identificar que las actividades desarrolladas por Proyectos y Soluciones de Ingeniería Especializada no pueden analizarse de manera independiente, debido a que existe una relación permanente entre la planeación de obra, la logística de materiales, el control técnico, la disponibilidad de recursos y el seguimiento operativo. Durante el desarrollo del trabajo fue posible evidenciar que cualquier dificultad presentada en una de estas áreas termina generando efectos sobre el rendimiento general de los proyectos, afectando aspectos como productividad, tiempos de ejecución, control de costos y calidad constructiva.

A partir del análisis realizado, se logró establecer que muchas de las problemáticas presentes en los proyectos ejecutados dentro de minería subterránea no se originan únicamente por condiciones técnicas, sino también por debilidades en la coordinación entre las áreas operativas y administrativas. Situaciones como retrasos en el ingreso de materiales, deficiencias en el seguimiento documental o falta de articulación entre la programación y la ejecución de actividades generan interrupciones en obra, reprocesos y disminución del rendimiento operativo de las cuadrillas de trabajo. Estas condiciones adquieren una mayor relevancia en ambientes subterráneos, donde las restricciones de acceso, ventilación y movilidad hacen que cualquier desviación impacte directamente la continuidad de los procesos constructivos.

El desarrollo del plan de acción permitió plantear estrategias enfocadas en fortalecer el seguimiento operativo, mejorar la organización de las actividades y optimizar los mecanismos de control dentro de los proyectos. La incorporación de reuniones de seguimiento, controles documentales e indicadores de desempeño facilitará un mayor control sobre las actividades ejecutadas y permitirá tomar decisiones de manera más oportuna frente a posibles desviaciones operacionales. Asimismo, la implementación de herramientas de mejora continua contribuirá a fortalecer la trazabilidad de los procesos y a mejorar la eficiencia durante la ejecución de las obras.

De igual manera, la aplicación práctica de los conceptos aprendidos durante el seminario permitió comprender la importancia de analizar los procesos constructivos desde una visión integral, considerando las relaciones existentes entre las diferentes actividades que intervienen en la ejecución de los proyectos. El enfoque sistémico permitió entender que las decisiones operacionales generan efectos sobre todo el sistema constructivo, razón por la cual resulta fundamental fortalecer la coordinación y el seguimiento entre las diferentes áreas involucradas.

Finalmente, se considera importante continuar fortaleciendo los procesos de control y seguimiento mediante herramientas tecnológicas que permitan consolidar información operativa en tiempo real, mejorar la trazabilidad documental y facilitar el análisis de indicadores de desempeño. Asimismo, resulta recomendable continuar implementando estrategias de mejora continua y mecanismos preventivos que permitan anticipar posibles desviaciones operacionales y mejorar la capacidad de respuesta frente a las condiciones cambiantes presentes en los proyectos de minería subterránea.

Referencias

- Aziz, R. F., & Hafez, S. M. (2020). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, págs. 59(1), 41–49.
- Bajjou M, & Chafi A. (2021). Lean construction implementation in the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, págs. 28(4), 1103–1125.
- Ballard, G., & Howell, G. (2020). Lean project delivery system. Lean Construction Institute.
- Forbes, L. & Ahmed, S. (2020). Modern construction: Lean project delivery and integrated practices. (C. Press, Ed.)
- Harrington, H. J. (2020). Business process improvement. McGraw-Hill Education.
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de calidad. págs. pp. 7–22.
- Kerzner, H. (2022). Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling. (Wiley, Ed.) págs. pp. 55–110.
- Koskela, L. (2020). Theory of lean construction. (U. o. Huddersfield, Ed.)
- Meadows, Donella H. (2008). *Thinking in systems: A primer*, págs. pp. 15–40.
- Ohno, T. (2021). Toyota production system: Beyond large-scale production.
- Ortiz O, Castells F, & Sonnemann G. (2021). Sustainability in construction management systems. *Journal of Cleaner Production*, págs. 290, 125-138.
- Project Management Institute. (2021). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. (P. Guide, Ed.) págs. 35–82.
- Senge & Peter M. (2006). La quinta disciplina: El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje. págs. pp. 89–145.
- Slack, N. & Brandon-Jones, A. (2021). Operations and process management. (P. Education, Ed.)
- Sterman, John D. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. págs. pp. 24–68.