

**MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA MINERA.**

Alexander Echavarría Agudelo

alexechav@gmail.com

Universidad de Medellín

Facultad de Ciencias Administrativas

Maestría en Administración MBA

Medellín

2024

**MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA MINERA.**

Alexander Echavarría Agudelo

alexechav@gmail.com

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Administración de Negocios

Director

CLAUDIA JANETH GÓMEZ DAVID



Universidad de Medellín

Facultad de Ciencias Administrativas

Maestría en Administración MBA

Medellín

2024

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo la creación de un modelo de gestión administrativa que permita alcanzar el éxito en la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura en el sector minero. En este modelo, se establecen las herramientas, medidas y controles necesarios para una gestión eficaz y eficiente de este tipo de proyectos civiles, incorporando herramientas de colaboración, gestión de proyectos y aplicaciones basadas en inteligencia artificial que contribuyan a optimizar los procesos.

El desarrollo de la actividad minera requiere la construcción grandes obras de infraestructura, estas obras presentan, en algunos casos, un alto grado de complejidad debido a requerimientos en cuanto a estabilidad, uso, durabilidad, capacidad de almacenamiento, utilidad y operatividad. Dado que el negocio principal de la empresa minera no incluye la ejecución de obras de ingeniería civil, es necesaria la intervención de personal experto en áreas de conocimiento como ingeniería civil, en ejecución de obras mineras y en gestión de proyectos; por lo cual se advierte una oportunidad, a partir de la trayectoria del autor en la ejecución de este tipo de proyectos en el sector minero, de realizar una propuesta de investigación que permita presentar un modelo de gestión útil para las empresas del sector.

Para el desarrollo de la investigación, en primer lugar, se realizó la recopilación de la información existente sobre los modelos de gestión administrativa que utiliza el sector minero; a continuación, se caracterizaron los componentes metodológicos necesarios para la construcción del modelo y se diseñó el modelo, incluyendo herramientas de innovación a través de metodologías de trabajo colaborativo. Finalmente, y con el propósito de recopilar los datos necesarios, se realizaron entrevistas semiestructuradas para profundizar en la identificación de los sistemas de gestión administrativa comúnmente utilizados por la empresa minera; igualmente se entrevistó a los gerentes de dos empresas constructoras que desarrollan proyectos para la industria minera, así como a profesionales con experiencia en la construcción y administración de proyectos de infraestructura minera, concretamente al Gerente de Operaciones y al Jefe de Obras Civiles de Minera El Roble S.A.

Los resultados obtenidos evidencian la necesidad de estructurar un modelo de gestión que ayude a las empresas mineras y contratistas a mejorar los procesos de identificación, gestión,

formulación, contratación, ejecución y operación de proyectos de infraestructura, agregando valor en la optimización de los recursos económicos, reduciendo tiempos y pérdidas por incumplimiento o planificación inadecuada. Este modelo permite mejorar los procesos de planificación, diseño, contratación, ejecución, seguimiento y control, gestión de recursos humanos y financieros, comunicación y gestión del cambio; también propone el uso de una herramienta de trabajo colaborativo que integra modelos 3D, permite la integración de disciplinas y ayuda a la planificación, programación, mejorando el control de costes y presupuestos.

Palabras clave: Estructuración, contratación, ejecución, proyecto, minería, infraestructura, BIM, Lean Construction, trabajo colaborativo.

ABSTRACT

This work aims to create an administrative management model that allows achieving success in the structuring, contracting, and execution of infrastructure projects in the mining sector. This model establishes the necessary tools, measures, and controls for effective and efficient management of this type of civil projects, incorporating collaboration tools, project management, and artificial intelligence-based applications that contribute to optimizing processes.

The development of mining activity requires the construction of large infrastructure works, which in some cases present a high degree of complexity due to requirements in terms of stability, use, durability, storage capacity, utility, and operability. Given that the main business of the mining company does not include the execution of civil engineering works, the intervention of expert personnel in areas of knowledge such as civil engineering, execution of mining works, and project management is necessary; therefore, an opportunity is identified, based on the author's experience in the execution of this type of projects in the mining sector, to carry out a research proposal that allows presenting a useful management model for companies in the sector.

For the development of the research, first, the existing information on the administrative management models used by the mining sector was collected; then, the methodological components necessary for the construction of the model were characterized, and the model was designed, including innovation tools through collaborative work methodologies. Finally, and with the purpose of collecting the necessary data, semi-structured interviews were conducted to delve into the identification of the administrative management systems commonly used by the mining company; likewise, managers of two construction companies that develop projects for the mining industry were interviewed, as well as professionals with experience in the construction and administration of mining infrastructure projects, specifically the Operations Manager and the Head of Civil Works of Minera El Roble S.A.

The results obtained show the need to structure a management model that helps mining companies and contractors to improve the processes of identification, management, formulation, contracting, execution, and operation of infrastructure projects, adding value in the optimization of economic resources, reducing times and losses due to non-compliance or inadequate planning. This model allows improving the processes of planning, design, contracting, execution, monitoring and

control, human and financial resource management, communication, and change management; it also proposes the use of a collaborative work tool that integrates 3D models, allows the integration of disciplines, and helps in planning, scheduling, improving cost and budget control.

Keywords: Structuring, contracting, execution, project, mining, infrastructure, *BIM*, *Lean Construction*, collaborative work.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	14
1. JUSTIFICACIÓN	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo General	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
3.1. Planteamiento del problema	18
3.2. Objeto del problema.....	19
3.3. Formulación del problema	19
4. MARCO DE CONCEPTUAL	20
*Gestión del Alcance del Proyecto	24
Gestión del Tiempo del Proyecto	24
Gestión de Los Costos del Proyecto.....	24
Project Management Institute (PMI).....	24
Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK séptima edición)	24
5. MARCO TEÓRICO	27
5.1. Una mirada genérica	27
5.2. Marco Legal.....	29
5.3. Desarrollo de modelos de gestión en el sector minero	31

6.	DISEÑO METODOLÓGICO	33
6.1.	Tipo de Investigación	33
6.2.	Muestra y Población por analizar	33
6.3.	Técnicas e instrumentos de investigación	33
6.4.	Procesamiento de la Información.....	34
6.5.	Actividades que se realizaron para el logro de los objetivos específicos.....	34
7.	DISEÑO DEL MODELO.....	36
7.1.	Etapas del modelo	38
7.1.1.	Estructuración.....	38
7.1.1.1.	Definición del alcance	40
7.1.1.2.	Estudio de viabilidad	40
7.1.1.3.	Diseño preliminar	40
7.1.1.4.	Planificación y programación	41
7.1.1.5.	Adquisición de recursos.....	41
7.1.1.6.	Construcción y seguimiento.....	41
7.1.1.7.	Pruebas y puesta en marcha	41
7.1.1.8.	Control y cierre del proyecto	42
7.1.1.9.	Herramientas tecnológicas	42
7.1.2.	Contratación	44
7.1.2.1.	Definir la necesidad de contratación.....	44
7.1.2.2.	Diseño de los documentos de contratación	45
7.1.2.3.	Publicación de la Convocatoria	45
7.1.2.4.	Recepción de Propuestas	46
7.1.2.5.	Evaluación de Propuestas	46
7.1.2.6.	Adjudicación del Contrato	46
7.1.2.7.	Herramientas tecnológicas	47
7.1.2.8.	Mecanismos de control durante la etapa de contratación.....	51
7.1.3.	Ejecución.....	55
7.1.3.1.	Dirección Ejecutiva.....	55
7.1.3.2.	Gestión de Proyectos	56
7.1.3.3.	Gestión de Recursos Humanos	57
7.1.3.4.	Gestión Financiera	57

7.1.3.5.	Gestión del Tiempo.....	58
7.1.3.6.	Gestión de Riesgos	58
7.1.3.7.	Comunicación	59
7.1.3.8.	Control de Calidad	59
7.1.3.9.	Adquisiciones y Contratos	59
7.1.3.10.	Seguridad y Salud Ocupacional	60
7.1.3.11.	Herramientas tecnológicas	60
7.1.3.12.	Mecanismos de Control durante la ejecución	62
a.	Control Financiero	63
b.	Control Técnico	64
c.	Control de Calidad	64
d.	Control de Plazos	64
e.	Control Ambiental y Social.....	65
f.	Control Legal y Contractual	65
g.	Evaluación Continua del Desempeño del Contratista	65
h.	Comunicación Transparente	65
i.	Auditoría Externa.....	65
7.1.3.13.	Aplicación del ciclo PHVA durante la ejecución del Proyecto	66
	Planificar.....	66
	Hacer.....	66
	Verificar.....	67
	Actuar	67
	Conceptos Clave:	67
7.1.3.14.	Indicadores clave de rendimiento (KPI)	68
	Costo Total del Proyecto (CTP).....	68
	Índice de Desviación de Costos (IDC).....	69
	Cumplimiento de Plazos (CP).....	69
	Índice de Seguridad y Salud Ocupacional (ISSO)	69
	Calidad del Proyecto (CP)	69
	Índice de Satisfacción del Cliente (ISC)	69
	Eficiencia en el Uso de Recursos (EUR)	69
	Índice de Cumplimiento Ambiental (ICA)	69
	Índice de Riesgos Resueltos (IRR)	70
	Productividad del Personal (PP)	70
	Índice de Cumplimiento Normativo (ICN)	70
7.2.	Transformación digital en los proyectos de infraestructura para el sector minero	70
7.2.1.	Eficiencia y productividad.....	71

7.2.2.	Colaboración en tiempo real.....	71
7.2.3.	Optimización de recursos	71
7.2.4.	Control de calidad integrado.....	72
7.2.5.	Adaptabilidad y mejora continua.....	72
7.2.6.	Integración de valor	72
7.2.7.	Optimización de resultados	72
7.2.8.	Beneficios de la transformación digital	73
7.3.	Aplicación de IA en proyectos de infraestructura para el sector minero	73
7.3.1.	Inspección Visual Automatizada	74
7.3.2.	Análisis de Imágenes Satelitales y Drones	74
7.3.3.	Sensores IoT para Monitoreo Continuo.....	75
7.3.4.	Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) para Informes	75
7.3.5.	Machine Learning para Planificación y Riesgos	75
7.3.6.	Modelos Predictivos para Mantenimiento Preventivo	76
7.3.7.	Plataformas de Colaboración Virtual.....	76
7.3.8.	Análisis de Datos Geoespaciales	76
7.4.	Uso de BIM en proyectos de infraestructura para el sector minero	77
7.4.1.	Entender los Principios BIM	77
7.4.2.	Selección de Software BIM	79
7.4.3.	Modelado de Información	79
7.4.4.	Colaboración Multidisciplinaria	79
7.4.5.	Integración de Datos	79
7.4.6.	Simulaciones y Análisis.....	79
7.4.7.	Documentación Detallada.....	80
7.4.8.	Gestión del Ciclo de Vida.....	80
7.4.9.	Capacitación del Personal:.....	80
7.4.10.	Revisión Continua	80
7.5.	Uso de Lean Construction en proyectos de infraestructura para el sector minero	82
7.5.1	Entender los Principios de Lean Construction	82
7.5.2.	Formación y Concientización	84
7.5.3.	Identificación de Desperdicios.....	84
7.5.4.	Planificación Colaborativa.....	84
7.5.5.	Mejora Continua	84
7.5.6.	Colaboración y Comunicación.....	84
7.5.7.	Implementación de Pull Planning	84

7.5.8. Gestión Visual.....	85
7.5.9. Control de Calidad Integrado.....	85
7.5.10. Uso Eficiente de Recursos	85
7.5.11. Medición del Desempeño.....	85
7.5.12. Retroalimentación y Lecciones Aprendidas.....	85
7.6. Uso de plataformas de trabajo colaborativo en proyectos de infraestructura para el sector minero ..	85
7.6.1. BIM 360 (Autodesk)	86
7.6.2. Procore.....	87
7.6.3. Primavera P6 (Oracle):	87
7.6.4. Plan de uso genérico para trabajo colaborativo en Proyectos de infraestructura para el sector minero:	88
Fase de Preparación	88
Desarrollo de Documentación.....	88
7.7. Importancia de la capacitación tecnológica integral	89
7.7.1. Mejora de la Eficiencia Operativa	90
7.7.2. Optimización de la Comunicación	90
7.7.3. Gestión Efectiva de Proyectos	90
7.7.4. Mejora de la Calidad	90
7.7.5. Adaptabilidad a la Innovación	90
7.7.6. Beneficios para Diferentes Roles	91
CONCLUSIONES.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	99

Lista de tablas

TABLA 1. DESARROLLOS QUE HAN ABORDADO EL TEMA DE ESTUDIO.	31
TABLA 2. GUION DE ENTREVISTA ÁREA ADMINISTRATIVA MINERA EL ROBLE S.A.	99
TABLA 3. GUION ENTREVISTA ÁREA OBRAS CIVILES MINERA EL ROBLE S.A.	100
TABLA 4. RESPUESTAS ENTREVISTA MINERA EL ROBLE.	101
TABLA 5. GUION ENTREVISTA ÁREA ADMINISTRATIVA E&A CONSTRUCTORES SAS.	104
TABLA 6. GUION ENTREVISTA ÁREA OBRAS CIVILES E&A CONSTRUCTORES SAS.	105
TABLA 7. RESPUESTAS ENTREVISTAS E&A CONSTRUCTORES SAS.	106
TABLA 8. GUION ENTREVISTA ÁREA ADMINISTRATIVA PROFESIONAL EXPERTO.	109
TABLA 9. GUION ENTREVISTA ÁREA OBRAS CIVILES PROFESIONAL EXPERTO.	110
TABLA 10. RESPUESTAS A ENTREVISTA PROFESIONAL FREDY GARCÍA CITERIO.	111
TABLA 11. RESPUESTA ENTREVISTA PROFESIONAL BORIS GARCÍA FONTALVO.	114

Lista de figuras

ILUSTRACIÓN 1. ETAPAS DEL MODELO.	37
ILUSTRACIÓN 2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL PROPUESTA PARA EL MODELO.	38
ILUSTRACIÓN 3. ETAPA DE ESTRUCTURACIÓN.	39
ILUSTRACIÓN 4. HERRAMIENTAS DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA ESTRUCTURACIÓN.	43
ILUSTRACIÓN 5. ETAPA DE CONTRATACIÓN.	45
ILUSTRACIÓN 6. HERRAMIENTAS DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA CONTRATACIÓN.	48
ILUSTRACIÓN 7. MECANISMOS DE CONTROL DURANTE LA ETAPA DE CONTRATACIÓN.	52
ILUSTRACIÓN 8. ETAPA DE EJECUCIÓN.	56
ILUSTRACIÓN 9. CONTROLES DURANTE LA EJECUCIÓN.	63
ILUSTRACIÓN 10. CICLO PHVA PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.	68
ILUSTRACIÓN 11. USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA MINERA.	71
ILUSTRACIÓN 12. APLICACIÓN DE IA EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA EL SECTOR MINERO.	74
ILUSTRACIÓN 13. USO DE BIM EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA EL SECTOR MINERO.	78
ILUSTRACIÓN 14. CURVA DE MACLEAMY. TOMADO DE BIM FÓRUM COLOMBIA 2023	81
ILUSTRACIÓN 15. LEAN CONSTRUCTION EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA EL SECTOR MINERO.	82
ILUSTRACIÓN 16. USO DE PLATAFORMAS DE TRABAJO COLABORATIVO.	86
ILUSTRACIÓN 17. IMPORTANCIA DE CAPACITACIÓN TECNOLÓGICA INTEGRAL.	89

Introducción

La industria minera representa un reglón significativo en la economía colombiana, con implicaciones importantes para la región suramericana; Colombia cuenta con una gran diversidad de recursos minerales, lo que ha llevado a que la minería se posicione como uno de los sectores clave para el desarrollo económico y la generación de empleo en el país; de acuerdo con las cifras reportadas por la asociación colombiana de minería (ACM) para el año 2022 (Minería, 2023), el sector minero aportó 3% al PIB, alcanzando los 15 billones de pesos, cifra representada en regalías, impuestos y otras contribuciones; durante la última década se ha fortalecido la inversión en proyectos de exploración y explotación de minerales como: oro, cobre, plata, níquel, platino, esmeraldas y carbón. El establecimiento de nuevos proyectos mineros liderados por las empresas Anglo Gold Ashanti, Gran Colombia Gold, Antioquia Gold, Atico Mining Company, Zijin Continental Gold, Cerro Matoso, Minerales Córdoba, Zancudo Metals Corporation, entre otras; requiere de la intervención de la Ingeniería Civil en lo referente a la identificación, proyección, diseño, construcción, supervisión y mantenimiento de la infraestructura necesaria para que la minería logre cumplir con su *objeto social*, que no es otro que la explotación y comercialización de minerales.

La construcción de obras civiles en la industria minera se realiza, generalmente, a través de servicios de outsourcing, supervisados por la empresa minera. Para garantizar el éxito en la estructuración, contratación, ejecución, operación y mantenimiento de estas obras, es crucial que la empresa minera cuente con procesos bien definidos que abarquen la toma de decisiones, alcance, tiempo, costos, control de calidad, recursos humanos, logísticos, gestión de la información y riesgos. Esta gestión eficaz de proyectos es esencial debido a la magnitud, costos e impacto en la actividad minera, aportando un valor significativo a las organizaciones mineras.

Los retos en materia de la administración de proyectos apuntan al logro de objetivos claros como la definición acertada del alcance, la finalización en los tiempos previamente establecidos y dentro de los costos calculados, la disminución de los riesgos, la utilización eficiente de los recursos y la gestión adecuada del capital económico y humano.

Por lo expuesto, se propone la construcción de un modelo de gestión administrativa que sirva como herramienta para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura para

el sector minero colombiano, definiendo los aspectos más relevantes, las medidas y controles a implementar para cumplir con los indicadores de la gestión y administración de proyectos civiles. La herramienta propuesta permitirá además minimizar las pérdidas económicas generadas por retrasos en la ejecución, los defectos en la calidad de las obras originados por falta de control, los costos de mantenimiento y disminuir los riesgos no identificados durante la etapa de formulación y estructuración de los proyectos.

Se abordará la investigación identificando las herramientas de gestión administrativa comúnmente utilizadas por la industria minera colombiana en la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura, se caracterizarán los componentes metodológicos necesarios para la construcción del modelo, incluyendo componentes de innovación basados en herramientas de trabajo colaborativo. Finalmente, se diseñará el modelo de gestión administrativa integrando la información recolectada e incluyendo el componente de innovación más adecuado, este componente estará basado en la metodología BIM (*Building Information Modeling*), el sistema *Lean Construction* y otras herramientas tecnológicas; se optará particularmente por estos dos elementos debido a que cada uno contribuye de manera significativa a la construcción del modelo, *Lean Construction* contribuye a través de su capacidad para optimizar recursos, promover la mejora continua, reducir tiempos de ejecución, garantizar el control de calidad y fortalecer la gestión de riesgos en los proyectos de construcción, de manera que su aplicación aporta significativamente a la eficiencia, efectividad y éxito en la ejecución de obras de infraestructura minera. Por otro lado, *BIM* colabora a través de su capacidad para mejorar la eficiencia, la coordinación, la gestión de la información, la supervisión y el control de los proyectos, así como para facilitar la documentación y la gestión del ciclo de vida de la infraestructura; su implementación favorece significativamente a la optimización de recursos, la toma de decisiones informada y el éxito en la ejecución de las obras que demanda el sector minero. Adicionalmente, las herramientas tecnológicas como la Inteligencia Artificial y las plataformas para la gestión del trabajo, ayudan a los equipos de proyecto a automatizar tareas, organizar y planificar todas las actividades relacionadas con una iniciativa o trabajo determinado, así como a visualizar los proyectos de diferentes maneras, de acuerdo con las necesidades específicas.

1. Justificación

La administración es un aspecto crítico para el éxito de un proyecto, especialmente en el sector minero, donde la gestión eficiente es fundamental para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura. Estas obras, específicas y no convencionales, como campamentos, plantas de beneficio, presas de relaves, entre otras, requieren una gestión especializada y eficaz para garantizar su calidad, cumplir con los plazos y minimizar los costos de mantenimiento.

La inversión en infraestructura minera es esencial y debe cumplir con estándares rigurosos para garantizar la operación sin fallos y con eficiencia; aunque la construcción no es el objetivo principal de las empresas mineras, es crucial para la explotación de recursos minerales; por lo tanto, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo de gestión administrativa que permita programar, proyectar, contratar, ejecutar, operar y mantener la infraestructura física de manera eficiente y efectiva.

La propuesta de investigación busca crear un modelo de gestión administrativa que sirva como guía para las empresas mineras, optimizando la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura; este modelo se enfocará en controlar el alcance del proyecto, los tiempos de ejecución, los costos, los recursos humanos y logísticos, la gestión de la información y la comunicación, con el objetivo de minimizar pérdidas económicas y mejorar la calidad de las obras.

Este proyecto no solo representa la aplicación de conocimientos adquiridos en el programa de maestría, sino que también es un paso crucial para obtener el título de Máster en Administración de Negocios de la Universidad de Medellín. La investigación propuesta tiene como objetivo contribuir significativamente al sector minero al proporcionar un enfoque innovador y tecnológico para la gestión eficiente de proyectos de infraestructura en un entorno tan exigente como el sector minero.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura, que integre los componentes de la gestión con el uso de herramientas de trabajo colaborativo, comúnmente conocidas como BIM (*Building Information Modeling*) y el sistema *Lean Construction*, aplicable en las empresas del sector minero colombiano.

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar las herramientas de gestión administrativa utilizadas por la industria minera colombiana para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura.
2. Caracterizar los componentes metodológicos necesarios para la construcción de un modelo de gestión administrativa en la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura para el sector minero colombiano.
3. Identificar las metodologías de trabajo colaborativo como *BIM* y el sistema *Lean Construction*, aplicables al desarrollo del modelo.
4. Presentar una propuesta de integración de procesos y herramientas para la gestión de los proyectos de infraestructura en el sector minero colombiano.

3. Descripción del problema

3.1. Planteamiento del problema

La globalización de los mercados ha generado una necesidad apremiante de mejorar la competitividad de las empresas dedicadas a la explotación de minerales y piedras preciosas, como oro, plata, platino y esmeraldas, así como de minerales metálicos, como níquel, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y titanio. Esta necesidad implica la renovación y modernización de la infraestructura, los sistemas de exploración y beneficio, así como la tecnificación de la industria minera en general (Levitt, 2006).

En el sector minero colombiano, de acuerdo con las entrevistas realizadas a expertos y la experiencia en el campo de la minería, se evidencia la ausencia de una herramienta de gestión administrativa que apoye de manera específica la estructuración, contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura requeridos por la industria. Esta carencia genera una lamentable pérdida de recursos económicos, debido a:

- El incumplimiento de los plazos establecidos para la finalización de los proyectos.
- El desbordamiento de los presupuestos, causado por una deficiente gestión de costos.
- El escaso control de los procesos.
- La precaria gestión del recurso humano.
- El ineficiente manejo de la información y la comunicación entre las partes interesadas.

En este contexto, se hace necesario proponer un modelo de gestión administrativa que aumente las probabilidades de éxito en el desarrollo de las diferentes etapas de los proyectos de infraestructura minera, desde la estructuración hasta la ejecución. Este modelo debe considerar variables clave como el alcance, el tiempo y los costos, e integrar los procesos de inicio, planificación, contratación, ejecución, control y cierre. Además, debe incluir las etapas de operación y mantenimiento, así como las herramientas de innovación tecnológica necesarias para generar un manejo eficiente y eficaz de la información, que apoye la toma de decisiones.

Asimismo, se considera relevante que las herramientas utilizadas permitan generar reportes consolidados, los cuales puedan ser empleados como elementos de análisis y realimentación para la mejora continua de los procesos administrativos.

La generación de este modelo de gestión administrativa contribuirá significativamente a mejorar los indicadores de eficiencia y eficacia en la inversión de recursos para el mejoramiento y la tecnificación de la infraestructura minera colombiana. Esto se traducirá en la reducción de las pérdidas económicas generadas por el incumplimiento de los plazos de ejecución, los altos presupuestos asociados a la falta de gestión de costos y recursos humanos, y la incorporación de herramientas de innovación, como modelos de trabajo colaborativo y el uso de tecnologías de información, como *BIM (Building Information Modeling)* y *Lean Construction*.

3.2. Objeto del problema

El objeto del problema de investigación son los sistemas de gestión de las obras de infraestructura del sector minero colombiano, concretamente las empresas mineras que se dedican a la producción de metales y piedras preciosas como: oro, plata, platino y esmeraldas; y minerales metálicos como: níquel, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y titanio.

3.3. Formulación del problema

El problema por resolver es la ineficiencia con que se gestionan algunos proyectos de infraestructura en la industria minera colombiana, aceptándose la hipótesis de que la causa de tal ineficiencia es la carencia de un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos, que contenga los procesos que deben aplicarse en cada una de las fases de la gestión y administración, así como las alternativas de innovación a través del uso e implementación de herramientas de trabajo colaborativo combinadas con el uso de tecnologías de la información.

Teniendo en cuenta lo expuesto, se define la pregunta de investigación de la siguiente manera: ¿Cuáles son los factores clave, que deben considerarse para el diseño de un modelo de gestión que aplicado a la estructuración, contratación, ejecución e innovación de proyectos de infraestructura en el sector minero colombiano?

4. Marco de conceptual

La administración de proyectos forma parte de la estructura fundamental de las empresas dado que aporta a la consecución de las estrategias organizacionales y al cumplimiento de los objetivos misionales. Para el caso de los proyectos de infraestructura en el sector minero, cobran especial interés las fases de estructuración, contratación y ejecución, entendiendo así la administración de proyectos de infraestructura como la acción de gestionar los recursos humanos, tecnológicos, materiales y económicos en un conjunto de actividades anticipadamente programadas y diseñadas para obtener, en un tiempo previamente establecido, las obras o equipamientos que se demanden para prestar un servicio determinado o generar la transformación y producción de algo, todo esto dentro de los estándares de calidad, funcionalidad y costo (Chiavenato, 2019, págs. 7-9).

La información relacionada con el diseño de modelos de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura en el sector minero colombiano es prácticamente nula, sin embargo, existe numerosa bibliografía disponible en la que se aborda la implementación de modelos de gestión para organizaciones o empresas de diferentes objetos sociales, entre los autores se pueden mencionar: Tirado (2013), Ibarra y Castro (2015), Herrera y Sarmiento (2022) . Generalizando, los principales modelos de gestión de proyectos toman como referente los estándares profesionales en gestión de proyectos propuestos por el *Project Manager Institute* (PMI) y la “Guía de Fundamentos para la Dirección de Proyectos” (PMBOK) que, periódicamente, publica el instituto como resultado de las reflexiones sobre las prácticas de gestión de proyectos de miles de gestores en el mundo. Para el trabajo de investigación propuesto se han consultado diferentes fuentes bibliográficas entre ellas revistas, libros, tesis de maestría, guías metodológicas, los documentos del *Project Manager Institute* y la guía PMBOK.

Para abordar la investigación es necesario definir algunos conceptos clave, necesarios para la construcción del modelo de gestión, dado que el elemento principal es la administración de proyectos.

Administración: La administración constituye la manera de utilizar los diversos recursos organizacionales (humanos, materiales, financieros, informáticos y tecnológicos para alcanzar objetivos y lograr excelente desempeño) Administración es el proceso de planear, organizar, dirigir y controlar el empleo de los recursos organizacionales para alcanzar determinados objetivos de

manera eficiente y eficaz. Administración no significa ejecutar tareas u operaciones, sino lograr que sean ejecutadas por otras personas en conjunto. El administrador no es aquel que ejecuta tareas, sino, el que consigue que otras las realicen. La administración logra que las personas cumplan las tareas para llevar las organizaciones al éxito. La administración no es una ciencia, exacta, sino una ciencia social, pues al tratar con negocios y organizaciones, trata con personas (Chiavenato, La administración en los nuevos tiempos, 2002).

Gestión Administrativa: se refiere al conjunto de actividades, procesos y prácticas utilizadas para planificar, organizar, dirigir y controlar los recursos y actividades de una organización con el fin de alcanzar sus objetivos de manera eficiente y efectiva. Involucra la toma de decisiones, la asignación de recursos, el establecimiento de políticas y procedimientos, y la supervisión de las operaciones cotidianas para garantizar un funcionamiento fluido y exitoso de la entidad; según (Briones, 2018), la gestión administrativa tiene un carácter sistémico, al ser portadora de acciones coherentemente orientadas al logro de los objetivos a través del cumplimiento de las clásicas de la gestión en el proceso administrativo: planear, organizar, dirigir y controlar.

***Proyecto:** esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos indica un principio y un final para el trabajo del proyecto o una fase del trabajo del proyecto. Los proyectos pueden ser independientes o formar parte de un programa o portafolio. (Guía del PMBOK®, 2021)¹.

***Dirección de proyectos:** aplicación de conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas a actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. La dirección de proyectos se refiere a orientar el trabajo del proyecto para entregar los resultados previstos. Los equipos del proyecto pueden lograr los resultados utilizando una amplia gama de enfoques (por ejemplo, predictivos, híbridos y adaptativos) (Guía del PMBOK®, 2021).

***Director del proyecto:** persona nombrada por la organización ejecutante para liderar al equipo del proyecto que es responsable de alcanzar los objetivos del mismo. Los directores del proyecto realizan una variedad de funciones, tales como facilitar el trabajo del equipo del proyecto para

¹ Las definiciones marcadas con * han sido tomadas de la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®).

lograr los resultados y gestionar los procesos para entregar los resultados previstos. En la Sección 2.3 están identificadas funciones adicionales (Guía del PMBOK®, 2021).

***Equipo del proyecto:** conjunto de individuos que realizan el trabajo del proyecto con el fin de alcanzar sus objetivos (Guía del PMBOK®, 2021).

***Valor:** cualidad, importancia o utilidad de algo. Los diferentes interesados perciben el valor de diferentes maneras. Los clientes pueden definir el valor como la capacidad de usar características o funciones específicas de un producto. Las organizaciones pueden centrarse en el valor de negocio según lo determinado utilizando métricas financieras, tales como los beneficios menos el costo de lograr esos beneficios. El valor social puede incluir la contribución a grupos de personas, comunidades o al medio ambiente (Guía del PMBOK®, 2021).

Infraestructura: conjunto de obras, instalaciones, medios técnicos y servicios necesarios para desarrollar una actividad o para atender la demanda social y/o las necesidades de consumo del ser humano.

Planeación: es la función que comienza el ciclo, establece los elementos y criterios generales sobre los que se asientan las demás; consiste en determinar las bases que guíen la acción futura. El proceso de planeación consiste en la determinación de los objetivos, el estado de cosas futuro que se desea alcanzar y los lineamientos generales de las acciones que deben realizarse para conseguirlo. En este sentido, planear consiste en determinar los objetivos que se espera alcanzar y los cursos de acción adecuados para alcanzarlos.

Organización: consiste esencialmente en la estructuración de la organización para la persecución de los objetivos establecidos. Hace referencia a cuál es la mejor manera de dividir el trabajo y cómo agrupar y coordinar las tareas de la forma más efectiva, así como también al establecimiento de líneas de autoridad y responsabilidad, y a la asociación de personas y recursos a puestos específicos.

Contratación: la contratación es el proceso realizado para seleccionar, de manera objetiva, a uno o a varios contratistas que se encargaran de la ejecución de las actividades de construcción, montaje, instalación de equipos y puesta en marcha, previstas en el proyecto de infraestructura,

esta atapa es fundamental para el éxito del proyecto y debe ser diseñada teniendo en cuenta los costos (directos e indirectos), tiempos, alcances, especificaciones técnicas, obligaciones legales y garantías.

Dirección: hace referencia a la conducción hacia la consecución de los objetivos establecidos, es decir, cómo se motoriza la capacidad de acción potencial que representa una organización. La dirección implica decidir cómo orientar los recursos humanos, logísticos, técnicos, tecnológicos y económicos hacia la persecución de los objetivos establecidos. La dirección, es transversal a toda la estructura organizacional, ya que en todos los niveles se requieren funciones de dirección.

Control: el control posee la finalidad de verificar los resultados obtenidos por medio de la acción organizacional y de contrastarlos con los planes establecidos. El objetivo de los procesos de control consiste en identificar los desvíos existentes entre lo que se planeó y los resultados obtenidos, a fin de identificar las causas del desvío y rectificar el curso de acción organizacional por medio de acciones correctivas orientándolo hacia los objetivos establecidos. (Marco & Loguzzo, 2016, págs. 45-46).

Eficiencia: Se basa en hacer las cosas bien y se centra en las habilidades de la persona para realizar las tareas o procesos que permitirán cumplir con un objetivo (Drucker, 1954).

Eficacia: Consiste en hacer lo correcto, de la manera correcta y en el momento correcto. Se centra en el uso adecuado de recursos, medios y tiempo para cumplir un objetivo (Drucker, 1954).

Efectividad: la efectividad es la combinación de los conceptos anteriores, es decir, un equilibrio entre hacer las cosas bien y hacer lo correcto con el menor uso de recursos y de tiempo para alcanzar la máxima calidad en nuestro objetivo (Drucker, 1954).

Dentro de las variables que se deben controlar para lograr un desempeño con eficiencia y eficacia en la estructuración y ejecución de proyectos de infraestructura se encuentran el alcance, el tiempo y los costos; de manera que es importante definir, lineamientos específicos para su gestión. En este sentido se revisará el referente del PMBOK, propuesto por el *Project Management Institute (PMI)*.

***Gestión del Alcance del Proyecto**

La Gestión del Alcance del Proyecto incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo requerido y únicamente el trabajo para completar el proyecto con éxito. Gestionar el alcance del proyecto se enfoca primordialmente en definir y controlar qué se incluye y qué no se incluye en el proyecto (Guía del PMBOK®, 2021).

Gestión del Tiempo del Proyecto

Es un elemento crucial en la dirección de proyectos, utiliza un enfoque sistemático para planificar, controlar y actualizar el cronograma del proyecto, con el objetivo de completarlo en el tiempo previsto. Esto implica una serie de procesos, como la planificación, la elaboración del cronograma, el control y la actualización del cronograma. A través de estos procesos, se puede gestionar el tiempo del proyecto de manera efectiva, identificando y gestionando los cambios en el cronograma conforme suceden, y garantizando que el proyecto se complete dentro del plazo establecido. (Guía del PMBOK®, 2021).

Gestión de Los Costos del Proyecto

La Gestión de los Costos del Proyecto incluye los procesos relacionados con planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado (Guía del PMBOK®, 2021).

Project Management Institute (PMI)

Es una organización con sede en Estados Unidos que asocia a profesionales relacionados con la Gestión de Proyectos, es la más grande del mundo y está integrada por cerca de quinientos mil miembros en aproximadamente cien países. Sus principales objetivos son: formular estándares profesionales en gestión de proyectos, generar conocimiento a través de la investigación, y promover la gestión de proyectos como profesión a través de sus programas de certificación. (Project Management Institute, 2021).

Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK séptima edición)

La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos - *Project Management Body of knowledge* (Guía del PMBOK®), proporciona pautas y define conceptos para dirección de

proyectos, es un documento formal que describe pautas, métodos y procesos reconocidos como buenas prácticas, su aplicación puede aumentar la posibilidad de éxito de los proyectos, sin embargo, su naturaleza de guía hace que no sea aplicable a todos los proyectos de manera indistinta ya que no es considerada como una metodología.

La *Guía del PMBOK®*, en su séptima edición, es una referencia fundamental para la dirección de proyectos, que proporciona estándares y mejores prácticas reconocidas a nivel internacional. Incluye procesos, herramientas y técnicas para la gestión de proyectos, abarcando áreas como el alcance, el tiempo, el costo, la calidad, los recursos, la comunicación, los riesgos, las adquisiciones y las partes interesadas. La guía se centra en la entrega de valor a través de la aplicación efectiva de la dirección de proyectos, adaptándose a diferentes contextos y necesidades.

Dentro de los elementos a considerar en la estructuración del modelo de gestión, propuesto, se incluye la aplicación de la metodología BIM (por sus siglas en inglés: Building Information Modeling) y de la herramienta *Lean Construction*, también conocida como lean 4.0.

Building Information Modeling: metodología de trabajo colaborativo para la creación y gestión de proyectos de construcción, su principal objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital que es creado por todos los involucrados. Esta metodología representa la evolución de los sistemas de diseño tradicionales (2D), incorporando información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costos (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D). (Araújo-Rey & Sebastián, 2019).

Lean Construction: filosofía que hace hincapié en la eliminación de elementos que no añaden valor a los procesos, se enfoca en la mejora continua con el objetivo de agilizar las operaciones. Su objetivo principal es orientar los procesos constructivos de manera que se supriman las actividades que no agregan valor al proyecto y se optimicen aquellas que sí lo hacen. (Rojas López, Henao Grajales, & Valencia Corrales, 2016).

Administración de Proyectos Civiles: Es fundamental explorar el concepto de administración de proyectos civiles; a pesar de la amplia bibliografía disponible que aborda este campo como Baca G. (1995) Evaluación de Proyectos. McGraw Hill, Turner, J. R. (2014). The Handbook of Project-Based Management. McGraw-Hill Education, Winch, G. M. (2010). Managing Construction

Projects. John Wiley & Sons; se ha optado por aceptar el enfoque general presentado por Campero y Alarcón (2008) en el libro "Administración de Proyectos Civiles". Este libro se centra en la gestión de proyectos y utiliza ejemplos del sector de la construcción, incluyendo áreas como el desarrollo de obras mineras, para ilustrar sus principios y aplicaciones.

Los Autores citados, abordan los fundamentos esenciales de la administración de proyectos aplicados a proyectos civiles; definen el proyecto civil como una obra con características específicas, destinada a satisfacer una necesidad precisa, su materialización implica actividades que van desde el diseño hasta la verificación de su correcto funcionamiento. En este sentido, la administración de proyectos se concibe como el proceso que permite a los responsables alcanzar los objetivos establecidos, evolucionando a lo largo del tiempo y adaptándose a diferentes culturas.

En cuanto a las etapas de la administración de proyectos, se destacan la planificación eficiente en todas las fases del proyecto para eliminar pérdidas, agregar valor al producto y buscar la mejora continua en la gestión; los autores usan investigaciones recientes para presentar alternativas de gestión que permitan optimizar la planificación en todas las etapas del proyecto, que resultan de interés para la propuesta de esta investigación.

Así mismo, en términos de la estructura organizacional, se abordan los conceptos generales de planificación, las técnicas para resolver conflictos y las estrategias de contratación para atraer personal especializado. Este referente es útil porque proporciona una visión completa desde la planificación inicial hasta la ejecución del proyecto, incluyendo aspectos como delegación de tareas, control de gestión, coordinación y evaluación de resultados.

En general, la propuesta de Campero y Alarcón ofrece una guía detallada sobre la administración efectiva de proyectos civiles, cubriendo desde los conceptos básicos hasta las estrategias avanzadas para garantizar el éxito en la gestión de proyectos en el ámbito civil.

5. Marco Teórico

5.1. Una mirada genérica

La minería juega un papel fundamental en la economía de Colombia, ya que genera altos ingresos y contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) del país. De acuerdo con las cifras reportadas por la asociación colombiana de minería (ACM) para el año 2022 (Minería, 2023), el sector minero aportó 3% al PIB, alcanzando los 15 billones de pesos, cifra representada en regalías, impuestos y otras contribuciones. Además, la industria minero-energética representa el 7% del PIB nacional, contribuye con el 36% de participación en ventas externas, aporta el 80% de la economía en los municipios mineros y genera más de ciento sesenta mil empleos directos y cerca de setecientos cincuenta mil indirectos. Estas cifras resaltan la importancia económica de la minería en Colombia y su papel en el desarrollo nacional. Es importante tener en cuenta que, si bien la minería puede tener impactos positivos en la economía, también es necesario considerar y gestionar los impactos ambientales y sociales que esta actividad puede generar para garantizar un desarrollo sostenible y equitativo en el país (Cruz, 2023).

La industria minera de Colombia enfrenta retos significativos en términos de impacto socioambiental, regulación e inclusión social, no obstante, también ofrece oportunidades para el crecimiento económico, el desarrollo regional, la innovación tecnológica y la sostenibilidad a largo plazo. la modernización sectorial en la minería colombiana es fundamental para garantizar un crecimiento sostenible, mejorar la competitividad, fortalecer la regulación y promover relaciones positivas con las comunidades locales (Cuesta, Ochoa, & Penagos, 2014) .

la minería en Colombia ha tenido un desempeño destacado en términos de aportes fiscales, generación de empleo y contribución al PIB nacional, consolidándose como un pilar fundamental de la economía del país (Minería en Cifras, 2023). A continuación, se presentan los sectores representativos en los que ha influido positivamente:

Compras de Bienes y Servicios: En 2021, el 75% de las compras de bienes y servicios en el sector minero se realizaron en el territorio nacional, representando un total de 13,3 billones de pesos en ese año (Minería, 2023) .

Aportes Fiscales: En 2022, el sector minero triplicó su aporte fiscal respecto al promedio de los últimos años, alcanzando los 15,1 billones de pesos. Este aporte incluye impuestos, regalías y compensaciones (Minería, 2023).

Renta Minera y Regalías: En 2022, la renta minera (sin petróleo) fue de 5,4 billones de pesos, las regalías mineras (sin petróleo) ascendieron a 6,1 billones de pesos, y otros impuestos estimados sumaron 3,6 billones de pesos (Minería, 2023).

Empleo en la Minería: Por cada empleo directo en el sector minero, se generan más de 4 empleos indirectos. Este impacto se distribuye en diferentes áreas como el carbón mineral y minerales metálicos y no metálicos (Minería, 2023).

Participación en el PIB Nacional: A lo largo de los años, la minería ha tenido una evolución significativa en su participación en el PIB nacional. Se destaca un aumento en los aportes al PIB a lo largo de los años, reflejando la importancia creciente del sector en la economía del país.

En un contexto global, la minería puede contribuir al logro de los objetivos del milenio, planteados en la agenda 2030, esto debido a capacidad para impulsar el desarrollo económico, social y medioambiental sostenible a través de la generación de empleo, el crecimiento económico, la innovación, el desarrollo comunitario, la gestión sostenible de recursos y la restauración ambiental, particularmente, podría contribuir al logro de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (Narrea, 2018).

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico: La minería puede generar empleo directo e indirecto, promoviendo el crecimiento económico y contribuyendo al desarrollo sostenible de las comunidades.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura: La industria minera impulsa la innovación tecnológica y la creación de infraestructuras necesarias para su operación, lo que a su vez puede beneficiar a otros sectores económicos.

ODS 12: Producción y consumo responsables: Se busca promover una gestión sostenible de los recursos naturales en la minería, tanto durante la exploración y explotación como en el cierre de minas, para garantizar un uso eficiente de los recursos y minimizar el impacto ambiental.

ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos: La colaboración entre el sector minero, el gobierno, la sociedad civil y otras partes interesadas es fundamental para alcanzar los ODS relacionados con la minería y garantizar un desarrollo sostenible

5.2. Marco Legal.

En Colombia, el marco legal relacionado con la aplicación de modelos de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura en el sector minero parte desde la Constitución Política de Colombia (Artículos 28 y 29), las Leyes 685 de 2001 y 2250 de 2021 por medio de las cuales se expide el código de minas y se establece un marco jurídico especial en materia de legalización y formalización minera, respectivamente; los decretos 2236 de 1994 y 1886 de 2015 regulan la pequeña minería de hecho y la seguridad en las labores mineras subterráneas, respectivamente. Es importante mencionar que, aunque no hay una regulación específica para el uso de herramientas tecnológicas como BIM (*Building Information Modeling*) y *Lean Construction* en el sector minero, estas pueden ser aplicadas en proyectos de infraestructura minera bajo las regulaciones generales de construcción y gestión de proyectos que existen.

La Constitución Política de Colombia establece que *“el Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes”* y determina que *“el Estado intervendrá, por mandato de la ley, en la explotación de los recursos naturales”* (Asamblea Nacional Constituyente, 1991, Artículos 28 y 29).

El Código de Minas se constituye en el principal instrumento legal aplicable al sector minero. Regula las relaciones entre los particulares y el Estado en el marco de proyectos mineros, *“le otorga la naturaleza de utilidad pública e interés social a la industria minera y establece, en términos generales, las normas que rigen los trabajos de exploración y explotación de minerales”*. Todo esto *“dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país”* (Congreso de la República de Colombia, 2001, Ley 685, Artículos 30 y 31).

Normativa general de contratación y ejecución de proyectos de infraestructura: En Colombia, la contratación y ejecución de proyectos de infraestructura, incluidos los relacionados con el sector

minero, están regulados por la Ley 80 de 1993 (Ley de Contratación Estatal) y sus decretos reglamentarios, como los Decretos 1150 de 2007, 1082 de 2015. Estas normativas establecen los principios, procedimientos y requisitos para la contratación pública y la ejecución de proyectos de infraestructura, aunque no hacen referencia específica a herramientas como *BIM*, *Lean Construction* o cualquier herramienta tecnológica alternativa que pueda ser utilizada como apoyo a los procesos de formulación, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura minera. Es importante destacar que, a nivel territorial, los municipios tienen la autonomía para establecer los usos del suelo a través de los Esquemas de Ordenamiento Territorial (Ley 388 de 1997 y Ley 1454 de 2011), estando dentro de sus competencias el estudio y aprobación de las licencias de construcción, requisito necesario para la ejecución de proyectos de infraestructura.

Normativa ambiental: Dado que la ejecución de proyectos mineros puede tener un impacto significativo en el medio ambiente, la regulación ambiental es crucial para garantizar el ejercicio de la minería responsable; la Ley 99 de 1993 y sus decretos reglamentarios establecen las normativas ambientales en Colombia, en general, los proyectos mineros deben cumplir con los requisitos de evaluación de impacto ambiental y obtener las correspondientes licencias ambientales.

Normativa de seguridad y salud ocupacional: La seguridad y salud ocupacional son aspectos fundamentales en proyectos mineros. La Resolución 1443 de 2014 y la Resolución 0312 de 2019 del Ministerio de Trabajo establecen los requisitos para la implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

Respecto al uso de herramientas tecnológicas como *BIM* y *Lean Construction*, aunque no existe una regulación específica para su aplicación en el sector minero colombiano, su implementación puede estar sujeta a las políticas internas de las empresas y a las exigencias contractuales de los proyectos, actualmente, la cámara colombiana de la construcción promueve la implementación de la metodología *BIM* en las empresas del sector a través del *BIM Forum Colombia* (Guías para la adopción BIM en las Organizaciones, 2019).

5.3. Desarrollo de modelos de gestión en el sector minero

Lamentablemente, la literatura existente sobre modelos de gestión para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura en el sector minero es escasa; se encuentran algunos trabajos de autores latinoamericanos, particularmente a nivel de tesis de grado, artículos y documentos de índole educativa, como el estudio realizado por Herrera y Muñoz (2018) en Chile, el principal país generador de este tipo de literatura, donde la minería del cobre representa uno de sus mayores motores económicos. Destaca también Perú como productor de oro, plata y cobre, y finalmente Colombia, con una actividad minera diversa.

A continuación, en la Tabla 1, se presentan algunos trabajos de grado y otros desarrollos que han abordado el problema de la gestión de proyectos de infraestructura en el sector minero, destacando sus principales componentes y logros.

Tabla 1. Desarrollos que han abordado el tema de estudio.

Título	Año	Autor/Universidad	Principales aportes
Optimización de los Procesos de Desarrollo y Construcción en Minería de Block Caving: Caso Estudio Mina El Teniente Codelco Chile.	2012	Jorge Felipe Camhi Andrade, Universidad de Chile.	Destaca la importancia de la gestión eficiente de los proyectos de preparación minera, la necesidad de una correcta administración de contratos de construcción y la innovación en las actividades de desarrollo y construcción para minimizar riesgos laborales y mejorar la productividad.
Modelo de gestión y administración de proyectos operacionales.	2013	Pedro Daniel Hidalgo, Universidad de Chile.	Resalta la importancia de estandarizar la gestión de proyectos, generando una correcta reportabilidad del desempeño en aspectos clave como salud y seguridad, avance físico y costos.
Formulación de un modelo de gestión operacional para la construcción de la futura mina Chuquicamata subterránea.	2016	María Belén Kattan, Universidad de Chile.	Resalta la complejidad de los megaproyectos mineros y la importancia de un control y gestión efectivos para alcanzar los objetivos trazados. Se enfatiza la necesidad de promover la mejora continua, la eficiencia operativa y la productividad en los proyectos similares.
Gestión de la tecnología en los proyectos de innovación de una empresa peruana del sector minero. Estudio de caso.	2017	Corina Marilú Hernández, Pontificia Universidad Católica del Perú.	Concluye que la gestión de la tecnología en la empresa minera se enfoca principalmente en las funciones de implantar y proteger, con un desarrollo parcial en habilitar y planear, y una menor escala en la función de vigilar. Los proyectos de mayor inversión han tenido un mayor impacto y aceptación por parte de la alta dirección, lo que representa una oportunidad para impulsar la innovación en el núcleo del negocio.

Título	Año	Autor/Universidad	Principales aportes
Propuesta de un modelo de gestión de la demanda estratégica de tecnologías de la información para una empresa del sector minero.	2018	Yolanda Angélica Clavijo Zavaleta, William Gómez Rojo, Demetrio Martín Novoa Ortiz, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.	La implementación de este modelo de gestión permite a la empresa minera desarrollar proyectos alineados con sus objetivos estratégicos, mejorar la productividad, reducir costos y generar confianza en los accionistas.
Propuesta de transformación digital para implementar las tecnologías BIM en la construcción de proyectos de minería.	2022	José Junior Arrazabal M., Universidad Tecnológica del Perú.	Destaca la importancia de la transformación digital y la implementación de la tecnología BIM en la industria minera, resaltando la optimización de tiempo y recursos que estas herramientas pueden brindar. Enfatiza en la necesidad de seguir explorando y mejorando en este campo para lograr resultados relevantes y profundizar en la investigación.
Aplicación de la metodología BIM en el diseño del sistema de colección de un PAD de Lixiviación en la Unidad Minera Pucamarca – Tacna (Cacho Munenaka, 2022).	2022	María Elena Cacho Munenaka, Universidad César Vallejo – Perú.	La implementación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería minera, como el diseño del sistema de colección en la Unidad Minera Pucamarca, demuestra beneficios significativos en la optimización del diseño y la detección temprana de interferencias, lo que impacta positivamente en la planificación y ejecución de obras civiles.
Modelo de gestión de la cadena de suministro de una empresa minera para mejorar su gestión logística a nivel global.	2023	Diego Fernando Delgado, Universidad Ricardo Palma – Perú.	El modelo de gestión de la cadena de suministro es una herramienta efectiva para mejorar la gestión logística en empresas mineras. Se resalta la necesidad de una planificación logística adecuada, una organización eficiente, una dirección efectiva y un control riguroso para optimizar los procesos logísticos y alcanzar un nivel de gestión logística óptimo.
Lean Construction para la Gestión de Proyectos de Construcción.	2023	Gabriela Garcés y Cristian Peña, artículo publicado en la revista Ingeniería de Construcción.	Resalta la importancia de usar herramientas como el modelado 3D Building Information Modeling (BIM) para comprender mejor los procesos de construcción y optimizar los tiempos de entrega; destaca que, aunque BIM no es parte intrínseca de Lean Construction, puede ser una herramienta complementaria valiosa para el modelo LPDS (Lean Project Delivery System).
Uso de la herramienta BIM en la Evaluación de Costos en Proyectos Mineros de Perú y Chile.	2023	John Henry Carrera C., Universidad Privada del Norte – Cajamarca – Perú.	Destaca la relevancia de la implementación de la herramienta BIM en la evaluación de costos en proyectos mineros y su impacto en la industria minera de Perú y Chile.
Impacto de la Inteligencia Artificial en la Industria de la Ingeniería.	2023	Carlos Cheng, Eduardo Chung y Noriel Correa, revista especializada de Ingeniería y ciencias de la tierra.	Analiza el impacto de la Inteligencia Artificial (IA) en la industria de la ingeniería, enfocándose en la integración de la IA para la automatización de procesos, su repercusión en el empleo y la economía, y su capacidad para mejorar la calidad y eficiencia en el sector.

6. Diseño Metodológico

6.1. Tipo de Investigación

La investigación desarrollada se enmarca dentro los modelos exploratorio y descriptivo; lo anterior teniendo en cuenta que la pregunta de investigación indaga sobre los factores clave a considerar en la estructuración, ejecución e innovación de proyectos de infraestructura en el sector minero colombiano, tema poco estudiado y que cobra singular relevancia dado el auge de proyectos de exploración y explotación minera que actualmente se desarrollan en Colombia, así mismo tiene por objetivo la construcción de un modelo administrativo, en tal sentido será necesario identificar las características, propiedades, dimensiones y regularidades de la estructuración de proyectos para este sector; finalmente será necesario describir la metodología propuesta y construir el modelo.

6.2. Muestra y Población por analizar

La muestra que se analizó en el proceso de investigación corresponde a una empresa minera, dedicada a la explotación y beneficio de metales como: oro, plata, cobre, y otros sulfuros masivos, se adelantó el trámite para lograr la colaboración y aprobación de las entrevistas y acceso a fuentes de información en la empresa Minera El Roble, se analizó una pequeña empresa de Construcción dedicada a la ejecución de obras de infraestructura minera, esta empresa es E&A Constructores; finalmente, se acudió a la experiencia de cuatro profesionales con amplia trayectoria en el campo de las obras de infraestructura minera, particularmente en el sector administrativo y de ejecución de proyectos civiles para minería.

6.3. Técnicas e instrumentos de investigación

Para el desarrollo de la investigación se realizó el recaudo de información existente, a través de entrevistas semiestructuradas, sobre los modelos de gestión administrativa utilizados por el sector minero para la gestión y administración de proyectos de infraestructura; se caracterizaron los componentes metodológicos necesarios para la construcción del modelo de gestión administrativa en la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura para el sector minero colombiano y se diseñó el modelo de gestión administrativa, incluyendo la identificación y descripción de herramientas de innovación, modelos de inteligencia artificial y herramientas de trabajo colaborativo que pueden ser utilizadas para mejorar los procesos y optimizar los resultados.

Las encuestas fueron aplicadas a los jefes de obras civiles y a los departamentos administrativos de las empresas, asimismo a los profesionales seleccionados; los formularios de preguntas fueron diseñados y validados de acuerdo con los objetivos específicos propuestos y los alcances del proceso de investigación. Los instrumentos utilizados fueron: Encuestas, formularios en papel, diario de campo, registros de archivo, memorias, entre otros que apliquen al objeto investigado.

6.4. Procesamiento de la Información

La información recopilada fue analizada, seleccionada y organizada de acuerdo con los objetivos específicos, se realizó un complemento de esta de acuerdo con la experiencia y se llevó al documento modelo, así mismo se complementó con la inclusión de algunas herramientas de trabajo colaborativo diseñadas con base en tecnologías de la información, inteligencia artificial y complementadas con el sistema *Lean Construction*.

6.5. Actividades que se realizaron para el logro de los objetivos específicos.

Como se mencionó, se llevó a cabo el recaudo de la información de manera que se pudo identificar las herramientas de gestión administrativa comúnmente utilizadas por la industria minera para la estructuración y ejecución de proyectos de infraestructura, en ese orden de ideas se procedió de la siguiente manera, para el logro de los objetivos propuestos:

Para lograr el objetivo 1. Se realizó la identificación de herramientas a través de entrevistas al jefe del departamento de obras civiles y al encargado del área administrativa de las empresas seleccionadas; debido a que el sector minero guarda una fuerte reserva de su información metodológica y contractual, se optó por realizar el trabajo de campo solo en esta unidad minera ya que fue la única que permitió (de manera restringida) el diligenciamiento de las encuestas; como complemento de la muestra se optó por realizar las entrevistas a una empresa de construcción dedicada a la ejecución de obras de infraestructura para el sector minero, la información recaudada a través de esta entrevista permitió profundizar en el objeto de estudio; finalmente, como medio de acceso a información complementaria, se realizaron las entrevistas a cuatro profesionales dedicados a la ejecución de obras mineras desde el ámbito técnico y administrativo.

Para lograr el objetivo 2. Se realizó la caracterización de los componentes metodológicos necesarios para la construcción del modelo de gestión administrativa tomando en cuenta el

procesamiento de la información recolectada durante las entrevistas, la información obtenida de fuentes de consulta y acudiendo a la experiencia personal en el sector.

Para lograr el objetivo 3. Se diseñó el modelo de gestión administrativa incluyendo herramientas de innovación a través de software y metodologías de trabajo colaborativo, para este fin se propuso la herramienta de innovación más adecuada según la etapa del modelo de gestión administrativa, teniendo como primer planteamiento el uso de *Building Information Modeling* y la implementación de *Lean Construction* como herramienta para el mejoramiento y optimización de procesos (ver anexo).

7. Diseño del modelo

El modelo presentado se basa en la información recopilada a través de entrevistas semiestructuradas con empresas del sector y expertos en infraestructura para la industria minera. Para lograr los objetivos de la investigación, se identificaron las herramientas de gestión administrativa utilizadas en la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura minera. A continuación, se caracterizaron los componentes metodológicos necesarios para la construcción del modelo, incluyendo las metodologías de trabajo colaborativo aplicables al desarrollo del mismo. Finalmente, se integraron los procesos y herramientas de gestión en un modelo único, teniendo en cuenta el análisis y procesamiento de la información recopilada, así como la experiencia en la materia.

En el ámbito de la gestión de proyectos de construcción de infraestructura minera, la eficiencia, la coordinación, la comunicación y la innovación son elementos clave para el éxito; en este contexto, el uso de herramientas tecnológicas y metodologías de trabajo colaborativo se ha vuelto fundamental para optimizar los procesos y garantizar su ejecución exitosa. Este trabajo de investigación se enfoca en diseñar un modelo de gestión administrativa que abarca las etapas de estructuración, contratación y ejecución, integrando un enfoque transversal basado en el uso de metodologías de trabajo como *Building Information Modeling (BIM)*, *Lean Construction*, herramientas de trabajo colaborativo como *Revit* y *Asana*; así como otras herramientas útiles para la gestión del alcance, costo y tiempo. En la ilustración 1 se presenta la estructura principal del modelo.

El objetivo principal de esta investigación es proponer una estructura organizativa óptima que permita la implementación efectiva de este modelo de gestión en proyectos de construcción de infraestructura minera, buscando maximizar la eficiencia, la comunicación, la coordinación y la calidad en todas las fases del proyecto, aprovechando al máximo las ventajas que ofrecen las tecnologías colaborativas y las metodologías innovadoras en la gestión de proyectos. Se pretende ofrecer una guía práctica y detallada para la aplicación exitosa de este modelo en la industria de la construcción minera, destacando la importancia de la integración de herramientas tecnológicas y enfoques colaborativos en la gestión de proyectos para alcanzar resultados sobresalientes y cumplir con los objetivos establecidos de manera eficaz y eficiente.



Ilustración 1. Etapas del modelo.

El modelo de gestión administrativa para proyectos de infraestructura minera propuesto consta de tres etapas a saber: estructuración, contratación y ejecución; se destaca la importancia de una planificación integral y la gestión efectiva de las relaciones con los stakeholders. En la fase de estructuración, se definen objetivos, alcances y se identifican los stakeholders, aspectos fundamentales para una gestión efectiva; en la etapa de contratación, se destaca la necesidad de un enfoque metodológico transparente, que incluye la identificación de las necesidades y levantamiento de los requisitos, el diseño de los documentos de contratación y la publicación de convocatorias y; finalmente, en la etapa de ejecución, se enfatiza la importancia de la construcción, la realización de pruebas, la puesta en marcha y gestión de las actividades, el control y cierre del proyecto.

Para la implementación del modelo de gestión, es necesario revisar la estructura organizacional de las empresas de cara a establecer las responsabilidades y roles de los diferentes actores en el proyecto; en este sentido se propone una estructura organizacional adaptada para la ejecución del

proyecto y cuya naturaleza puede ser temporal o permanente de acuerdo con la dimensión de la obra y el alcance de las actividades de la compañía minera. Ver la ilustración 2.

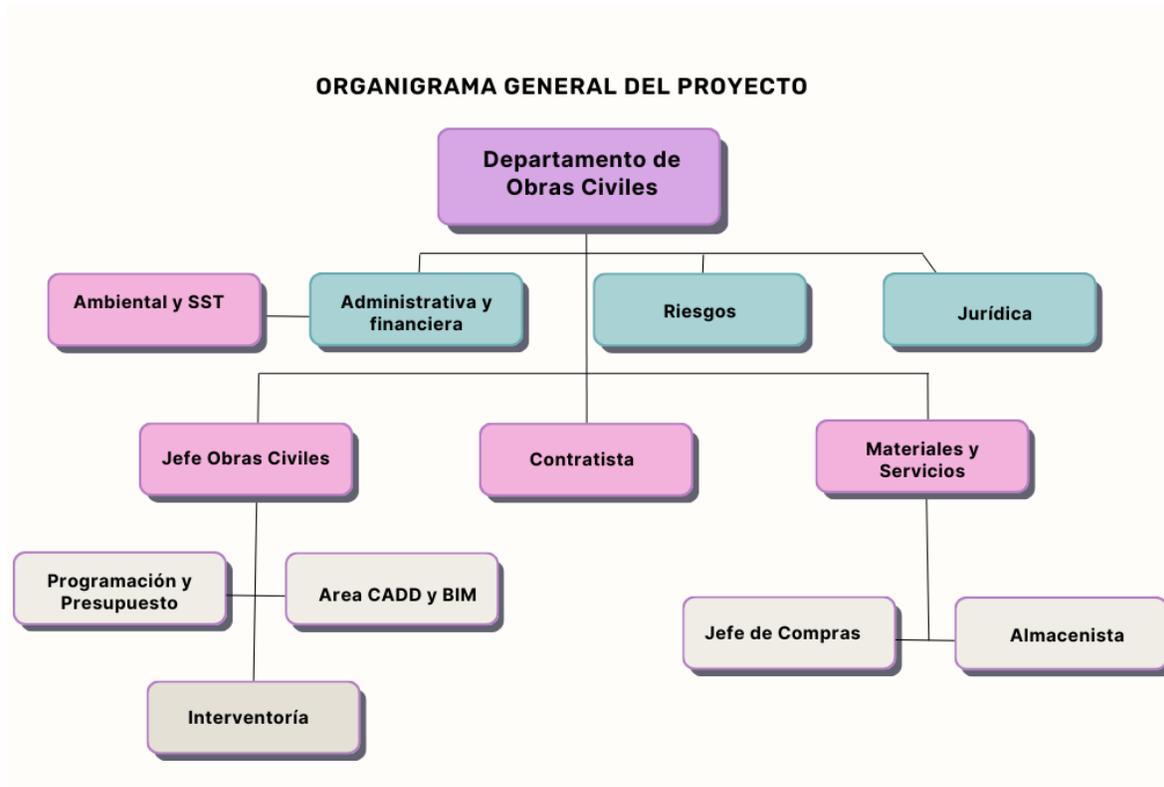


Ilustración 2. Estructura Organizacional propuesta para el modelo.

7.1. Etapas del modelo

7.1.1. Estructuración

La etapa de estructuración proporciona la base sólida sobre la cual se planificará y ejecutará todo el proyecto, durante ella se definen los objetivos, alcances, requisitos y restricciones del proyecto, creando una secuencia clara y lógica que guiará todas las actividades subsiguientes. En este sentido, la guía del PMBOK, destaca la importancia de una planificación integral para mitigar riesgos y maximizar el éxito del proyecto.

Otro aspecto importante de la estructuración es que permite la identificación y análisis detallado de los *stakeholders* del proyecto, ayudando a comprender las expectativas, necesidades e intereses de todas las partes involucradas, a través de la estructuración se fundan las bases para una gestión

efectiva de las relaciones durante todo el ciclo de vida del proyecto; la teoría general de administración de proyectos destaca la importancia de la comunicación y colaboración con los *stakeholders*, elementos esenciales que se establecen durante la fase de estructuración.

Para gestionar esta fase de manera efectiva, se recomienda el enfoque de Gestión de Proyectos con Marco Lógico (MMLF, por sus siglas en inglés). El Marco Lógico es una metodología ampliamente utilizada en la planificación y gestión de proyectos, especialmente en proyectos complejos como los de infraestructura minera. En la ilustración 3, se muestran las fases propuestas para gestionar adecuadamente esta etapa.



Ilustración 3. Etapa de Estructuración.

El MMLF proporciona una estructura clara y lógica para definir los objetivos del proyecto, identificar los indicadores de logro, establecer las actividades necesarias, determinar los recursos requeridos y planificar la evaluación del proyecto. Esta metodología ayuda a garantizar que todos los aspectos clave del proyecto estén debidamente considerados y que exista coherencia entre los diferentes elementos del mismo. El Marco Lógico facilita la identificación y análisis detallado de los *stakeholders* del proyecto, permitiendo una comprensión profunda de sus expectativas,

necesidades e intereses; esto es fundamental para establecer una comunicación efectiva y una gestión adecuada de las relaciones con todas las partes involucradas en el proyecto de infraestructura minera.

7.1.1.1. Definición del alcance

Durante esta fase es necesario identificar y establecer los objetivos, requisitos y limitaciones que pueda tener el proyecto; se requiere determinar el tipo de infraestructura minera que se necesita, los objetivos que se espera lograr con ella, se realiza una planificación inicial de los recursos humanos y financieros necesarios.

En el ámbito técnico, se realiza un análisis detallado de las necesidades específicas de la infraestructura minera, como la demanda y disponibilidad de áreas para construcción, capacidad de producción, los servicios requeridos y los estándares de seguridad; se identifican los posibles sitios de construcción, la localización posible de algunos componentes importantes, las rutas de acceso a los sitios clave y se evalúa su viabilidad.

7.1.1.2. Estudio de viabilidad

El equipo designado por el Director de obras civiles debe realizar un análisis exhaustivo que permita evaluar la viabilidad técnica, jurídica, financiera y ambiental del proyecto; asimismo, identificar los riesgos, proponer estrategias de mitigación y establecer los permisos y licencias necesarios para la ejecución.

El análisis incluye aspectos técnicos como la evaluación de impactos ambientales y medidas de mitigación, disponibilidad de recursos, así como la elaboración de un informe de viabilidad técnica y ambiental.

7.1.1.3. Diseño preliminar

El área administrativa, con el apoyo del equipo técnico, establecen los criterios de diseño y los estándares a seguir, realizan la asignación de recursos necesarios para desarrollar un modelo preliminar y establecen el cronograma para revisión y aprobación.

El desarrollo del modelo preliminar estará a cargo del área técnica del proyecto; para ello, se considerarán las necesidades, los requisitos y estándares aplicables; este modelo debe incluir la

planificación de la ubicación, la distribución de espacios, la selección de materiales, los sistemas de servicios; se considerarán aspectos como la eficiencia energética, la seguridad y la accesibilidad; además de tener en cuenta los estudios requeridos para el desarrollo de las obras.

7.1.1.4. Planificación y programación

Desde el punto de vista administrativo, resulta crucial desarrollar un plan exhaustivo que defina las actividades, los recursos requeridos y los plazos para la ejecución del proyecto, este plan debe ir acompañado de la implementación de mecanismos de seguimiento y control durante el ciclo del proyecto, la fase de ejecución de las obras y la operación.

Por otro lado, el área técnica desglosa el proyecto en diferentes etapas y establece hitos y entregables específicos; asimismo, determina los recursos técnicos necesarios, tales como equipos y materiales, y elabora un cronograma de actividades en el que se asignan tiempos estimados para cada tarea.

7.1.1.5. Adquisición de recursos

El área administrativa debe identificar, cuantificar, proyectar y gestionar los recursos necesarios para la construcción de la infraestructura minera; esta fase puede incluir la contratación de proveedores, la adquisición de equipos y la obtención de permisos y licencias, así como el seguimiento de los costos y pagos asociados.

7.1.1.6. Construcción y seguimiento

En esta fase se procede a iniciar las actividades de construcción, de acuerdo con el plan establecido, gestionando los recursos humanos y financieros; a medida que avancen los trabajos es importante realizar el seguimiento regular del progreso del proyecto, llevando un registro de los avances y solucionando los problemas que puedan surgir; se debe supervisar el cumplimiento de las especificaciones técnicas, plazo, alcance, estándares de calidad, así como el cumplimiento de obligaciones laborales y ambientales.

7.1.1.7. Pruebas y puesta en marcha

Es necesario planificar anticipadamente las pruebas a practicar una vez construida la infraestructura, las pruebas deben permitir la verificación del funcionamiento y la seguridad de la infraestructura construida, incluidos los sistemas y equipos; una vez superadas las pruebas, se

procederá a elaborar el informe respectivo ya capacitar al personal antes de poner en operación la infraestructura.

7.1.1.8. Control y cierre del proyecto

Es importante establecer los parámetros a través de los cuales se va a monitorear y controlar el desempeño de la infraestructura, para asegurar que se cumplan los objetivos establecidos. Una vez que el proyecto esté operando sin contratiempos, se realizará una evaluación final, se cerrarán todos los aspectos administrativos y financieros, procediendo a la liquidación de contratos y cierre de cuentas.

7.1.1.9. Herramientas tecnológicas

Para apoyar la gestión en esta etapa se pueden utilizar las herramientas de trabajo colaborativo descritas en la ilustración 4.

Autodesk BIM 360: Es una plataforma unificada en la nube que conecta equipos y datos de proyectos de construcción en tiempo real, facilitando la colaboración, la gestión de documentos y la coordinación de equipos en todas las fases del proyecto, se puede utilizar para centralizar y gestionar la información clave necesaria en esta fase inicial del proyecto. A continuación, se presentan algunas características importantes que pueden ser aprovechadas en la etapa de estructuración del proyecto:

Centralización de información: Permite almacenar y organizar todos los documentos relevantes para la estructuración del proyecto, como estudios de viabilidad, análisis de costos, informes de impacto ambiental, entre otros. Esto permite tener toda la información necesaria en un solo lugar y facilita el acceso y la colaboración entre los diferentes equipos involucrados en esta etapa inicial.

Colaboración y comunicación: Posibilita que los equipos multidisciplinarios trabajen de manera conjunta en la evaluación de la pre factibilidad del proyecto. Esto incluye la posibilidad de compartir comentarios, revisar documentos de forma colaborativa y mantener una comunicación efectiva entre los diferentes actores involucrados en esta fase.



Ilustración 4. Herramientas de trabajo colaborativo para la estructuración.

Análisis y toma de decisiones: Autodesk BIM 360 permite evaluar la información recopilada durante la etapa de pre factibilidad; esto puede incluir la generación de informes detallados, la visualización de datos clave y la identificación de posibles riesgos o áreas de mejora en el proyecto.

Asana: Es una herramienta tecnológica creada para simplificar la gestión de proyectos, permite asignar tareas, establecer fechas límite y realizar un seguimiento del progreso en tiempo real, entre sus principales ventajas se mencionan las siguientes:

- Permite la planificación detallada del proyecto, con la creación de tareas, asignación de responsabilidades y establecimiento de fechas límite.
- Facilita la colaboración en tiempo real entre los miembros del equipo, permitiendo el intercambio de información y documentos.
- Ofrece herramientas de seguimiento y control, como informes de avance y gestión de recursos, para monitorear el progreso del proyecto.

Trello: Permite la creación de tableros personalizados para organizar tareas, asignar responsabilidades y establecer fechas límite, algunos beneficios de uso son los siguientes:

- Facilita la visualización clara del progreso del proyecto a través de tarjetas que representan tareas específicas y listas que indican el estado de cada actividad.
- Posibilita la asignación de miembros del equipo a tareas individuales, lo que mejora la claridad sobre quién es responsable de cada actividad.
- Ofrece la posibilidad de adjuntar archivos, comentarios y etiquetas a las tarjetas, lo que facilita la comunicación y el intercambio de información relevante.
- Permite la integración con otras herramientas y plataformas, lo que amplía su funcionalidad y capacidad de colaboración.

7.1.2. Contratación

La etapa de contratación para proyectos de infraestructura minera es una etapa crítica que requiere un enfoque metodológico estructurado y transparente, a fin de satisfacer adecuadamente las necesidades de infraestructura previamente identificadas, cumpliendo con los estándares de calidad, las especificaciones técnicas y las políticas de inversión de la empresa.

En la ilustración 5 se presenta la secuencia propuesta para la etapa de contratación, considerando los criterios de participación como capacidad jurídica, económica y financiera; capacidad operativa y técnica, y se establecen los respectivos mecanismos de control.

7.1.2.1. Definir la necesidad de contratación

El primer paso consiste en precisar claramente los objetivos, alcance y requerimientos de la contratación, esto es especialmente necesario en caso de que el proyecto a ejecutar sea lo suficientemente robusto como para que la empresa no esté en la capacidad de adelantar los trabajos con personal propio a través de la oficina de obras civiles.

En esta etapa es importante realizar un análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental de la contratación; lo anterior, entre otros elementos, teniendo en cuenta que la regulación legal es bastante exigente con el manejo ambiental de las zonas de explotación minera y, quien ejecute las obras, deberá garantizar el cumplimiento de las normas ambientales y otras regulaciones de carácter legal.

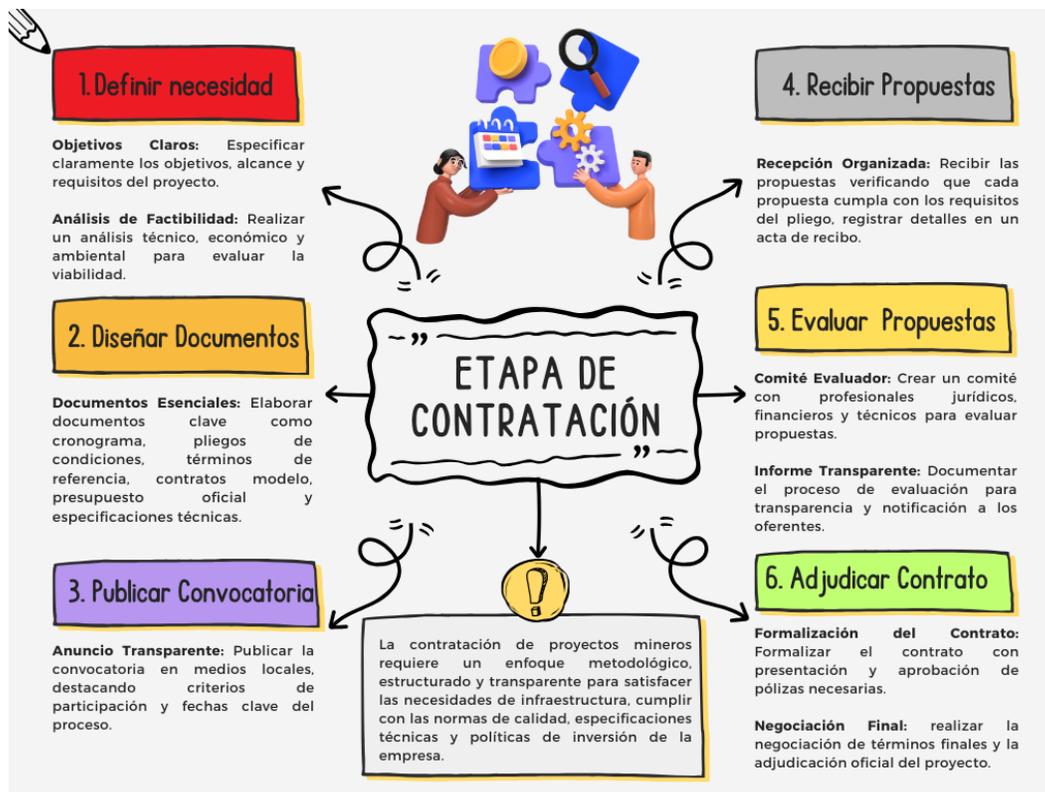


Ilustración 5. Etapa de Contratación.

7.1.2.2. Diseño de los documentos de contratación

Antes de iniciar el proceso de selección del Contratista, es importante elaborar los documentos que integran la licitación como: cronograma del proceso, pliegos de condiciones, términos de referencia, contratos modelo, especificaciones técnicas, estudios, diseños, planos, detalles constructivos, análisis de precios unitarios, presupuesto detallado, y demás documentos técnicos que sirvan como soporte para que los oferentes realicen la valoración adecuada de sus ofertas económicas; esta tarea involucra la definición de los criterios de evaluación, incluyendo los criterios de participación.

7.1.2.3. Publicación de la Convocatoria

Es indispensable generar confianza y transparencia durante el proceso, para ello es importante publicar la convocatoria de licitación en un medio local de amplia circulación, resaltando los criterios de participación y anexando el cronograma del proceso, en el que deberán quedar explícitas las fechas de apertura, aclaración a los pliegos, respuesta a las solicitudes de aclaración y cierre del proceso.

7.1.2.4. Recepción de Propuestas

Este paso se lleva a cabo de acuerdo con las fechas estipuladas en el cronograma del proceso, al recibir las propuestas de los interesados es importante verificar que cada propuesta incluya la documentación requerida según los criterios de participación y que esté debidamente foliada, se recomienda realizar un acta de recibo de las propuestas en la que se relacione el nombre del oferente, el número de folios de la propuesta con sus anexos, el valor de la propuesta con fecha y la hora de recibo.

7.1.2.5. Evaluación de Propuestas

Para la fase de evaluación es necesario crear un comité evaluador, el cual podrá componerse de un profesional del área jurídica, un financiero y un técnico, se debe iniciar realizando una evaluación previa para identificar las propuestas que no cumplan con los requisitos básicos, en caso de que los documentos relacionados sean subsanables, se deberá solicitar al oferentes u oferentes, la aclaración pertinente; seguidamente, se evaluarán las propuestas restantes según los criterios de participación y los requisitos técnicos, económicos y legales. De este proceso se levantará un informe que podrá ser consultado por los demás oferentes y que servirá de soporte para la elaboración del Contrato, una vez en firme el resultado de la evaluación, se le notificará al oferente seleccionado para continuar con la formalización del contrato.

En caso de que no resulte ningún oferente habilitado, se deberá repetir el proceso, para lo cual la empresa podrá optar por adelantar un proceso de selección abreviado, teniendo como base los documentos ya generados.

7.1.2.6. Adjudicación del Contrato

Finalizado el proceso de evaluación, se procede a adjudicar el proyecto al contratista favorecido, esta fase incluye la formalización del contrato, para la cual es imprescindible la presentación y aprobación las pólizas respectivas, las cuales se exigirán de acuerdo con el análisis de riesgos previamente elaborado; se finaliza el proceso de licitación con la negociación de los términos definitivos del contrato y la adjudicación oficial del proyecto.

Para la etapa de contratación es importante asegurarse de que todo el proceso de contratación cumple con la normativas legales y ambientales del sector minero; asimismo, es importante mantener un enfoque transparente en cada etapa del proceso que permita generar confianza en los

posibles oferentes y sobre todo, que permita cumplir con el objetivo para el cual fue adelantada la contratación.

7.1.2.7. Herramientas tecnológicas

Para apoyar la etapa de selección del Contratista, existen diversas herramientas tecnológicas que permiten el trabajo colaborativo, así como herramientas convencionales que se pueden estructurar para apoyar la gestión en esta etapa como *Microsoft Excel*, a continuación, se presentan algunas alternativas, asimismo, en la ilustración 6 se presentan las principales herramientas que pueden utilizarse.

Building Information Modeling (BIM): Esta herramienta es transversal a todo el modelo, es decir, que puede ser utilizada desde la etapa de estructuración hasta la operación y mantenimiento de la infraestructura; su mayor ventaja es que permite organizar todo el modelo del proyecto en una plataforma de trabajo colaborativo, facilitando los procesos subsiguientes, generando un modelo integrado en el que podrán colaborar conjuntamente todos los profesionales implicados en el proyecto, posibilitando el control del alcance, tiempo y costos; permitiendo la revisión y toma de decisiones en tiempo real. Para lograr este propósito es recomendable utilizar un software como *Revit*, que permite trabajar de manera colaborativa bajo enfoque *BIM*; a continuación, se presentan algunas ventajas que proporciona el trabajo con esta herramienta:

Modelos estructurales: Proporciona una mejor visualización sobre el análisis estructural de un proyecto, lo que favorece a la documentación de la obra; los modelos 3D que resultan del software facilitan la comprensión del proyecto y permiten estudiar todos los niveles de la obra, desde su inicio hasta su entrega.

Visualización en 3D: Permite visualizar mediante gráficas 3D todo el trabajo realizado en un mismo proyecto, obteniendo una idea más realista del mismo para su culminación

Reducción de costos: Mejora la eficiencia y precisión en la creación de modelos 3D detallados, lo que puede reducir los costos y mejorar la rentabilidad del proyecto.

Organización de modelos: Permite organizar los modelos según las circunstancias previstas, con el fin de preservar el rendimiento del software y generar una organización coherente en el entorno BIM.

Herramientas de trabajo colaborativo para la contratación

Building Information Modeling (BIM)

- Permite a los involucrados en el proyecto visualizar el diseño en detalle 3 D, facilitando la identificación de problemas y la comprensión del proyecto.
- Facilita la estimación precisa de costos y la identificación de áreas de potencial ahorro, permitiendo proyectar con precisión el presupuesto de obra.
- Permite detectar y corregir interferencias entre diferentes componentes del proyecto en etapas tempranas, reduciendo el riesgo de errores durante la contratación.
- Facilita la gestión de cambios en el diseño, permitiendo actualizar el proyecto en tiempo real para realizar ajustes en el proce de contratación.

Primavera P6

- Permite evaluar la capacidad del contratista para planificar y programar el proyecto de manera eficiente, considerando recursos, tiempos y costos.
- Facilita la identificación y evaluación de riesgos potenciales que puedan afectar el desarrollo del proyecto, permitiendo evaluar la capacidad del contratista para gestionar y mitigar riesgos.
- Permite analizar la capacidad del contratista para cumplir con el cronograma establecido, considerando su experiencia, recursos y recursos humanos disponibles.

Procore

- Permite centralizar la gestión de documentos contractuales, planos, especificaciones técnicas y demás información relevante, facilitando la evaluación de la capacidad del contratista para gestionar y cumplir con los requisitos del proyecto.
- Facilita la comunicación y colaboración entre las partes involucradas (contratistas, subcontratistas, proveedores, clientes), permitiendo evaluar la capacidad del contratista para trabajar en equipo y gestionar eficazmente las relaciones interorganizacionales.
- Permite gestionar los procesos de licitación y subcontratación, facilitando la evaluación de la capacidad del contratista para seleccionar a los mejores proveedores y subcontratistas para el proyecto.

Microsoft Excel

A pesar de ser una herramineta convencional, tiene las siguietes ventajas:

- Permite realizar análisis detallados de precios unitarios, facilitando la identificación de posibles inconsistencias y la selección de la oferta más favorable.
- Facilita la evaluación de criterios de selección predefinidos, como experiencia, capacidad técnica, historial de desempeño, entre otros, asignando ponderaciones a cada criterio y calculando puntuaciones para cada contratista.
- Permite elaborar matrices de comparación que resumen el desempeño de cada contratista en los diferentes criterios de selección, facilitando la toma de decisiones informada.

Ilustración 6. Herramientas de trabajo colaborativo para la Contratación.

Familias en Revit: Las familias en Revit contienen modelos 3D paramétricos que pueden ser personalizados y reutilizados en diferentes proyectos, lo que puede ahorrar tiempo y recursos en la creación de nuevos modelos.

Integración con otros sistemas: Es posible integrar *Revit* con otros programas de cálculo y análisis estructural, lo que permite una mejor coordinación y precisión en el diseño y la construcción

Mejora de la calidad del diseño: Permite crear modelos 3D precisos y detallados, lo que refleja fielmente la intención del diseño y ayuda a mejorar la calidad y el rendimiento del mismo

Creación automática de vistas y planos: *Revit* permite crear vistas y planos de forma automática a partir del modelo 3D, lo que ahorra tiempo y evita inconsistencias en la documentación del proyecto

En general, *Revit* ofrece varias ventajas en la estructuración y el modelado 3D del proyecto de infraestructura, incluyendo una mejor visualización y documentación del proyecto, una reducción de costes, una organización más eficiente de los modelos, la reutilización de modelos y familias, la integración con otras herramientas, una mejora de la calidad del diseño, y la creación automática de vistas y planos.

Primavera P6: Es una herramienta avanzada, diseñada específicamente para la planificación, programación y control de proyectos complejos. Ofrece una amplia gama de funcionalidades que permiten realizar análisis detallados de factibilidad, incluyendo la evaluación de costos, la programación de actividades, la asignación de recursos y la gestión de riesgos.

Algunas de las ventajas de utilizar Primavera P6 para este propósito incluyen:

Capacidad de modelado avanzado: Permite crear modelos detallados de programación y presupuesto que reflejan con precisión la complejidad del proyecto y los requerimientos específicos de la contratación.

Análisis de costos y presupuesto: Ofrece funcionalidades para realizar análisis detallados de costos, calcular el retorno de la inversión (ROI) y evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Gestión de riesgos: Permite identificar, evaluar y gestionar los riesgos asociados al proyecto, lo que ayuda a minimizar las posibles contingencias y asegurar la entrega exitosa del proyecto.

Integración con otras herramientas: Se integra fácilmente con otras herramientas de gestión y análisis, lo que facilita la importación y exportación de datos y la colaboración con otros miembros del equipo.

Si bien Primavera P6 puede requerir una curva de aprendizaje exigente y generar un costo asociado, su capacidad para realizar análisis detallados y su enfoque especializado en gestión de

proyectos lo convierten en una opción confiable para obtener resultados precisos en el análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental de la contratación.

Procure: Es una plataforma global de gestión para la construcción que conecta a todas las partes interesadas en el ciclo de vida de un proyecto; se utiliza para centralizar la información, mejorar la colaboración, gestionar contratos, licitaciones, documentos financieros y controlar la calidad en tiempo real. Procure es una herramienta que facilita la comunicación entre inversionistas, contratistas generales, contratistas especializados y otros colaboradores, permitiendo una gestión eficiente y transparente del proyecto.

Procure ofrece las siguientes herramientas específicas que pueden ser utilizadas durante la etapa de contratación en proyectos de infraestructura minera:

Gestión de contratos:

- Permite crear y administrar subcontratos, órdenes de compra y facturas de manera centralizada.
- Ofrece visibilidad en tiempo real sobre el estado de los contratos y su valor actual.
- Permite personalizar y estandarizar los documentos contractuales entre todos los proyectos.

Procesos de licitación:

- Proporciona un espacio central para administrar y visualizar el estado de todas las ofertas recibidas.
- Permite a los contratistas descargar los paquetes de licitación y enviar sus propuestas directamente a través del sistema.
- Ayuda a reducir el tiempo y esfuerzo requerido en la recopilación y distribución de la documentación de licitación.

Evaluación de propuestas:

- Facilita la comparación y evaluación de las propuestas de los contratistas.
- Permite tomar decisiones informadas sobre la selección del contratista más adecuado.

Para apoyar el proceso de selección del Contratista, se puede elegir una herramienta convencional como *Microsoft Excel*, esto debido a que es versátil y ampliamente utilizada, ofrece una variedad de funcionalidades para realizar análisis y cálculos complejos; además, permite organizar datos de manera estructurada, realizar cálculos numéricos, crear gráficos y tablas dinámicas, y generar informes detallados.

Entre las ventajas de Microsoft Excel para este propósito se pueden mencionar:

Flexibilidad: Excel permite personalizar el análisis de factibilidad según las necesidades específicas del proyecto y los criterios de evaluación establecidos.

Facilidad de uso: Es una herramienta intuitiva y fácil de aprender, lo que facilita la creación y modificación de modelos de análisis de factibilidad.

Capacidad de análisis avanzado: Excel ofrece una amplia gama de funciones y herramientas que permiten realizar análisis avanzados, como análisis de sensibilidad, análisis de riesgos y proyecciones financieras.

Integración con otras herramientas: Excel se integra fácilmente con otras herramientas y sistemas de gestión, lo que facilita la importación y exportación de datos y la colaboración con otros miembros del equipo.

7.1.2.8.Mecanismos de control durante la etapa de contratación

La selección del contratista es un proceso que requiere supervisión minuciosa, durante el proceso de contratación es necesario ejercer un control técnico y administrativo sólido, lo cual no solo asegura la calidad y éxito del proyecto, sino que también contribuye a la eficiencia operativa, la gestión de riesgos y la transparencia, variables fundamentales para el desarrollo exitoso del proyecto, a continuación se presentan los controles que pueden implementarse desde las áreas administrativa y técnica del proyecto.

a. Desde el área administrativa:

Capacidad jurídica:

El equipo jurídico de la organización es responsable de definir los criterios de participación desde el ámbito jurídico, una vez cerrada la convocatoria, su tarea es verificar la capacidad jurídica de los oferentes, esto incluye la revisión de documentos legales, certificados de registro mercantil, registro de proponentes ante las cámaras de comercio y otros documentos de carácter legal.



Ilustración 7. Mecanismos de control durante la etapa de contratación.

Capacidad económica y financiera:

El área financiera de la organización es responsable de definir previamente los criterios de selección que permitan evaluar la capacidad económica y financiera de los oferentes; durante la etapa de evaluación, esta misma área estará encargada de revisar los estados financieros, balances y otros documentos que acrediten el cumplimiento de los índices financieros exigidos en los pliegos de condiciones, así como la capacidad de contratación de los oferentes.

Capacidad Operativa:

El equipo de gestión de proyectos, en colaboración con los departamentos operativos, evalúa la capacidad operativa de los oferentes, previamente definida en los documentos de la licitación; la evaluación incluye la revisión de la experiencia previa, la capacidad de organización y la disponibilidad de recursos humanos para la ejecución del objeto contractual.

Capacidad Técnica:

El equipo de gestión de proyectos y el departamento técnico son responsables de evaluar la capacidad técnica de los oferentes de acuerdo con los criterios definidos en los documentos del proceso; en este paso se debe revisar la experiencia técnica, la formación del personal y los recursos técnicos disponibles que permitan la ejecución de los trabajos que se pretenden contratar.

b. Desde el área Técnica:

Análisis de Precios Unitarios

El equipo técnico, en colaboración con los especialistas en costos, debe analizar y validar los precios unitarios propuestos por los oferentes; esto incluye la revisión del presupuesto de obra; en este proceso es importante verificar que los precios de los equipos, materiales, transporte y mano de obra estén acordes con los precios de la región y que la mano de obra incluya las prestaciones sociales de Ley; asimismo, es importante verificar que los precios ofertados no sean artificialmente bajos, esto por cuanto se podría generar una situación de desequilibrio económico durante la ejecución de la obra que genere retrasos o ponga en riesgo la ejecución del proyecto. En caso de identificar precios que se consideren artificialmente bajos, se deberá requerir al oferente para que exponga las razones que le llevaron a establecer el precio, una vez analizada la sustentación técnica y económica del precio, el comité evaluador definirá si acepta que la propuesta en revisión continúe en el proceso de adjudicación.

Presupuesto de Obra

El equipo técnico es responsable de evaluar la coherencia y la estructura del presupuesto de obra presentado por los oferentes, esto implica la revisión de partidas y costos indirectos, se deberá prestar especial atención a la revisión de los costos administrativos, los cuales deben incluir, entre otros, el equipo profesional necesario para la ejecución de los trabajos, de manera que se cumpla

con los términos de referencia, las normas ambientales y de seguridad y salud en el trabajo, las especificaciones técnicas y demás documentos incorporados al contrato.

Especificaciones Técnicas

El departamento técnico, en colaboración con los especialistas en ingeniería, debe revisar y validar las especificaciones técnicas propuestas por los oferentes, asegurándose de que cumplan con los requisitos del proyecto, en caso de que se haya exigido la presentación de procesos constructivos, se debe realizar una revisión detallada sobre los ítems que hacen parte de la ruta crítica del proyecto, de manera que se garantice que no habrá interferencias que puedan generar retrasos o contratiempos durante la ejecución de las obras.

Experiencia General y Específica del Oferente

Teniendo como base los criterios técnicos previamente definidos en los documentos del proceso, el equipo técnico evalúa la experiencia general y específica del oferente en proyectos similares, la revisión se hace sobre las obras de la misma naturaleza ejecutadas por el oferente, teniendo en cuenta su complejidad y la evaluación de satisfacción del cliente.

Programación de Obra

El equipo técnico, en colaboración con los planificadores de proyecto, revisa y valida la programación de obra presentada por los oferentes, asegurándose de que se ajuste al cronograma general del proyecto y que incluya la programación de costos y recursos necesarios para la ejecución de los trabajos.

Cumplimiento de Normativas Técnicas

El departamento técnico debe verificar que las propuestas de los oferentes cumplan con todas las normativas técnicas y estándares de calidad establecidos para el proyecto; cuando la propuesta deba incluir el diseño de alguna parte de la obra, se deberá revisar con rigurosidad el cumplimiento de las normas sísmo resistentes y demás códigos que las complementen.

Análisis de Riesgos Técnicos

El equipo técnico identifica y evalúa los posibles riesgos técnicos asociados con las propuestas de los oferentes. Esto incluye la evaluación de soluciones propuestas para mitigar estos riesgos.

Evaluación de Innovaciones Técnicas

Es importante valorar la capacidad de los oferentes para proponer el uso de innovaciones técnicas o tecnológicas que puedan mejorar la eficiencia o la calidad del proyecto, como herramientas *Lean Construcción* o plataformas de trabajo colaborativo tipo *BIM*.

Separar las responsabilidades entre el control administrativo y técnico en la etapa de contratación, garantiza una evaluación exhaustiva y precisa de los oferentes, asegurando la selección del contratista más adecuado para la ejecución del proyecto.

7.1.3. Ejecución

Es la etapa más importante, en ella se fusionan componentes administrativos y técnicos para lograr el éxito del proyecto; con esta fusión, se garantiza el cumplimiento de los objetivos en alcance, costo y tiempo; la planificación detallada asegura la disponibilidad eficiente de recursos y la programación efectiva de la obra, cada fase requiere integración y coordinación. Durante el proceso de ejecución también se abarca la gestión ambiental, la gestión en seguridad y salud en el trabajo, el cumplimiento de normativas legales y licencias. La comunicación efectiva con todas las partes interesadas se suma a la importancia de una ejecución equilibrada, asegurando la conformidad, minimizando riesgos y optimizando el rendimiento, en la ilustración 8 se presentan los principales componentes de esta etapa.

Para garantizar el éxito durante esta etapa del proyecto, es importante desarrollar un proceso de gestión compuesto por los siguientes elementos:

7.1.3.1. Dirección Ejecutiva

En la fase de ejecución es necesario contar con un liderazgo estratégico para garantizar la alineación del proyecto con los objetivos organizacionales, este liderazgo debe permitir y promover la comunicación efectiva entre los miembros del equipo administrativo y técnico, controlando todas las variables que agregan valor a la ejecución y solucionando los inconvenientes derivados de situaciones problemáticas; el equipo técnico debe mantener el liderazgo sobre las

decisiones clave para asegurar la viabilidad técnica del proyecto; para el caso en el que se requiera la contratación de una interventoría externa, el equipo técnico debe establecer los canales de comunicación asertiva que promuevan el trabajo colaborativo y la solución de interferencias durante la ejecución.



Ilustración 8. Etapa de Ejecución.

Para gestionar adecuadamente este componente se puede utilizar una herramienta de gestión de proyectos como *Asana* o *Trello* para mantener una comunicación efectiva entre los miembros del equipo administrativo y técnico, y controlar todas las variables que agregan valor a la ejecución; también se puede utilizar una herramienta de videoconferencia como *Zoom* o *Microsoft Teams* para establecer canales de comunicación asertiva.

7.1.3.2. Gestión de Proyectos

La Dirección Ejecutiva debe contar con un profesional que se encargue de la coordinación y supervisión general del proyecto durante la ejecución; la planificación y programación detallada, asignación y gestión eficiente de recursos para asegurar el progreso y cumplimiento del alcance, esta tarea estará en cabeza del equipo técnico.

Para mejorar la gestión del proyecto se puede utilizar una herramienta de gestión de proyectos como *Microsoft Project* o *Primavera P6*, para planificar y programar detalladamente la ejecución del proyecto, asignar y gestionar eficientemente recursos, y emitir alertas en caso de presentarse retrasos o variación en el programa de obra e inversión.

7.1.3.3. Gestión de Recursos Humanos

Como se mencionó, el proyecto debe contar con una Dirección Ejecutiva, encargada de gestionar la adquisición, desarrollo y gestión eficiente del equipo de trabajo; los profesionales designados para llevar el control administrativo y técnico del proyecto debe contar con habilidades en resolución de conflictos y deberán ser sometidos a capacitación técnica permanente, especialmente en aquellos casos en los que surjan situaciones problemáticas que ameriten una retroalimentación del equipo de trabajo. Es indispensable que, a través de la supervisión o la interventoría del proyecto, se evalúe continuamente el desempeño de los profesionales del Contratista, se examinen las hojas de vida del personal propuesto y, en general, se garantice la idoneidad del grupo de profesionales que lidera la ejecución de las obras.

Para lograr una gestión eficiente de los recursos humanos durante la ejecución del proyecto se puede utilizar una herramienta como *Workday* o *BambooHR* para gestionar la adquisición, desarrollo y gestión eficiente del equipo de trabajo, evaluar continuamente el desempeño de los profesionales del Contratista, y garantizar la idoneidad del grupo de profesionales que lidera la ejecución de las obras.

7.1.3.4. Gestión Financiera

El manejo de los recursos financieros está a cargo del área administrativa, quien debe garantizar los fondos necesarios para la ejecución de las obras, controlando el flujo de inversión y generando soluciones a situaciones financieras que puedan afectar el avance de los trabajos, poniendo en riesgo el éxito del proyecto.

La estimación y control de costos técnicos, así como la actualización y seguimiento del presupuesto estarán a cargo del área técnica, quien debe mantener actualizado el avance físico de la obras, las curvas de avance físico y financiero y emitir las alertas en caso de presentarse retrasos o variación en el programa de obra e inversión; en caso de que se generen obras extras o adicionales, el área técnica deberá realizar su identificación, valoración y cuantificación para que

sean incluidas dentro de una modificación al contrato por parte del área administrativa, en todo caso, no es recomendable aprobar la ejecución de obras adicionales o extras sin consulta previa del área financiera y sin el debido análisis de su necesidad y pertinencia.

Para contribuir a un adecuado seguimiento y control de los recursos financieros, se pueden utilizar herramientas como *QuickBooks* o *Xero* para garantizar los fondos necesarios para la ejecución de las obras, controlar el flujo de inversión, y generar soluciones a situaciones financieras que puedan afectar el avance de los trabajos. También se puede utilizar una herramienta de presupuesto como *PlanGuru* o *Spreadsheet Server* para estimar y controlar costos técnicos.

7.1.3.5. Gestión del Tiempo

Es fundamental la coordinación y control del tiempo durante la ejecución del proyecto, esto debido a que es una variable que puede influir directamente en el costo final de las obras e impactar negativamente otros componentes de la organización como compromisos con terceros; lo anterior puede verse reflejado en mayor consumo de gastos administrativos e incumplimiento a clientes por no iniciar a tiempo la operación de la infraestructura.

En este punto toma relevancia el seguimiento a la programación de obra, para el cual es necesario implementar mecanismos de control que permitan monitorear el avance físico y financiero del proyecto, proponer soluciones a eventuales retrasos y tomar decisiones anticipadas que ayuden a recuperar los desfases.

El seguimiento a la programación puede ser apoyado mediante la utilización de una herramienta de programación de obra como *Oracle Primavera P6* o *Microsoft Project* para coordinar y controlar el tiempo durante la ejecución del proyecto, implementar mecanismos de control que permitan monitorear el avance físico y financiero del proyecto, y proponer soluciones a eventuales retrasos.

7.1.3.6. Gestión de Riesgos

La identificación, evaluación y gestión proactiva de potenciales riesgos debe mantenerse durante todo el proceso de ejecución del proyecto, el análisis detallado de riesgos administrativos y técnicos, así como el desarrollo de estrategias de mitigación es un proceso dinámico que agrega valor a la ejecución y garantiza su éxito.

Para apoyar la gestión de riesgos del proyecto se puede utilizar una herramienta como *RiskEdge* o *Protecht* para identificar, evaluar y gestionar proactivamente potenciales riesgos de manera dinámica, y desarrollar estrategias de mitigación que agreguen valor a la ejecución y garanticen su éxito.

7.1.3.7. Comunicación

El establecimiento de canales efectivos de comunicación debe ser una prioridad durante la ejecución del proyecto, esta herramienta ayuda a mantener las relaciones entre los interesados y las áreas administrativa y técnica; para mantener el control sobre las comunicaciones se pueden diseñar planes de comunicación técnica de manera que la información sea entregada de forma clara, oportuna, efectiva y eficiente.

La estrategia de comunicación puede ser gestionada mediante el uso de herramientas como *Slack* o *Microsoft Teams* para mantener las relaciones entre los interesados y las áreas administrativa y técnica, y diseñar planes de comunicación técnica de manera que la información sea entregada de forma clara, oportuna, efectiva y eficiente.

7.1.3.8. Control de Calidad

Un elemento que debe ser transversal al proyecto es el aseguramiento de la calidad en todas sus etapas; es indispensable el establecimiento de estándares de calidad técnica y la implementación de procesos de control de calidad; el Contratista deberá tener un sistema de autocontrol, el cual será supervisado permanentemente por la interventoría o el equipo técnico de la organización contratante.

El control de calidad puede gestionarse con el apoyo de la herramienta *Procore* para establecer estándares de calidad técnica e implementar procesos de control de calidad, así como supervisar permanentemente el sistema de autocontrol del Contratista.

7.1.3.9. Adquisiciones y Contratos

En algunos casos, el modelo de contratación involucra el suministro, por parte de la organización contratante, de materiales, servicios, equipos y otros bienes al Contratista; este sistema de contratación requiere de la gestión eficiente del área adquisiciones y contratos, el equipo técnico debe encargarse de la evaluación técnica y selección de proveedores; la negociación y firma de

contratos estará a cargo del área administrativa. La gestión sobre las adquisiciones y los contratos puede apoyarse con la herramienta *Ariba*.

7.1.3.10. Seguridad y Salud Ocupacional

Durante el desarrollo del proyecto, se deben garantizar las condiciones de trabajo seguro para todos los miembros que tienen responsabilidades en la ejecución de las obras, esto incluye a los profesionales de la organización y a los colaboradores del Contratista; es necesaria la implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo que cumpla con las regulaciones legales y que permita establecer los criterios para identificación de peligros, así como las medidas y controles a implementar para minimizar la ocurrencia de incidentes y accidentes durante la ejecución de las obras.

Dada la importancia que este componente representa para el éxito del proyecto, se propone utilizar una herramienta de gestión de seguridad y salud ocupacional como *Intalex* para garantizar las condiciones de trabajo seguro para todos los miembros que tienen responsabilidades en la ejecución de las obras, implementar un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo que cumpla con las regulaciones legales, y establecer los criterios para identificación de peligros y medidas y controles a implementar para minimizar la ocurrencia de incidentes y accidentes durante la ejecución de las obras.

7.1.3.11. Herramientas tecnológicas

En general, las herramientas mencionadas en las etapas de estructuración y contratación contribuyen significativamente a mejorar la gestión durante la ejecución del proyecto, esto por cuanto se considera el proyecto como una perspectiva sistémica, en la que se sigue una secuencia ordenada, lógica y coherente que permite integrar cada fase con la subsiguiente. Para el caso puntual de la ejecución se pueden utilizar las siguientes herramientas:

Herramientas BIM (Building Information Modeling)

Autodesk BIM 360: Permite la colaboración en tiempo real, la coordinación de diseños, la gestión de documentos y el control de calidad durante la ejecución del proyecto. Como ejemplo se puede pensar en un proyecto de construcción de un taller en una mina subterránea, en este caso se puede utilizar *Autodesk BIM 360* para centralizar los modelos BIM previamente estructurados,

permitiendo a los equipos de diseño, ingeniería y construcción colaborar en tiempo real, coordinando cambios e interferencias en los diseños, gestionando los documentos de actualización y realizando un seguimiento en tiempo real del progreso del proyecto.

Revit: Facilita la creación de modelos 3D detallados, la visualización del proyecto y la generación automática de planos y documentación. Para el caso mencionado, *Revit* permite la actualización de los modelos 3D en tiempo real, la visualización de cambios, la generación de planos y la actualización de presupuestos y cronogramas.

Metodologías Lean Construction

Herramientas de planificación y control visual, como tableros Kanban y Last Planner System, para mejorar la eficiencia y reducir desperdicios en la ejecución. Un ejemplo ilustrativo es la implementación de tableros Kanban para la construcción de una planta de procesamiento de minerales, este componente permite visualizar y gestionar las tareas diarias, identificar cuellos de botella, mejorar la eficiencia en la ejecución y reducir los tiempos de entrega.

Herramientas de gestión de proyectos

Microsoft Project: Esta herramienta permite la planificación detallada de las actividades del proyecto, el seguimiento del cronograma, la asignación eficiente de recursos, el establecimiento de dependencias entre tareas, y el control del avance del proyecto a través de la actualización constante del cronograma

Primavera P6: Permite realizar una programación detallada de los hitos del proyecto, controlar los costos, analizar la carga de trabajo y optimizar la secuencia de actividades para cumplir con los plazos establecidos.

Asana y Trello: Ayudan a organizar las tareas de construcción, asignar responsabilidades, establecer fechas límite, colaborar en equipo y realizar un seguimiento del progreso en la construcción, mejorando la comunicación y la eficiencia en la ejecución del proyecto.

Plataformas de gestión de proyectos de construcción

Procure: Contribuye a gestionar los contratos, licitaciones, los documentos contractuales, administrar el control de calidad y la comunicación entre los equipos de diseño, construcción y supervisión, asegurando una ejecución eficiente y transparente del proyecto.

Archdesk: Es una plataforma integral de gestión de proyectos que ofrece funcionalidades avanzadas para la etapa de ejecución de un proyecto de infraestructura minera. Esta plataforma permite una programación detallada de proyectos con secuenciación precisa de tareas, notificaciones en tiempo real, análisis avanzados de rendimiento del proyecto, identificación de cuellos de botella, manteniendo a todos los miembros del equipo informados. Archdesk se destaca por su enfoque en la colaboración, gestión documental, control de calidad y seguridad en el trabajo, lo que la convierte en una herramienta moderna y avanzada para la gestión de proyectos de infraestructura minera durante la etapa de ejecución; algunas las características específicas de Archdesk que lo hacen adecuado para la gestión de proyectos de infraestructura minera incluyen:

- Programación detallada del proyecto con secuenciación precisa de tareas.
- Notificaciones en tiempo real para mantener informados a todos los miembros del equipo.
- Análisis avanzados de rendimiento del proyecto.
- Identificación de cuellos de botella.
- Enfoque en la colaboración entre los miembros del equipo.
- Gestión documental integral.
- Control de calidad.
- Seguridad y salud en el trabajo.

7.1.3.12. Mecanismos de Control durante la ejecución

Durante la fase de ejecución del proyecto es crucial ejercer un control técnico y administrativo efectivo para garantizar resultados exitosos. La supervisión técnica puede ser respaldada por tecnologías como *Building Information Modeling* (BIM), asegurando la conformidad con estándares de calidad y minimizando errores de diseño; simultáneamente, un control administrativo riguroso, apoyado por principios *Lean Construction*, permitirá optimizar la eficiencia operativa y la gestión de recursos. La integración de tecnologías innovadoras, como BIM y sistemas de información en tiempo real, no solo mejora la coordinación entre equipos, sino que también proporciona datos valiosos para ajustar estrategias y minimizar desviaciones,

contribuyendo así a la excelencia operativa y la adaptabilidad en entornos constructivos dinámicos, en la ilustración 7 se presentan los principales componentes de este proceso.

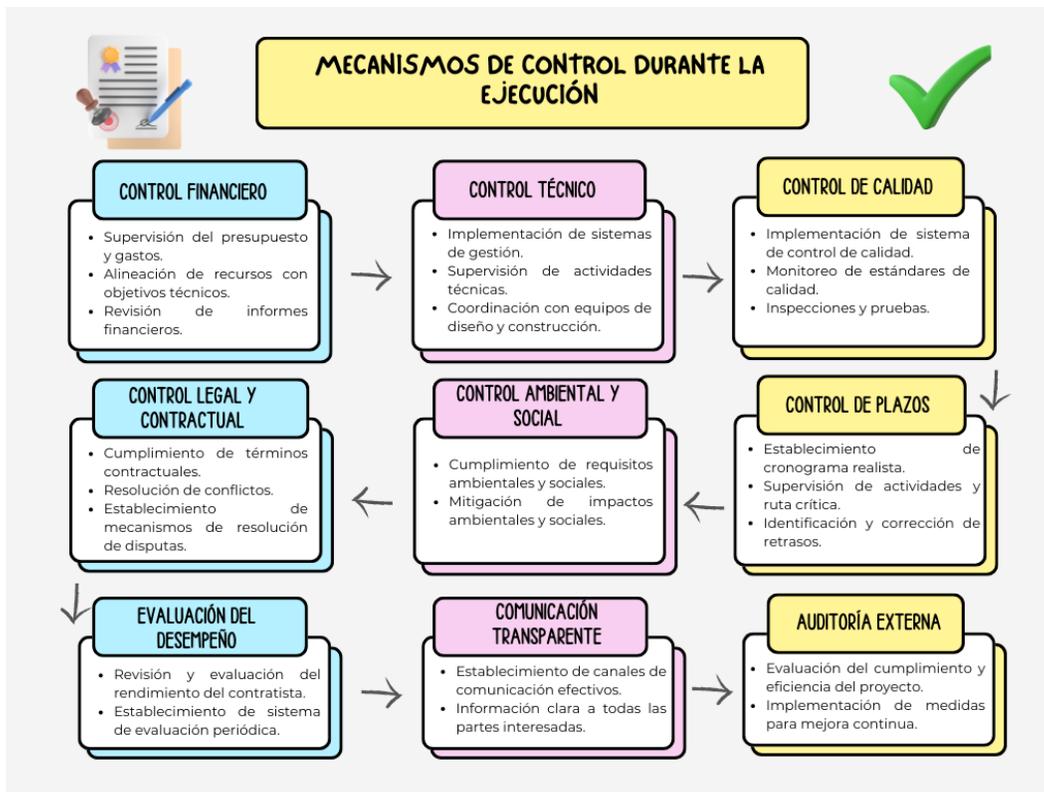


Ilustración 9. Controles durante la ejecución.

A continuación, se presentan algunos de los controles que pueden implementarse durante la ejecución de la obra:

a. Control Financiero

La gestión financiera suele ser responsabilidad del departamento financiero o de la administración financiera, bajo su cargo se encuentra el establecimiento de un sistema de monitoreo financiero que supervise la ejecución del presupuesto del proyecto, la aprobación de gastos y la presentación de informes financieros; el rol del equipo técnico consiste en asegurarse de que los recursos asignados se utilicen eficientemente y estén alineados con los objetivos técnicos del proyecto, así mismo, la revisión y aprobación de los informes financieros presentados por el Contratista.

b. Control Técnico

El control técnico administrativo es responsabilidad del equipo de gestión de proyectos, quien tiene a su cargo la implementación de los sistemas de gestión de proyectos; este equipo, liderado por un director de proyecto, supervisará el progreso general, coordinará las actividades técnicas y tomará decisiones estratégicas. En cuanto al componente puramente técnico, su control implica la supervisión directa de las actividades técnicas del proyecto, asegurando que se sigan los procedimientos adecuados, y coordinando con los equipos de diseño y construcción para garantizar la implementación correcta; como mecanismo de control se pueden implementar auditorías técnicas periódicas para asegurar el cumplimiento de los estándares y requisitos especificados.

c. Control de Calidad

Este proceso es supervisado por un equipo de control de calidad que puede estar bajo el liderazgo del departamento de gestión de proyectos o puede ser delegado a una entidad independiente. Este equipo tiene bajo su cargo la implementación del sistema de control de calidad que asegure el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

El control de calidad se llevará conjuntamente con el equipo de construcción para implementar y monitorear los estándares de calidad establecidos, para ello puede ser necesario realizar inspecciones, practicar pruebas y ejecutar revisiones técnicas.

d. Control de Plazos

El equipo de gestión de proyectos tiene la responsabilidad de establecer un cronograma de ejecución claro y realista, que permita gestionar y supervisar los plazos, identificar posibles retrasos y tomar de medidas correctivas. El equipo técnico es responsable de supervisar y ajustar el cronograma del proyecto según las necesidades técnicas y los desafíos encontrados durante la ejecución, para ello, llevará un control estricto sobre la ejecución de actividades, evaluará permanentemente la ruta crítica del proyecto identificando las actividades rezagadas que requieran la implementación de un plan de contingencia para recuperar el desfase y mantendrá informada al área administrativa de cualquier situación que afecte el cumplimiento de los plazos establecidos en el contrato.

e. Control Ambiental y Social

Durante la ejecución de las obras es necesario integrar un equipo de gestión ambiental y social, que puede estar compuesto por especialistas en medio ambiente y relaciones comunitarias, su principal función es asegurar que se cumplan los requisitos ambientales y sociales del proyecto, para lo cual deberán implementar los planes y programas que permitan mitigar los impactos ambientales y sociales que genere la ejecución del proyecto.

f. Control Legal y Contractual

La gestión legal y contractual es liderada por el departamento legal de la organización o por profesionales contratados específicamente para este propósito, a su cargo estará la revisión y cumplimiento de los términos contractuales y la resolución de cualquier conflicto legal, en este aspecto es importante establecer mecanismos de resolución de disputas para abordar cualquier problema contractual.

g. Evaluación Continua del Desempeño del Contratista

La evaluación del desempeño del contratista es responsabilidad del equipo de gestión de proyectos, que revisará y evaluará el rendimiento del contratista en términos de cumplimiento contractual, calidad y plazos; para ello se deberá establecer un sistema de evaluación periódica del desempeño que permita, además, tomar medidas correctivas y reconocer los logros del Contratista.

h. Comunicación Transparente

La gestión de la comunicación es clave para el equipo de gestión de proyectos, por lo que se deben establecer canales de comunicación efectivos con todas las partes interesadas y mantenerlas informadas sobre el progreso y cambios significativos que se presenten durante la ejecución de las obras. El equipo técnico debe asegurar que la comunicación interna y externa sea clara y efectiva, especialmente en relación con cuestiones técnicas y avances del proyecto.

i. Auditoría Externa

La auditoría externa es gestionada por una entidad independiente contratada específicamente para este propósito, con el fin de evaluar el cumplimiento y la eficiencia del proyecto. El equipo de gestión de proyectos facilitará la cooperación con los auditores y tomará medidas correctivas según

sea necesario; el equipo técnico deberá colaborar con los auditores externos proporcionando la información técnica necesaria y respondiendo a cualquier pregunta relacionada con la ejecución técnica del proyecto.

Una vez recibidos los resultados de la auditoría, se realizará la retroalimentación respectiva y se procederá a implementar las recomendaciones con el propósito de promover la mejora continua de los procesos.

7.1.3.13. Aplicación del ciclo PHVA durante la ejecución del Proyecto

La aplicación del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) al proceso de ejecución de proyectos de infraestructura proporciona un marco sólido para promover la mejora continua, el rendimiento y la eficiencia del proyecto. A continuación, se detallan los pasos y conceptos clave asociados con cada fase:

Planificar

Identificación de Objetivos y Metas: Defina claramente los objetivos de la ejecución del proyecto, considerando alcance, costo, tiempo, seguridad, y cumplimiento normativo.

Análisis de Riesgos y Mitigación: Evalúe posibles riesgos y desarrolle estrategias de mitigación. Esto incluye riesgos técnicos, ambientales, de seguridad y aquellos relacionados con el cumplimiento normativo.

Planificación Detallada: Desarrolle un plan detallado que abarque la programación de obra, la asignación de recursos, la gestión de costos y la implementación de medidas de control de calidad.

Hacer

Ejecución del Proyecto: Implemente el plan detallado, asegurándose de seguir las mejores prácticas y directrices establecidas. La aplicación de tecnologías avanzadas y metodologías eficientes es clave en esta fase.

Coordinación y Comunicación: Mantenga una comunicación constante y efectiva entre los equipos de trabajo, proveedores y partes interesadas. Asegúrese de que todos estén alineados con los objetivos y cambios necesarios durante la ejecución.

Verificar

Monitoreo Continuo: Establezca sistemas de monitoreo continuo para evaluar el progreso del proyecto en términos de costos, plazos y calidad. Utilice indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar el desempeño.

Auditorías y Revisiones: Realice auditorías y revisiones periódicas para garantizar el cumplimiento de normas ambientales, de seguridad y otros requisitos legales. Evalúe la eficacia de las medidas de mitigación de riesgos.

Actuar

Mejora Continua: Basándose en los resultados de la fase de Verificar, implemente mejoras y ajustes en el proceso de ejecución. Esto puede incluir actualizaciones en la planificación, cambios en la asignación de recursos o la implementación de nuevas tecnologías.

Retroalimentación y Aprendizaje: Facilite un proceso de retroalimentación efectivo, fomente el aprendizaje organizacional y aplique lecciones aprendidas en futuros proyectos. Asegúrese de adaptarse a cambios en las condiciones del proyecto y en el entorno.

Conceptos Clave:

Sistema de Gestión Integrado: Asegúrese de integrar todos los aspectos del proyecto, desde la gestión técnica hasta los requisitos administrativos y legales.

Retroalimentación Continua: Fomente una cultura de retroalimentación donde los equipos informen problemas y oportunidades de mejora en tiempo real.

Adopción Tecnológica: Utilice tecnologías avanzadas, como software de gestión de proyectos, sensores de monitoreo ambiental y herramientas de comunicación en tiempo real.

Flexibilidad y Adaptabilidad: Sea flexible para adaptarse a cambios en el entorno del proyecto, regulaciones gubernamentales, o descubrimientos durante la ejecución.

La aplicación efectiva del ciclo PHVA en la ejecución de proyectos de infraestructura minera contribuye a la eficiencia operativa, la gestión de riesgos y la mejora continua, elementos esenciales en un entorno dinámico y desafiante como la minería.

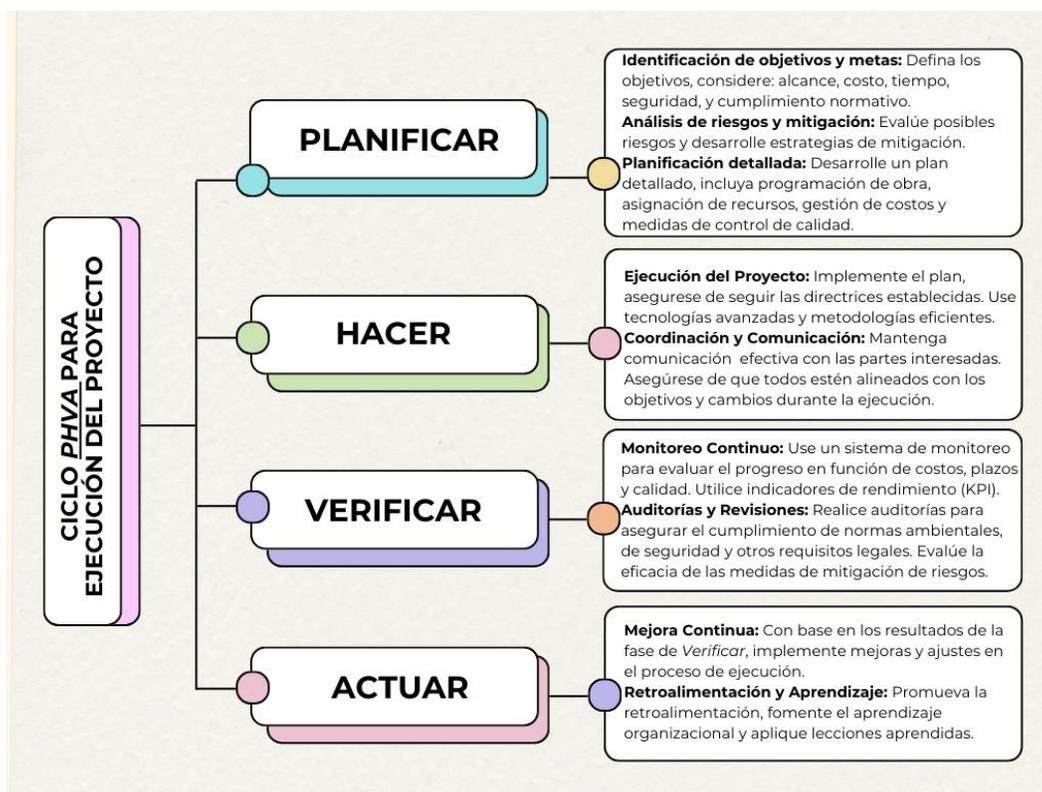


Ilustración 10. Ciclo PHVA para ejecución del proyecto.

7.1.3.14. Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Los indicadores clave de rendimiento (KPI) son métricas esenciales que proporcionan información cuantitativa sobre el desempeño de un proyecto. Para la ejecución de proyectos de infraestructura minera, los siguientes KPI son relevantes para evaluar diversos aspectos del proceso y asegurar su éxito:

Costo Total del Proyecto (CTP)

Definición: La suma de todos los costos relacionados con la ejecución del proyecto.

Importancia: Evalúa la eficiencia en el manejo de recursos financieros.

Índice de Desviación de Costos (IDC)

Definición: Porcentaje de diferencia entre el presupuesto planificado y el costo real.

Importancia: Indica la precisión en la estimación de costos y la gestión financiera.

Cumplimiento de Plazos (CP)

Definición: Porcentaje de actividades completadas según lo programado.

Importancia: Mide la eficiencia en la gestión del tiempo y el cronograma del proyecto.

Índice de Seguridad y Salud Ocupacional (ISSO)

Definición: Número de incidentes de seguridad en relación con el total de horas trabajadas.

Importancia: Evalúa la efectividad de las medidas de seguridad implementadas.

Calidad del Proyecto (CP)

Definición: Porcentaje de entregables que cumplen con los estándares de calidad establecidos.

Importancia: Mide el nivel de calidad alcanzado en la ejecución.

Índice de Satisfacción del Cliente (ISC)

Definición: Evaluación de la satisfacción del cliente con la ejecución del proyecto.

Importancia: Refleja la percepción del cliente sobre el desempeño y la entrega.

Eficiencia en el Uso de Recursos (EUR)

Definición: Rendimiento de los recursos utilizados en comparación con los resultados obtenidos.

Importancia: Mide la eficacia en la asignación de recursos.

Índice de Cumplimiento Ambiental (ICA)

Definición: Evaluación del cumplimiento de normas y regulaciones ambientales.

Importancia: Mide el impacto ambiental y la responsabilidad social del proyecto.

Índice de Riesgos Resueltos (IRR)

Definición: Número de riesgos identificados y resueltos en comparación con el total de riesgos.

Importancia: Evalúa la eficacia en la gestión de riesgos durante la ejecución.

Productividad del Personal (PP)

Definición: Relación entre la producción o avance y el número de trabajadores.

Importancia: Indica la eficiencia operativa y la productividad del equipo.

Índice de Cumplimiento Normativo (ICN)

Definición: Evaluación del cumplimiento de regulaciones y leyes relacionadas con el proyecto.

Importancia: Asegura que el proyecto se ajuste a los requisitos legales y normativos.

Estos *KPI* proporcionan una visión integral del rendimiento durante la ejecución del proyecto de infraestructura minera, abarcando aspectos financieros, de tiempo, calidad, seguridad y cumplimiento normativo. La selección y seguimiento de estos indicadores permiten una evaluación efectiva y la toma de decisiones informadas para la mejora continua del proyecto.

7.2. Transformación digital en los proyectos de infraestructura para el sector minero

La industria de la construcción ha experimentado una revolución significativa en la última década, situación que no es ajena a los proyectos de infraestructura para el sector minero, es por ello que, en lugar de depender exclusivamente de modelos convencionales, es necesaria la adopción de métodos modernos que integran, entre otros: inteligencia artificial, plataformas de trabajo colaborativo y principios de *Lean Construction*, los cuales han demostrado ser esenciales para mejorar la eficiencia, reducir costos y optimizar la gestión de los proyectos. A continuación, se exponen las ventajas que ofrece la implementación de herramientas modernas durante la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura para el sector minero.



Ilustración 11. Uso de herramientas tecnológicas en proyectos de infraestructura minera.

7.2.1. Eficiencia y productividad

La incorporación de inteligencia artificial en todas las fases del proyecto, permite la automatización de tareas repetitivas, liberando tiempo para actividades más estratégicas. Los algoritmos avanzados pueden analizar grandes conjuntos de datos para ofrecer información valiosa, agilizando procesos y mejorando la toma de decisiones.

7.2.2. Colaboración en tiempo real

Las plataformas de trabajo colaborativo facilitan la comunicación y la colaboración entre las áreas administrativa y técnica; la información centralizada y accesible en tiempo real promueve una toma de decisiones más rápida y precisa, evitando los retrasos inherentes a los métodos convencionales.

7.2.3. Optimización de recursos

La implementación de Lean Construction durante el proceso de ejecución permite una gestión más eficiente de los recursos, la identificación y eliminación de desperdicios, la planificación

colaborativa y el control visual de procesos contribuyen a una asignación óptima de recursos, reduciendo costos y aumentando la rentabilidad.

7.2.4. Control de calidad integrado

La inteligencia artificial puede desempeñar un papel crucial en el control de calidad, identificando patrones y anomalías en tiempo real; la integración de estos sistemas en la etapa de ejecución ayuda a prevenir defectos desde el principio, reduciendo la necesidad de reprocesos y mejorando la calidad general del proyecto.

7.2.5. Adaptabilidad y mejora continua

La agilidad es esencial sobre todo en un entorno en constante cambio, los métodos modernos permiten una adaptabilidad rápida a los cambios en el proyecto, la implementación de principios de mejora continua asegura que las lecciones aprendidas se apliquen para optimizar futuros proyectos.

7.2.6. Integración de valor

La transformación digital de la industria minera permite la utilización de tecnologías digitales para mejorar la productividad y eficiencia en los procesos productivos, desde la exploración y estudios de viabilidad hasta la automatización del control de pagos y la implementación de almacenes en línea; la digitalización permite una rápida toma de decisiones a lo largo de la cadena de valor, integra personas, cultura, procesos y tecnología, al tiempo que mejora la productividad y genera eficiencia de costos en toda la cadena de valor. La adopción de tecnologías digitales, como el Internet de las Cosas (IoT), puede mejorar la seguridad de los trabajadores, reducir los costos operativos, facilitar la automatización y aumentar la seguridad de los datos, así como ayudar a cumplir con los crecientes niveles de regulación.

7.2.7. Optimización de resultados

La optimización de resultados en la transformación digital de la industria minera se logra mediante la integración de tecnologías digitales que mejoran la productividad, eficiencia y seguridad en los procesos mineros. La digitalización permite una toma de decisiones más ágil y precisa, la automatización de tareas, la reducción de costos operativos, el cumplimiento de regulaciones y la

mejora en la gestión de datos y activos físicos, lo que contribuye a una industria más productiva y sostenible

7.2.8. Beneficios de la transformación digital

Los beneficios de la transformación digital en la industria minera incluyen una mejora en la productividad y eficiencia, una reducción en los costos operativos, una mayor seguridad y una mejor gestión de datos y activos físicos. La digitalización permite una toma de decisiones más ágil y precisa, la automatización de tareas, el cumplimiento de regulaciones y la mejora en la gestión de activos, lo que contribuye a una industria más sostenible y competitiva. Además, la optimización de resultados a través de la digitalización permite a las empresas mineras obtener un mayor retorno de inversión, mejorar su sostenibilidad y aumentar su competitividad en el mercado.

La transición de modelos convencionales a enfoques modernos no es simplemente una tendencia, sino una necesidad imperante en la industria de la construcción. La complejidad de las obras civiles mineras requiere soluciones que vayan más allá de los métodos tradicionales. La integración de inteligencia artificial, plataformas colaborativas y principios de Lean Construction no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también posiciona a los proyectos para enfrentar los desafíos emergentes de manera más efectiva.

En resumen, la importancia de migrar a métodos modernos, en los proyectos de infraestructura para el sector minero, radica en la capacidad de estos enfoques para optimizar recursos, mejorar la calidad, facilitar la colaboración y permitir una adaptabilidad ágil en un entorno dinámico de construcción. Esta transformación digital no solo mejora los resultados de los proyectos que se supervisan, sino que también sienta las bases para la excelencia en futuros desarrollos de infraestructura.

7.3. Aplicación de IA en proyectos de infraestructura para el sector minero

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en proyectos de infraestructura, especialmente en proyectos para el sector minero, puede aportar significativamente a la eficiencia, precisión y seguridad del proceso; a continuación, se presentan algunas ventajas que pueden utilizarse de la IA y una aplicación sugerida como ejemplo.



Ilustración 12. Aplicación de IA en proyectos de infraestructura para el sector minero.

7.3.1. Inspección Visual Automatizada

Descripción: Utilización de algoritmos de reconocimiento de imágenes para analizar visualmente el estado de la infraestructura y detectar cualquier anomalía.

Aplicación: Detección de defectos, seguimiento del progreso, identificación de cambios no autorizados en la construcción.

Ejemplo: Implementación de cámaras con capacidades de análisis de imagen en tiempo real para identificar fisuras, desgastes o cambios no autorizados en las estructuras del proyecto.

7.3.2. Análisis de Imágenes Satelitales y Drones

Descripción: Utilización de imágenes satelitales y drones equipados con cámaras y sensores para monitorear el progreso de la construcción y obtener datos detallados de áreas difíciles de alcanzar.

Aplicación: Monitoreo de avances, detección de posibles problemas, evaluación de condiciones ambientales.

Ejemplo: Empleo de drones para realizar inspecciones regulares de presas de relaves, proyectos en construcción y áreas circundantes, identificando posible inestabilidad en taludes o cambios en el entorno.

7.3.3. Sensores IoT para Monitoreo Continuo

Descripción: Implementación de sensores IoT (internet of things) para recopilar datos en tiempo real sobre variables clave como temperatura, presión, vibraciones, etc.

Aplicación: Monitoreo de condiciones estructurales, detección temprana de posibles fallos, optimización del rendimiento.

Ejemplo: Sensores colocados en diferentes estructuras del proyecto para monitorear y detectar posibles problemas estructurales antes de que se conviertan en amenazas graves.

7.3.4. Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) para Informes

Descripción: Aplicación de algoritmos de PLN para analizar automáticamente informes, registros y documentos relacionados con la construcción.

Aplicación: Extracción automática de información relevante, generación de alertas ante desviaciones de normativas.

Ejemplo: Uso de PLN para revisar informes de seguridad y salud ocupacional, identificar tendencias o patrones de incidentes y generar informes de cumplimiento.

7.3.5. Machine Learning para Planificación y Riesgos

Descripción: Implementación de modelos de machine learning para evaluar y prever posibles riesgos, así como para optimizar la planificación del proyecto.

Aplicación: Identificación de patrones de riesgos, ajuste dinámico de planes ante imprevistos.

Ejemplo: Utilización de algoritmos de machine learning para prever el impacto de condiciones climáticas extremas en el cronograma de construcción y ajustar la planificación en consecuencia.

7.3.6. Modelos Predictivos para Mantenimiento Preventivo

Descripción: Desarrollo de modelos predictivos basados en datos históricos y condiciones actuales para prever el mantenimiento necesario en equipos y estructuras.

Aplicación: Reducción de tiempos de inactividad, prolongación de la vida útil de activos.

Ejemplo: Implementación de un sistema de IA que utiliza datos de sensores para prever el desgaste de piezas en las plantas de beneficio y generar alertas para el mantenimiento preventivo antes de que ocurran fallas.

7.3.7. Plataformas de Colaboración Virtual

Descripción: Utilización de plataformas colaborativas basadas en IA para facilitar la comunicación y colaboración entre equipos del proyecto, incluso a larga distancia.

Aplicación: Facilitación de la toma de decisiones, intercambio eficiente de información.

Ejemplo: Empleo de herramientas de realidad virtual para realizar reuniones con los equipos, de modo que puedan visualizar modelos tridimensionales, construidos con sistemas BIM, de los proyectos en ejecución y discutir estrategias de intervención.

7.3.8. Análisis de Datos Geoespaciales

Descripción: Integración de análisis de datos geoespaciales para evaluar el impacto ambiental y geotécnico de la obra.

Aplicación: Evaluación de riesgos geológicos, cumplimiento de normativas ambientales.

Ejemplo: Utilización de información geoespacial para evaluar la estabilidad del suelo alrededor de los sitios de construcción y anticipar posibles riesgos de erosión o deslizamientos.

Es importante destacar que estas aplicaciones de la IA pueden mejorar la eficiencia y la calidad en la fase de ejecución y operación, pero aún se requiere la supervisión humana y la interpretación

experta para tomar decisiones objetivas, críticas y previamente evaluadas. Además, la implementación de estas tecnologías debe cumplir con las regulaciones y normativas locales.

7.4. Uso de BIM en proyectos de infraestructura para el sector minero

El uso de *Building Information Modeling (BIM)*, en proyectos de infraestructura para el sector minero, puede proporcionar numerosos beneficios en términos de eficiencia, coordinación y gestión de la información. A continuación, se presentan algunos pasos que se pueden seguir para utilizar BIM en proyectos de esta naturaleza, así mismo, en la ilustración 13, se presenta un resumen de los pasos que se deben seguir para aprovechar esta herramienta.

7.4.1. Entender los Principios BIM

Familiarizarse con los principios básicos de Building Information Modeling (BIM) implica la creación y gestión de información digital de un proyecto de infraestructura a lo largo de su ciclo de vida. En términos generales, al comprender mejor los principios *BIM*, se pueden obtener beneficios que aportan valor durante todo el ciclo del proyecto, es decir, durante la estructuración, contratación y ejecución, optimizando los procesos, reduciendo costos y mejorando la calidad final del proyecto; en la ilustración 13, se presentan los principales elementos de este proceso.

En la etapa de estructuración: Permite la creación de modelos 3D detallados, lo que facilita la visualización del proyecto, la comprensión espacial y la identificación de posibles conflictos o interferencias desde las primeras etapas del diseño; permitiendo a los equipos de ingeniería optimizar el diseño, reducir el desperdicio de materiales y minimizar los costos de construcción futuros.

Durante la etapa de contratación: Facilita la elaboración de paquetes de trabajo precisos y detallados, lo que permite a los contratistas potenciales comprender mejor el alcance del proyecto y presentar ofertas más competitivas. Además, *BIM* facilita la evaluación de las propuestas de los contratistas, ya que permite comparar los modelos 3D y verificar el cumplimiento de las especificaciones del proyecto.

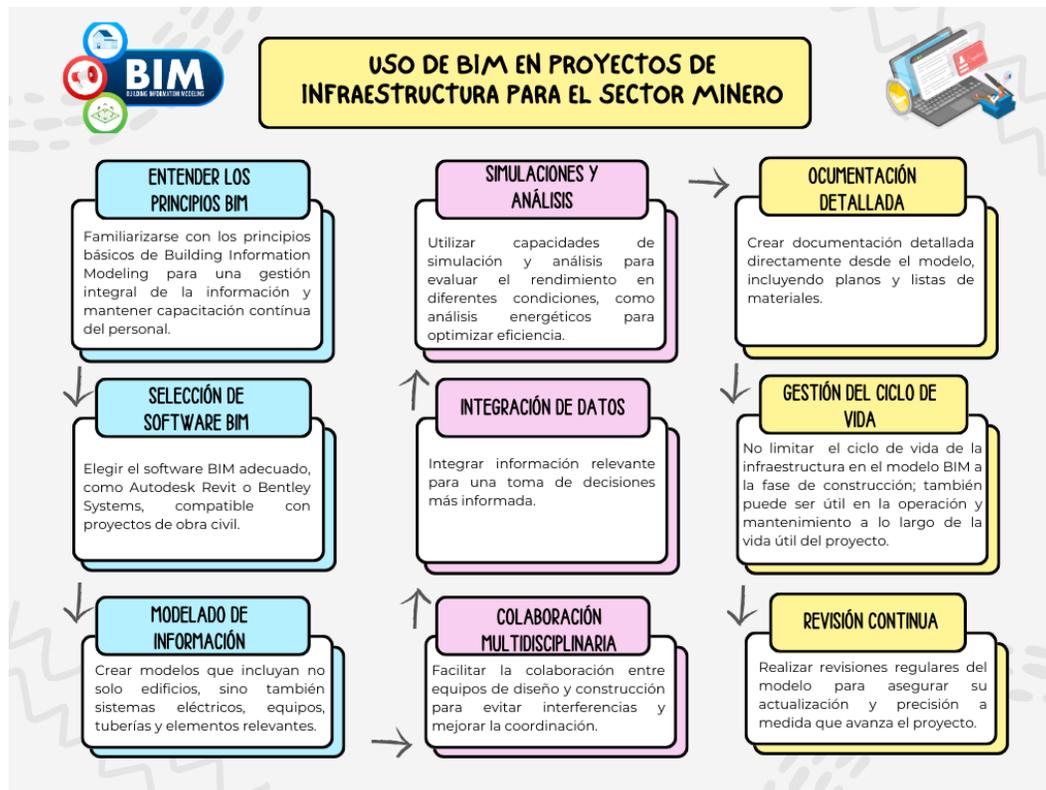


Ilustración 13. Uso de BIM en Proyectos de infraestructura para el sector minero.

En la etapa de ejecución del proyecto: Ofrece una amplia gama de beneficios que incluyen:

Mejora de la comunicación y colaboración: Facilita la comunicación entre los diferentes actores del proyecto, como ingenieros, contratistas y subcontratistas, al proporcionar una plataforma centralizada para compartir información y modelos 3D. Esto reduce los malentendidos y optimiza la coordinación entre las distintas disciplinas.

Control de calidad mejorado: Permite realizar simulaciones y análisis de constructabilidad, lo que ayuda a identificar y corregir problemas potenciales antes de que surjan en el sitio de construcción. Esto reduce el riesgo de retrasos, costos adicionales y reprocesos.

Gestión eficiente de la información: Centraliza toda la información del proyecto en un solo lugar, lo que facilita el acceso y la gestión de datos. Esto permite a los equipos tomar decisiones informadas en tiempo real y mantener el proyecto dentro del cronograma y el presupuesto.

Mayor seguridad en el sitio de construcción: Permite crear planes de seguridad detallados que identifican los riesgos potenciales y las medidas de mitigación necesarias. Esto ayuda a prevenir accidentes y mejorar la seguridad de los trabajadores en el sitio de construcción.

7.4.2. Selección de Software BIM

Elegir el software *BIM* adecuado para el proyecto, algunas opciones comunes incluyen *Autodesk Revit*, *Bentley Systems*, *ArchiCAD*, y otros. Asegurarse de que el software que se elija sea compatible con la naturaleza específica del proyecto.

7.4.3. Modelado de Información

Crear modelos detallados de la infraestructura, incluyendo no solo los edificios y estructuras, sino también los sistemas eléctricos, equipos, tuberías, cables, ductos de ventilación, bandas transportadoras y cualquier otro elemento relevante.

7.4.4. Colaboración Multidisciplinaria

Facilitar la colaboración entre los diferentes equipos de diseño y construcción mediante el uso de modelos *BIM*, ayudará a evitar interferencias y problemas durante la construcción y mejorará la coordinación entre los diversos componentes del proyecto.

7.4.5. Integración de Datos

Integrar información adicional, relevante en el modelo *BIM*, como datos de costos, programación, y cualquier otro detalle importante para la gestión del proyecto. Esto permite una toma de decisiones más informada.

7.4.6. Simulaciones y Análisis

Utilizar las capacidades de simulación y análisis del software *BIM* para evaluar el rendimiento de la infraestructura en diferentes condiciones. Por ejemplo, se podrían realizar análisis energéticos para optimizar la eficiencia.

7.4.7. Documentación Detallada

Generar documentación detallada directamente desde el modelo *BIM*, puede incluir planos, listas de materiales, y cualquier otra información necesaria para la construcción y operación de la infraestructura.

7.4.8. Gestión del Ciclo de Vida

Considerar la gestión del ciclo de vida de la infraestructura en el modelo *BIM*, no limitada a la fase de construcción; también puede ser útil en la operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto.

7.4.9. Capacitación del Personal:

Asegurar que el personal profesional y técnico del proyecto esté capacitado en el uso de *BIM* y entienda cómo aprovechar al máximo sus capacidades.

7.4.10. Revisión Continua

Realizar revisiones periódicas del modelo *BIM*, a medida que avanza la obra, para asegurarse de que esté actualizado y refleje con precisión el estado actual del proyecto.

De acuerdo con la interpretación de la cámara colombiana de la construcción, planteada en el *BIM Forum Colombia*, el proceso de desarrollo de modelos *BIM*, típicamente suele asociarse con la curva de MacLeamy, la forma de entender esta analogía es pensando en que a pesar de que el esfuerzo en etapas tempranas de proyecto puede ser mayor, este esfuerzo inicial se verá recompensado en una mayor maniobrabilidad para la toma de decisiones, pues cualquier cambio o decisión tomada de manera anticipada, y con la cantidad de información apropiada, tendrá un mayor impacto sobre la funcionalidad y un menor costo del que tendría la misma decisión en etapas posteriores de desarrollo de proyecto. Esto representa uno de los cambios más importantes del uso de la metodología *BIM* en diseño.



Ilustración 14. Curva de MacLeamy. Tomado de *BIM Fórum Colombia 2023*

Color naranja: Representa los problemas que surgen como resultado de una mala decisión tomada en una etapa temprana del proyecto. La curva naranja indica que el impacto negativo de una decisión errónea al inicio del proyecto es considerablemente mayor que si se toma en una etapa posterior.

Color rojo: Representa el costo asociado a la corrección de problemas o errores. La curva roja muestra que el costo de corregir un problema aumenta significativamente a medida que avanza el proyecto. Es decir, si se identifica un problema al inicio del proyecto, el costo de solucionarlo será menor que si se detecta en una etapa posterior.

Color azul: Representa la forma tradicional en que se toman las decisiones en los proyectos, utilizando herramientas y metodologías convencionales. La curva azul indica que, en general, las decisiones se toman en etapas más tardías del proyecto, cuando los cambios son más costosos y complejos de implementar.

Color morado: Representa la propuesta que ofrece *BIM (Building Information Modeling)*. La curva morada muestra que *BIM* permite tomar decisiones más informadas y oportunas en las primeras etapas del proyecto, gracias a la creación de modelos virtuales que facilitan la simulación y el análisis de diferentes escenarios. Esto permite identificar y corregir problemas de manera temprana, reduciendo significativamente los costos y mejorando la calidad del proyecto final.

7.5. Uso de Lean Construction en proyectos de infraestructura para el sector minero

Lean Construction es una filosofía de gestión de proyectos que se centra en la maximización de la eficiencia y la minimización de los desperdicios durante el proceso de construcción, permite eliminar las actividades que no agregan valor, generando optimización de tiempo para la ejecución de otras actividades relevantes. Aplicar los principios de Lean Construction en proyectos de infraestructura para el sector minero, puede ayudar a mejorar la productividad y reducir costos. Aquí hay algunos pasos que se pueden seguir para su implementación:



Ilustración 15. Lean Construction en Proyectos de infraestructura para el sector minero.

7.5.1 Entender los Principios de Lean Construction

Familiarizarse con los principios fundamentales de Lean Construction, que incluyen la identificación y eliminación de desperdicios, la mejora continua, el trabajo en equipo, la entrega *just in time*, entre otros. La implementación de *Lean Construction* (LC) en proyectos de infraestructura minera ofrece una serie de ventajas significativas que abarcan las etapas de

estructuración, contratación y ejecución, optimizando procesos, reduciendo costos y mejorando la calidad final del proyecto, algunas de las ventajas de implementar esta herramienta son:

En la etapa de estructuración: Permite definir un flujo de trabajo claro y eficiente, identificando y eliminando actividades que no agregan valor al proyecto. Esto se logra mediante herramientas como el *Value Stream Mapping*, que permite visualizar el proceso en su conjunto y detectar cuellos de botella o desperdicios. Además, *LC* fomenta la colaboración temprana entre los diferentes actores del proyecto, como propietarios, diseñadores, contratistas y subcontratistas, lo que permite identificar y abordar problemas potenciales desde las primeras etapas del proyecto.

Durante la fase de contratación: Facilita la selección del contratista más adecuado para el proyecto, basándose en criterios de capacidad, experiencia y compromiso con los principios de *LC*. Esto se logra mediante la implementación de procesos de selección competitivos que evalúan no solo la capacidad técnica y económica del contratista, sino también su disposición para adoptar una cultura de mejora continua y colaboración.

En la ejecución del proyecto: Ofrece una amplia gama de beneficios que incluyen:

Mejora del flujo de trabajo: Implementa herramientas como el *Last Planner System (LPS)* para planificar y controlar el trabajo de manera eficiente, asegurando que las tareas se ejecuten en el orden correcto y en el momento adecuado. Esto reduce la variabilidad, los retrasos y el desperdicio en el sitio de construcción.

Reducción de inventarios: Promueve la gestión *Just-in-Time (JIT)* de materiales y recursos, asegurando que los materiales lleguen al sitio de construcción en el momento preciso en que se necesitan. Esto reduce el espacio de almacenamiento requerido, los costos de inventario y el riesgo de obsolescencia.

Mejora de la calidad: Implementa herramientas como el *Total Quality Management (TQM)* para fomentar una cultura de calidad en el proyecto. Esto se logra mediante la identificación y prevención de defectos, la capacitación del personal y la implementación de procesos de inspección y control de calidad.

Mayor participación del equipo: Promueve la participación activa de todos los miembros del equipo en la mejora continua del proyecto. Esto se logra mediante la implementación de herramientas como el *Gemba Walk*, que permite a los líderes observar el trabajo en el sitio de construcción e identificar oportunidades de mejora.

7.5.2. Formación y Concientización

Proporcionar formación y concientización sobre Lean Construction a todo el equipo involucrado en el proyecto, asegurándose de que comprendan los principios y estén comprometidos con la aplicación de Lean en las actividades de supervisión del proyecto.

7.5.3. Identificación de Desperdicios

Realizar un análisis detallado para identificar posibles desperdicios en el proceso de construcción. Estos desperdicios pueden incluir tiempo ocioso, exceso de inventario, transporte innecesario, entre otros.

7.5.4. Planificación Colaborativa

Fomentar la planificación colaborativa entre todas las partes involucradas en el proyecto, Utilizando herramientas como el *Last Planner System* para crear un cronograma realista y alcanzable.

7.5.5. Mejora Continua

Establecer un sistema de mejora continua en el que se revisen regularmente los procesos y se realicen ajustes para eliminar cualquier obstáculo que pueda afectar la eficiencia.

7.5.6. Colaboración y Comunicación

Fomentar una comunicación abierta y colaborativa entre los equipos de diseño, construcción e interventoría. La transparencia y la colaboración son fundamentales para el éxito de Lean Construction.

7.5.7. Implementación de Pull Planning

Utilizar el *pull planning* para coordinar las actividades de construcción de manera eficiente, esto implica la programación de actividades basada en la capacidad real y las necesidades del proyecto.

7.5.8. Gestión Visual

Implementar herramientas visuales, como tableros *Kanban* y mapas de flujo de valor, para facilitar la visualización del progreso y la identificación rápida de posibles problemas.

7.5.9. Control de Calidad Integrado

Integrar el control de calidad directamente en el proceso de construcción para evitar defectos y reprocesos. La prevención de errores desde el principio es clave en Lean Construction.

7.5.10. Uso Eficiente de Recursos

Asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente, esto evita el exceso de inventario, minimiza los tiempos de espera y optimiza el uso de la mano de obra.

7.5.11. Medición del Desempeño

Establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) para medir el desempeño del proyecto. Evaluar regularmente estos indicadores para realizar ajustes según sea necesario.

7.5.12. Retroalimentación y Lecciones Aprendidas

Fomentar la retroalimentación continua y registrar lecciones aprendidas para aplicarlas en proyectos futuros.

7.6. Uso de plataformas de trabajo colaborativo en proyectos de infraestructura para el sector minero

La utilización de plataformas de trabajo colaborativo en proyectos de infraestructura para el sector minero es esencial para mejorar la eficiencia, coordinación y comunicación entre los diferentes actores involucrados en un proyecto. Estas plataformas proporcionan un entorno digital centralizado donde los equipos pueden compartir información en tiempo real, gestionar documentos, realizar seguimiento de problemas y colaborar de manera efectiva. Todas las fases del proyecto se benefician significativamente de la implementación de estas herramientas, ya que facilitan la toma de decisiones informada y permiten una respuesta rápida a los desafíos y cambios que puedan surgir durante la construcción.



Ilustración 16. Uso de Plataformas de trabajo colaborativo.

7.6.1. BIM 360 (Autodesk)

Autodesk BIM 360 es una plataforma que ha demostrado ser altamente efectiva para proyectos de infraestructura para el sector minero. Ofrece funcionalidades integrales que van desde la gestión de documentos hasta la colaboración en modelos *BIM*, facilitando la coordinación entre equipos multidisciplinarios. La capacidad de realizar revisiones en tiempo real, gestionar problemas, y mantener un flujo de trabajo colaborativo lo convierte en una herramienta valiosa para garantizar la transparencia y la eficiencia en la fase de construcción. Sin embargo, se recomienda verificar las últimas actualizaciones disponibles para asegurar que se ajusten a las necesidades específicas del proyecto y a las tendencias actuales en el campo de la construcción. A continuación, se presentan algunas herramientas de trabajo colaborativo que pueden utilizarse para proyectos de infraestructura para el sector minero:

Características clave: Colaboración en tiempo real, gestión de documentos, modelos *BIM* integrados, seguimiento de problemas y cambios.

Plan de Uso:

- Crear un modelo *BIM* detallado de la obra civil.
- Utilizar la función de gestión de documentos para almacenar y compartir planos, especificaciones y otros documentos relevantes.
- Establecer un flujo de trabajo para el seguimiento de problemas y cambios en el modelo.
- Programar revisiones y actualizaciones regulares del modelo para reflejar el progreso de la obra.

7.6.2. Procore

Características clave: Gestión de proyectos, colaboración en línea, seguimiento de problemas, control de documentos, herramientas de calidad y seguridad.

Plan de Uso:

- Utilizar herramientas de colaboración en línea para facilitar la comunicación entre equipos.
- Establecer un proceso de seguimiento de problemas para resolver rápidamente las preocupaciones en el lugar de la obra.
- Gestionar documentos de forma centralizada para garantizar que todos trabajen con la información más reciente.
- Implementar herramientas de calidad para controlar y documentar el progreso y la conformidad con los estándares.

7.6.3. Primavera P6 (Oracle):

Características clave: Gestión de documentos, colaboración en línea, seguimiento de problemas, control de cambios.

Plan de Uso:

- Utilizar la plataforma para almacenar y distribuir documentos clave, como planos y especificaciones.
- Establecer flujos de trabajo para el seguimiento de problemas y cambios.
- Facilitar la colaboración en tiempo real entre los equipos de interventoría y construcción.

- Implementar herramientas de control de cambios para gestionar modificaciones en el proyecto.

7.6.4. Plan de uso genérico para trabajo colaborativo en Proyectos de infraestructura para el sector minero:

Fase de Preparación

- Configurar la plataforma seleccionada y capacitar a todo el personal involucrado.
- Establecer roles y permisos para garantizar un acceso adecuado a la información.

Desarrollo de Documentación

- Subir y organizar documentos clave como planos, especificaciones y contratos.
- Establecer un sistema de versionamiento para rastrear cambios en los documentos.

Colaboración y Comunicación

- Utilizar herramientas de comunicación en tiempo real para mantener a los equipos actualizados.
- Programar reuniones regulares para discutir el progreso y abordar problemas.

Seguimiento de Problemas:

- Implementar una herramienta para el seguimiento de problemas y cambios.
- Asignar responsabilidades y plazos claros para resolver problemas identificados.

Actualización Continua del Proyecto:

- Realizar actualizaciones regulares del modelo BIM o documentos según sea necesario.
- Documentar y compartir el progreso del proyecto.

Control de Calidad:

- Utilizar herramientas de control de calidad para realizar inspecciones y garantizar la conformidad con los estándares.

Cierre del Proyecto:

- Archivar toda la documentación y modelos finales.
- Realizar una revisión post-proyecto para identificar lecciones aprendidas.

Adaptar este plan a las características específicas del proyecto y las funcionalidades de la plataforma seleccionada; además, asegurarse de consultar las últimas actualizaciones y nuevas características de las plataformas para optimizar su uso, puede ayudar de manera eficiente a la gestión del proyecto de infraestructura durante todo su ciclo de vida.

7.7. Importancia de la capacitación tecnológica integral

En la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura para el sector minero, la capacitación de los colaboradores se ha convertido en un componente estratégico para impulsar la eficiencia y la competitividad en un entorno cada vez más tecnológico; para todas las áreas que participan en el proyecto, el dominio de herramientas tecnológicas y competencias ofimáticas se ha vuelto esencial para optimizar los procesos, mejorar la calidad de los servicios y garantizar la ejecución exitosa.

A continuación, se presentan los elementos más relevantes que pueden mejorarse a través de un sistema de capacitación empresarial.



Ilustración 17. Importancia de capacitación tecnológica integral.

7.7.1. Mejora de la Eficiencia Operativa

La capacitación en herramientas tecnológicas y competencias ofimáticas capacita a los colaboradores para realizar tareas diarias de manera más eficiente. Desde la gestión de documentos hasta la comunicación interna, el uso efectivo de herramientas digitales agiliza los procesos operativos, permitiendo una ejecución más rápida y precisa de proyectos de infraestructura minera.

7.7.2. Optimización de la Comunicación

La colaboración efectiva es esencial en todas las fases del proyecto. La capacitación en herramientas colaborativas facilita la comunicación en tiempo real entre equipos, promoviendo una mayor coordinación y una toma de decisiones más informada.

7.7.3. Gestión Efectiva de Proyectos

Los gerentes de proyecto, profesionales y técnicos capacitados en herramientas de gestión de proyectos pueden planificar, monitorear y controlar las actividades de manera más efectiva. Esto incluye la programación, asignación de recursos, gestión de riesgos y seguimiento del progreso, contribuyendo a la entrega exitosa de proyectos en tiempo y forma.

7.7.4. Mejora de la Calidad

La competencia en herramientas tecnológicas permite una gestión más precisa de la información y una mayor capacidad para realizar análisis detallados. Esto contribuye a la identificación temprana de problemas, la prevención de errores y, en última instancia, la mejora de la calidad en todas las etapas del proyecto.

7.7.5. Adaptabilidad a la Innovación

La capacitación constante en nuevas tecnologías y herramientas garantiza que los colaboradores estén al tanto de las últimas innovaciones en el campo de la construcción de obras de infraestructura. Esto no solo mejora la eficiencia actual, sino que también prepara a los equipos para abrazar futuras tendencias y tecnologías emergentes.

7.7.6. Beneficios para Diferentes Roles

Gerentes de Proyecto y Directores de área: La capacitación les permite liderar proyectos de manera más efectiva, gestionando equipos y recursos con herramientas avanzadas de gestión de proyectos.

Ingenieros Residentes: Facilita el análisis y la interpretación de datos complejos, mejorando la toma de decisiones y la resolución de problemas en el campo.

Ingenieros Auxiliares y Auxiliares Administrativos: Optimiza las tareas administrativas diarias, desde la gestión de documentos hasta la generación de informes, liberando tiempo para enfoques más estratégicos.

Inspectores de Campo: Les proporciona herramientas para realizar inspecciones más detalladas, recopilando datos en tiempo real y facilitando la retroalimentación inmediata.

CONCLUSIONES

La adopción de herramientas tecnológicas basadas en *Building Information Modeling (BIM)*, *Lean Construction*, Inteligencia Artificial (*IA*) y, en general, el uso de herramientas tecnológicas de trabajo colaborativo, así como la implementación de capacitaciones continuas en los proyectos de infraestructura para el sector minero, representa un enfoque integral y vanguardista para enfrentar los desafíos en la industria de la construcción de obras civiles. Las ventajas son multifacéticas: *BIM* facilita la colaboración y gestión de la información, *Lean Construction* optimiza procesos y reduce desperdicios, la *IA* aporta eficiencia y precisión a través de la automatización y análisis avanzado, finalmente y no menos importante, las capacitaciones continuas aseguran que los equipos estén actualizados en las últimas tecnologías y mejores prácticas.

Esta sinergia de tecnologías y desarrollo de habilidades ofrece beneficios tangibles, como una supervisión más efectiva, toma de decisiones informada, coordinación eficiente entre equipos multidisciplinarios, identificación temprana de riesgos, y una mejora general en la calidad y la productividad de los proyectos; además, la capacidad de adaptación a cambios y la continua búsqueda de la excelencia se fortalecen, estableciendo un estándar elevado en la ejecución de proyectos de infraestructura minera. En última instancia, esta combinación estratégica no solo impulsa la eficacia operativa y la economía de recursos, sino que también sienta las bases para una construcción más sostenible, ágil y centrada en la innovación.

La implementación de *Building Information Modeling (BIM)* en los proyectos de infraestructura para el sector minero es un proceso estratégico que ofrece numerosos beneficios; para aprovechar al máximo la metodología *BIM* en este contexto, se destacan pasos clave, que van desde entender los principios básicos y seleccionar el software adecuado hasta realizar modelados detallados, facilitar la colaboración multidisciplinaria y la integración de datos, y utilizar las capacidades de simulación y análisis. Además, se resalta la importancia de la documentación detallada, la gestión del ciclo de vida de la infraestructura y la capacitación continua del equipo de colaboradores. Se hace énfasis en la necesidad de revisiones periódicas del modelo *BIM* para garantizar su precisión y relevancia a lo largo del avance de la obra. En resumen, esta conclusión resalta la integralidad y el valor estratégico de la implementación de *BIM* en los proyectos de infraestructura para el sector minero.

La Aplicación de Lean Construction en obras de infraestructura minera puede mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos y optimizar la calidad del proyecto.

La implementación de plataformas de trabajo colaborativo en los proyectos de infraestructura para el sector minero resulta esencial para optimizar la eficiencia, la coordinación y la comunicación entre los diversos participantes en un proyecto. Estas herramientas proporcionan un entorno digital centralizado que facilita la gestión de información en tiempo real, la supervisión detallada y el control durante la ejecución de proyectos, permitiendo una toma de decisiones más informada y una respuesta ágil a los desafíos y cambios que puedan surgir durante el proceso de construcción.

La capacitación en herramientas tecnológicas y competencias ofimáticas es un componente crucial en la mejora continua y la competitividad sostenible de las empresas dedicadas a la consultoría e Proyectos de infraestructura para el sector minero. Al empoderar a todos los niveles de colaboradores con las habilidades necesarias, las empresas pueden enfrentar con confianza los desafíos tecnológicos actuales y prepararse para el futuro, garantizando así un servicio de calidad y una ejecución exitosa de proyectos.

Es importante tener en cuenta que la metodología *PMI* es un marco general para la gestión de proyectos, por lo que puede ser adaptada y personalizada según las necesidades de cada proyecto específico.

La integración de la metodología *PMI* es una práctica recomendada debido a la eficacia que aporta en la gestión de proyectos de gran envergadura, proporciona una estructura para la realización de actividades de manera secuencial, desde la definición de los objetivos hasta el cierre del proyecto. Esta metodología se centra en la planificación, ejecución, control y cierre de un proyecto, ofreciendo las herramientas necesarias para desarrollar un proyecto de manera efectiva y eficiente.

La metodología *PMI* permite a los gerentes de proyecto y al equipo involucrado identificar los objetivos del proyecto, establecer actividades secuenciales, definir plazos, asignar recursos y gestionar el riesgo. De esta manera, se puede garantizar que el proyecto se desarrollará de manera óptima y se cumplirán los objetivos.

Uno de los principales beneficios que aporta la metodología PMI en la gestión administrativa de proyectos de infraestructura es la estandarización de los procesos. Esto significa que los proyectos se ejecutarán de manera más eficiente y eficaz, ofreciendo resultados más predecibles y aumentando las probabilidades de éxito.

La aplicación de la Inteligencia Artificial (*IA*) en la Proyectos de infraestructura para el sector minero ofrece una serie de ventajas significativas para la eficiencia, precisión y seguridad del proceso; se pueden utilizar diversas aplicaciones de la *IA* en la mejora de procesos, desde inspección visual automatizada hasta análisis de datos geoespaciales. Se resalta que estas tecnologías avanzadas no solo mejoran el monitoreo del progreso y la detección de problemas, sino que también contribuyen a la toma de decisiones informada y a la optimización de la planificación y el mantenimiento; sin embargo, se subraya la importancia de la supervisión humana y la interpretación experta para decisiones críticas, así como la necesidad de cumplir con las regulaciones y normativas locales en la implementación de estas tecnologías. En conjunto, esta conclusión refleja el potencial transformador de la *IA* en los proyectos de infraestructura para el sector minero, destacando su utilidad en diversos aspectos del proceso de construcción.

El modelo de gestión administrativa propuesto, presenta un enfoque integral en tecnologías innovadoras y desarrollo de habilidades, aporta al logro de fundamentos para una construcción más sostenible, ágil y centrada en la innovación en el sector minero; no obstante, es importante tener en cuenta que la tecnología es cambiante y que cada día los avances fortalecen más el uso de la Inteligencia Artificial, generando nuevos retos y oportunidades en la industria de la construcción. Por lo tanto, se alienta al lector a profundizar en el tema, explorando nuevas aplicaciones del modelo a partir del uso de metodologías de gestión de proyectos y adaptándolo a los continuos avances tecnológicos. La capacidad de adaptación y la búsqueda constante de la excelencia serán fundamentales para mantenerse a la vanguardia en la ejecución de proyectos de infraestructura minera.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, J. C. (2012). *Optimización de los Procesos de Desarrollo y Construcción en Minería de Block Caving: Caso Estudio Mina El Teniente Codelco Chile*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Araújo-Rey, C., & Sebastián, M. A. (2019). ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES APORTACIONES Y TENDENCIAS EN LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS BIM A PROYECTOS INDUSTRIALES. *International Congress on Project Management and Engineering*, 13.
- Arrazabal M., J. J. (2022). *Propuesta de transformación digital para implementar las tecnologías BIM en la construcción de proyectos de minería*. Universidad Tecnológica del Peru, Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Sistemas e Informática. Lima: Universidad Tecnológica del Peru.
- Briones, A. A. (2018). *La gestión administrativa y su incidencia en la innovación de las medianas empresas comerciales de la ciudad de Manta - Ecuador*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cacho Munenaka, M. E. (2022). *Aplicación de la metodología BIM en el diseño del sistema de colección de un PAD de Lixiviación en la Unidad Minera Pucamarca – Tacna*. Universidad Cesar Vallejo, Escuela de posgrado. Trujillo - Peru: Universidad Cesar Vallejo.
- Campero, M., & Alarcón, L. E. (2008). *Administración de Proyectos Civiles* (Tercera Edición ed.). Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile.
- Carrera C., J. H. (2023). *Uso de la herramienta BIM en la Evaluación de Costos en Proyectos Mineros de Perú y Chile 2022*. Universidad Privada del Norte, Departamento de Ingeniería. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

- Chen, C., Chung, E., & Correa, N. (Diciembre de 2023 de 2023). Impacto de la Inteligencia Artificial en la Industria de la Ingeniería. *Revista especializada de Ingeniería y Ciencias de la tierra*, 16.
- Chiavenato, I. (2002). *La administración en los nuevos tiempos*. Brasil: MacGraw Hill .
- Chiavenato, I. (2019). *Introducción a la teoría general de la administración*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Clavijo Zavaleta, Y. A., Gómez Rojo, W., & Novoa Ortiz, D. M. (2018). *Propuesta de un modelo de gestión de la demanda estratégica de tecnologías de la información para una empresa del sector minero*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Escuela de Posgrado. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Colombia, B. F. (2019). Guías para la adopción BIM en las Organizaciones. *BIM Forum Colombia*, 21.
- Cruz, C. M. (2023). Estado actual de la Minería en Colombia y la identificación de impactos. *Minería en Colombia*, 5, 25-36.
- Cuesta, L., Ochoa, D., & Penagos, M. (2014). La minería colombiana hacia una modernización sectorial sostenible. *Trabajo de Grado para optar al título de Administrador de Negocios Internacionales, Universidad Pontificia Bolivariana*. Medellin, Colombia.
- Delgado, D. F. (2023). *Modelo de gestión de la cadena de suministro de una empresa minera*. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Drucker, P. (1954). *The Practice of management* . Buenos Aires: Suramericana.
- Garcés, G., & Peña, C. (2022). Una revisión sobre Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. *Ingeniería y Construcción*, 43-60.

- Guzman Barros, J. I. (2021). *MODELO PARA LA DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN DE DE INVERSIÓN (PES), EN LA INDUSTRIA MINERA*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Hernández, C. M. (2017). *Gestión de la tecnología en los proyectos de innovación de una empresa peruana del sector minero. Estudio de caso*. Pontificia Universidad Católica del Peru, Escuela de Posgrados. Lima: Pontificia Universidad Católica del Peru.
- Hidalgo, P. D. (2013). *Modelo de gestión y administración de proyectos operacionales*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Institute, P. M. (2021). *Guía del PMBOK®*. Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 USA: Project Management Institute.
- Kattan, M. B. (2016). *Formulación de un modelo de gestión operacional para la construcción de la futura mina Chuquicamata subterránea*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Levitt, T. (2006). *Marketing Imagination*. McGraw-Hill.
- Marco, F., & Loguzzo, H. A. (2016). *Introducción a la gestión y Administración en las Organizaciones* (2 ed.). Buenos Aires: Universidad Nacional Arturo Jauretche.
- Minería, A. C. (2023). *Minería en Cifras*. Bogotá D.C: Asociación Colombiana de Minería.
- Narrea, O. (2018). *La minería como motor de desarrollo económico para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8, 9, 12 y 17*. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social-CIES. Obtenido de https://www.up.edu.pe/egp/Documentos/agenda_2030_la_mineria_como_motor_de_desarrollo_economico_para_el_cumplimiento_de_los_ods_89_12_y_17.pdf
- Project Management Institute. (2013). *Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*. Pensilvania: GLOBALSTANDARD.

Project Management Institute. (08 de Junio de 2021). *www.americalatina.pmi.org*. Obtenido de <https://www.pmi.org/america-latina>

Rojas López, M. D., Henao Grajales, M., & Valencia Corrales, M. E. (2016). Lean construction – LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14.

Kerzner, H. (2019). Using the project management maturity model> Strategic planning for project management (3a ed.) John & Wiley Sons, Incorporated.

Anexos

Tabla 2. Guion de entrevista área administrativa Minera El Roble S.A.

<p>Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.</p>
Ciudad y Fecha:
Empresa: Minera El Roble
Nombre del entrevistado:
Cargo del entrevistado:
Dependencia: Administración
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.
<p>Objetivo: Identificar las herramientas de gestión administrativa utilizadas por la industria minera colombiana para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura.</p>
1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza la empresa para la estructuración de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?
2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza la empresa para la contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?
3. ¿Cuáles son las herramientas administrativas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el alcance y tiempo durante la ejecución de los proyectos de infraestructura? Desarrollar un adecuado
4. ¿Cuáles son las herramientas administrativas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre los costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?
5. ¿La empresa contrata interventoría externa para la supervisión y control durante la etapa de ejecución de las obras de infraestructura? ¿Por qué?
6. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la gestión de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente a la empresa? ¿Cómo enfrentó la empresa esta situación?
7. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta la empresa cuando no se gestiona adecuadamente la estructuración de un proyecto de infraestructura?
8. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta la empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?
9. ¿Cómo gestiona la empresa los resultados no conformes en materia de estructuración de proyectos de infraestructura?
10. ¿Cómo gestiona la empresa los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de proyectos de infraestructura?
11. ¿La empresa realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa de los proyectos de infraestructura? ¿De qué manera?
12. ¿Podría mencionar los impactos negativos que debió afrontar la empresa con clientes, proveedores, entidades de control e inversionistas en relación con la inadecuada gestión de algún proyecto de infraestructura?
13. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero? ¿Por qué?
14. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?

Tabla 3. Guion entrevista área obras civiles Minera El Roble S.A.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.
Ciudad y Fecha:
Empresa: Minera El Roble
Nombre del entrevistado:
Cargo del entrevistado:
Dependencia: Obras Civiles
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.
1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza la empresa para la estructuración de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?
2. ¿La empresa ha adoptado alguna metodología en particular para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en el área de infraestructura?, ¿Cuál?
3. ¿Qué componentes técnicos hacen parte del manual de contratación para obras de infraestructura?, En caso de que la empresa no cuente con manual de contratación, indique que herramientas técnicas emplea la empresa para la estructuración de los términos de referencia durante el proceso de contratación.
4. ¿Conoce alguna herramienta tecnológica de trabajo colaborativo, como por ejemplo el BIM?
5. ¿La empresa utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la estructuración, preparación, diseño, ejecución y mantenimiento de las obras de infraestructura?
6. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para definir los requisitos de orden técnico y presupuestal en fase precontractual de los proyectos de infraestructura?
7. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el alcance y el tiempo en los proyectos de infraestructura?
8. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre los costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?
9. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre las especificaciones técnicas de construcción durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?
10. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre las normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?
11. ¿Recuerda si la empresa ha tenido dificultades durante la estructuración, contratación, ejecución y mantenimiento de uno o varios proyectos de infraestructura?
12. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?
13. ¿Considera que la empresa cuenta con la capacidad para implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?
14. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero?¿Por qué?
15. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?

Tabla 4. Respuestas entrevista Minera El Roble.

Guión para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Preguntas por área	Respuesta
Dependencia: Administración	Minera El Roble S.A.
1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza la empresa para la estructuración de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?	Plan estratégico de corto, mediano y largo plazo, Políticas de gestión integrada.
2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza la empresa para la contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?	Política de Servicios y compras, Manual SAGRILAF.
3. ¿Cuáles son las herramientas administrativas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el alcance y tiempo durante la ejecución de los proyectos de infraestructura? Desarrollar un adecuado	Comunicación asertiva, cronograma detallado elaborado mediante MS Project, curva S.
4. ¿Cuáles son las herramientas administrativas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre los costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	Seguimiento semanal con análisis de curva S de avance físico y financiero.
5. ¿La empresa contrata interventoría externa para la supervisión y control durante la etapa de ejecución de las obras de infraestructura? ¿Por qué?	Si.
6. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la gestión de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente a la empresa? ¿Cómo enfrentó la empresa esta situación?	No se ha presentado ninguno.
7. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta la empresa cuando no se gestiona adecuadamente la estructuración de un proyecto de infraestructura?	Altos costo y tiempo.
8. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta la empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?	Retraso en los objetivos estratégicos por elevado costo, tiempo y calidad.
9. ¿Cómo gestiona la empresa los resultados no conformes en materia de estructuración de proyectos de infraestructura?	Mediante una adecuada gestión de cambios con replanteamiento del alcance del proyecto.
10. ¿Cómo gestiona la empresa los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de proyectos de infraestructura?	Revisión de los recursos del contratista y capacidad de atención al proyecto, replanteo de la estrategia de seguimiento y control; se incluyen además, penalidades por incumplimiento en los contratos.
11. ¿La empresa realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa de los proyectos de infraestructura? ¿De qué manera?	Análisis de impacto mediante revisión y seguimiento de indicadores del proyecto, estos son evaluados de acuerdo al Balance Score Card y se realizan los ajustes necesarios.
12. ¿Podría mencionar los impactos negativos que debió afrontar la empresa con clientes, proveedores, entidades de control e inversionistas en relación con la inadecuada gestión de algún proyecto de infraestructura?	Retraso en la entrega de nuestra planta de deshidratación de relaves PDR, por 03 meses en la fase de pruebas.

<p><u>Guion para entrevista semiestructurada</u> MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.</p>	
Preguntas por área	Respuesta
13. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero? ¿Por qué?	Sí, porque permite seguir un orden durante la vida del proyecto. En Minera El Roble seguimos la metodología del PMI para estructuración, seguimiento y control de proyectos.
14. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Contar con una adecuada gestión de Seguridad, gestión Ambiental y gestión Social. Como soportes principales para una definición clara de la gestión del Alcance y gestión de recursos.
Dependencia: Obras Civiles	
1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza la empresa para la estructuración de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?	La empresa formula sus proyectos de acuerdo con las necesidades de las que surgen y evalúa la mejor alternativa con el pensamiento de la restricción triple: tiempo, costo, alcance y calidad, donde se pueden tener 3 sacrificando 1. Siempre se pone por encima la calidad de los entregables. Adicionalmente se encuentra implementando los lineamientos del PMI para hacer seguimiento a las obras de infraestructura con metodologías BIM.
2. ¿La empresa ha adoptado alguna metodología en particular para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en el área de infraestructura?, ¿Cuál?	Se están implementando los lineamientos del PMI (Project Management Institute)
3. ¿Qué componentes técnicos hacen parte del manual de contratación para obras de infraestructura?, En caso de que la empresa no cuente con manual de contratación, indique que herramientas técnicas emplea la empresa para la estructuración de los términos de referencia durante el proceso de contratación.	Se determinan recursos requeridos por el contratista a elegir basados en los rendimientos proyectados por cada actividad, utilizando un análisis desde la teoría de colas, con el fin de facilitar el proceso de evaluación de las propuestas recibidas y consideradas en el proceso de contratación.
4. ¿Conoce alguna herramienta tecnológica de trabajo colaborativo, como por ejemplo el BIM?	Sí, hay varios softwares enfocados a esta metodología. Ej. Autodesk Revit.
5. ¿La empresa utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la estructuración, preparación, diseño, ejecución y mantenimiento de las obras de infraestructura?	La empresa está en proceso de implementación de estas herramientas. Se conformó la oficina de Gestión de Proyectos (PMO), que estará encargada de la implementación de estas herramientas al interior del área.
6. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para definir los requisitos de orden técnico y presupuestal en fase precontractual de los proyectos de infraestructura?	Todos los proyectos pasan por una ingeniería conceptual, para luego pasar a la ingeniería de detalle. Las herramientas técnicas que se están implementando son las de los lineamientos del PMI. Una vez se tienen definidos los todos los elementos que va a conformar el proyecto, se desarrollan los Términos de Referencia y se pasan al área de Logística para que ellos se encarguen de ofertar a diferentes contratistas (mínimo 3), donde se evalúa: Tiempo de ejecución, costo y experiencia.
7. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el alcance y el tiempo en los proyectos de infraestructura?	Usamos Project y primavera.

<p><u>Guion para entrevista semiestructurada</u> MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.</p>	
Preguntas por área	Respuesta
8. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre los costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	Los costos se controlan desde el área que ejecuta (Proyectos) y desde el área de Costos Mina. Se realizan cortes de obra semanal, quincenal y mensual y para el control se utilizan las herramientas de office (Excel, Project).
9. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre las especificaciones técnicas de construcción durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	Las especificaciones técnicas se controlan con laboratorios internos y externos, teniendo en cuenta la normatividad vigente para cada tipo de control de calidad en obra, acorde también con lo exigido por autoridades de control minera y ambiental. Muchos controles se realizan con empresas de interventoría y por Consultores externos.
10. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre las normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	Minera EL Roble tiene una política de SST y ambiental muy robusta, y todos los controles empiezan desde el día a día, con las herramientas de gestión de seguridad y herramientas de gestión ambiental. Minera El Roble está certificada con el ISO 45001 en Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, además está adelantando trabajos para alcanzar certificación ISO en temas ambientales.
11. ¿Recuerda si la empresa ha tenido dificultades durante la estructuración, contratación, ejecución y mantenimiento de uno o varios proyectos de infraestructura?	Se tuvo problemas al inicio con el aumento de producción de mina; no se tenía planeado el aumento de obras de infraestructura para un aumento de mineral procesado. En esa transición se tuvieron problemas en contratación, en materiales requeridos para las diferentes obras, en equipo, en personal y en obras de infraestructura.
12. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?	Logística: aumento de consumibles. Se fortaleció el equipo de logística y se implementó el SIESA como herramienta de control y solicitud de pedidos y gestión de inventarios. Contratación: se diseñó una política para todo el tema de contratación y se creó un área legal y un área de contratos que se encarga de estos asuntos con los proveedores. Proyectos: se creó el área de proyectos para el seguimiento y control en la ejecución de las diferentes obras de infraestructura y montaje que requiere la mina.
13. ¿Considera que la empresa cuenta con la capacidad para implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?	Si.
14. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero? ¿Por qué?	Sí. Una metodología <i>BIM</i> permite tener en un solo lugar toda la información de los proyectos de forma dinámica y puede ser colaborativa.
15. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Planos, diseños, presupuestos, etc.

Tabla 5. Guion entrevista área administrativa E&A Constructores SAS.

<p>Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.</p>
<p>Ciudad y Fecha:</p>
<p>Empresa: E&A Constructores SAS</p>
<p>Nombre del entrevistado:</p>
<p>Cargo del entrevistado:</p>
<p>Dependencia: Administración</p>
<p>Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.</p>
<p>Objetivo: Identificar las herramientas de gestión administrativa utilizadas por la industria minera colombiana para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura.</p>
<p>1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza su empresa para la contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?</p>
<p>2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el alcance, tiempo y costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?</p>
<p>3. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente a la empresa? ¿Cuál fue la causa y cómo enfrentó la empresa esta situación?</p>
<p>4. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta la empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?</p>
<p>5. ¿Cómo gestiona la empresa los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?</p>
<p>6. ¿La empresa realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa en la ejecución de proyectos de infraestructura?</p>
<p>7. ¿Podría mencionar algunos impactos negativos que haya debido afrontar la empresa con clientes, proveedores y/o inversionistas, debidos a la inadecuada gestión durante la contratación y ejecución de algún proyecto de infraestructura?</p>
<p>8. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura minera puede ser de utilidad en el sector minero colombiano?</p>
<p>9. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?</p>

Tabla 6. Guion entrevista área obras civiles E&A Constructores SAS.

<p>Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO COLOMBIANO.</p>
<p>Ciudad y Fecha:</p>
<p>Empresa: E&A Constructores SAS</p>
<p>Nombre del entrevistado:</p>
<p>Cargo del entrevistado:</p>
<p>Dependencia: Obras Civiles</p>
<p>Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.</p>
<p>1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza la empresa para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura en el sector minero?</p>
<p>2. ¿La empresa ha adoptado alguna metodología en particular para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?, ¿Cuál?</p>
<p>3. ¿Qué componentes técnicos hacen parte del manual de contratación para obras de infraestructura?, ¿En caso de que la empresa no cuente con manual de contratación, indique que herramientas técnicas emplea la empresa para la contratación de los proyectos de infraestructura?</p>
<p>4. ¿La empresa utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la contratación y ejecución obras de infraestructura?</p>
<p>5. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el tiempo, costos, especificaciones técnicas de construcción y cumplimiento de normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?</p>
<p>6. ¿Recuerda si la empresa ha tenido dificultades durante la contratación y ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura?</p>
<p>7. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?</p>
<p>8. ¿Considera que la empresa cuenta con la capacidad para implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?</p>
<p>9. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero?</p>
<p>10. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?</p>

Tabla 7. Respuestas entrevistas E&A Constructores SAS.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: El Carmen de Atrato - Chocó 17 de noviembre de 2023	
Empresa: E&A Constructores	
Nombre del entrevistado: Richard Alonso Echavarría	
Cargo del entrevistado: Gerente	
Dependencia: Administrativa y técnica	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta por Empresa
Dependencia: Administración	E&A Constructores
1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza su empresa para la contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?	Como herramientas para la contratación nos apoyamos en los diseños elaborados bajo programa CAD, en cuanto a la ejecución, se lleva un control de tiempo de empleados y de avance mediante el programa Excel.
2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el alcance, tiempo y costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	El seguimiento en cuanto a costos, tiempo y recursos se realiza a través de MS Project y se tiene el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo que abarca la parte organizacional y operativa de la empresa incluyendo el área ambiental.
3. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente a la empresa? ¿Cuál fue la causa y cómo enfrentó la empresa esta situación?	La construcción del laboratorio de aguas generó para la empresa una gran pérdida de dinero debido a la falta de planeación, selección de personal adecuado y suministro de materiales de manera oportuna. Fue necesario incurrir en un préstamo bancario que nos ayudara a cubrir los dineros perdidos durante la ejecución de este proyecto con el ánimo de cumplir con lo contractual.
4. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta la empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?	Considero que solo hay una consecuencia principal que sería el cierre de la empresa, y esto conlleva a un gran número de situaciones adversas que no son para nada alentadoras incluyendo la falta de responsabilidad operativa que se generaría con este hecho.
5. ¿Cómo gestiona la empresa los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?	La única forma de gestionarlos es volverlos a repetir hasta que cumplan con los estándares requeridos; se registran las no conformidades y se realiza retroalimentación para evitar cometer el mismo error en el futuro.
6. ¿La empresa realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa en la ejecución de proyectos de infraestructura?	No.
7. ¿Podría mencionar algunos impactos negativos que haya debido afrontar la empresa con clientes, proveedores y/o inversionistas, debidos a la inadecuada gestión durante la contratación y ejecución de algún proyecto de infraestructura?	Clientes- la no aceptación de la obra. Proveedores- retrasos en pagos. Inversionistas- N/A.
8. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura minera puede ser de utilidad en el sector minero colombiano?	Si.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: El Carmen de Atrato - Chocó 17 de noviembre de 2023	
Empresa: E&A Constructores	
Nombre del entrevistado: Richard Alonso Echavarría	
Cargo del entrevistado: Gerente	
Dependencia: Administrativa y técnica	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta por Empresa
9. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Diseño, costos, tiempo, seguimiento proceso constructivo, calidad, suministro de recursos materiales y humanos.
Dependencia: Obras Civiles	E&A Constructores
1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza la empresa para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura en el sector minero?	Programa CAD y Excel para el manejo de los diseños, presupuestos entre otros.
2. ¿La empresa ha adoptado alguna metodología en particular para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?, ¿Cuál?	No, en la actualidad se tienen precios estandarizados los cuales se actualizan cada año ajustándolos al IPC y al aumento del salario mínimo.
3. ¿Qué componentes técnicos hacen parte del manual de contratación para obras de infraestructura?, ¿En caso de que la empresa no cuente con manual de contratación, indique que herramientas técnicas emplea la empresa para la contratación de los proyectos de infraestructura?	Programa CAD y Excel para el manejo de los diseños, presupuestos entre otros.
4. ¿La empresa utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la contratación y ejecución obras de infraestructura?	No.
5. ¿Cuáles son las herramientas técnicas utilizadas por la empresa para realizar el control sobre el tiempo, costos, especificaciones técnicas de construcción y cumplimiento de normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	El seguimiento en cuanto a costos, tiempo y recursos se realiza a través de MS Project y se tiene el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo que abarca la parte organizacional y operativa de la empresa incluyendo el área ambiental.
6. ¿Recuerda si la empresa ha tenido dificultades durante la contratación y ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura?	Se contrató la ejecución de un proyecto de ampliación del laboratorio químico para la verificación de la calidad del agua. Este proyecto tuvo muchos inconvenientes, tanto de mano de obra no calificada como de mano de obra calificada, además también se tuvo problemas con el suministro de materiales que llevaron a la empresa a tener un margen económico negativo. La situación se enfrentó asumiendo los costos y terminando la obra de la mejor manera garantizando la calidad del producto terminado.
7. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?	uno de los mayores problemas que se han presentado es la falta de una buena selección del personal que se contrata, esto genera la mayoría de las veces que hayan problemas en la ejecución de las obras y que sea necesario hacer reparaciones o correcciones-

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: El Carmen de Atrato - Chocó 17 de noviembre de 2023	
Empresa: E&A Constructores	
Nombre del entrevistado: Richard Alonso Echavarría	
Cargo del entrevistado: Gerente	
Dependencia: Administrativa y técnica	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta por Empresa
8. ¿Considera que la empresa cuenta con la capacidad para implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?	Si.
9. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero?	Si.
10. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Diseño, costos, tiempo, seguimiento proceso constructivo, calidad, suministro de recursos materiales y humanos.

Tabla 8. Guion entrevista área administrativa Profesional experto.

<p><u>Guion para entrevista semiestructurada</u> MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.</p>
Ciudad y Fecha:
Empresa: Profesional de la industria
Nombre del entrevistado:
Cargo del entrevistado:
Dependencia: Administración
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.
<p>Objetivo: Identificar las herramientas de gestión administrativa utilizadas por la industria minera colombiana para la estructuración, contratación y ejecución de proyectos de infraestructura.</p>
1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza en su desempeño profesional para la contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?
2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utilizada para realizar el control sobre el alcance, tiempo y costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?
3. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente el resultado? ¿Cuál fue la causa y cómo se enfrentó la situación?
4. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta una empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?
5. ¿Cómo gestiona, en su ejercicio profesional, los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?
6. ¿Durante su desempeño como profesional, realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa en la ejecución de proyectos de infraestructura?
7. ¿Podría mencionar algunos impactos negativos que haya debido afrontar con clientes, proveedores y/o inversionistas, debidos a la inadecuada gestión durante la contratación y ejecución de algún proyecto de infraestructura?
8. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura minera puede ser de utilidad en el sector minero colombiano?
9. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?

Tabla 9. Guion entrevista área obras civiles Profesional experto.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.
Ciudad y Fecha:
Empresa:
Nombre del entrevistado:
Cargo del entrevistado:
Dependencia: Obras Civiles
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.
1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza, como profesional, para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura en el sector minero?
2. ¿Utiliza alguna metodología en particular para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?, ¿Cuál?
3. ¿Qué componentes técnicos considera que debe tener el manual de contratación para obras de infraestructura?, ¿En caso de que considere que no es necesario contar con un manual de contratación, indique que herramientas técnicas debería implementar la empresa para la contratación de los proyectos de infraestructura?
4. ¿En su ejercicio profesional, utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la contratación y ejecución obras de infraestructura?
5. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza con mayor frecuencia para realizar el control sobre el tiempo, costos, especificaciones técnicas de construcción y cumplimiento de normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?
6. ¿Recuerda una o varias dificultades que haya debido enfrentar durante la contratación y ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura?
7. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?
8. ¿Considera que es importante implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?
9. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero?
10. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?

Tabla 10. Respuestas a entrevista Profesional Freddy García Citerio.

Guión para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: Reunión virtual 25 de septiembre de 2023	
Empresa: Particular	
Nombre del entrevistado: Freddy García C.	
Cargo del entrevistado: Profesional de la Ingeniería	
Dependencia: Administrativa y Obras civiles	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta Profesional
Dependencia: Administración	Ing. Freddy García C.
1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza en su desempeño profesional para la estructuración, contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?	Manual de contratación, pliego de condiciones, software (Excel, MS Project), programas que permitan medir, controlar y estandarizar.
2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utilizada para realizar el control sobre el alcance, tiempo y costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	Bitácora de obra, Gráficos, diagrama Gantt, supervisión - Interventoría, plan de obra (cuando se hace, como se hace, que hacer en determinados casos).
3. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente el resultado? ¿Cuál fue la causa y cómo se enfrentó la situación?	De hecho varios, por casos fortuitos o condiciones de ejecución previa que desencadenan atrasos o necesidad de cambios en el proyecto; se gestionaron a través de una revisión de los pliegos, evaluación de costos asociados y se llevó a imprevistos debido a que se demostró que no era responsabilidad del contratista.
4. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta una empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?	La consecuencia más grave es que no se pueda ejecutar el proyecto porque, en el proceso de contratación, se identifica que no es inviable; durante la ejecución, la causa más grave consistiría en detener la ejecución debido a que se identifica una situación crítica que no fue adecuadamente gestionada durante la estructuración.
5. ¿Cómo gestiona, en su ejercicio profesional, los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?	Se identifican los elementos que presentan No conformidad y la manera en que pueden llevarse a cumplir, se cuantifican los incumplimientos y se define el plan de acción, se revisa la programación para actualizar el cronograma de modo que se minimicen los efectos adversos.
6. ¿Durante su desempeño como profesional, realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa en la ejecución de proyectos de infraestructura?	Sí, se mantiene un estricto control sobre sus efectos en la ejecución presupuestal, tiempo y alcance del proyecto.
7. ¿Podría mencionar algunos impactos negativos que haya debido afrontar con clientes, proveedores y/o inversionistas, debidos a la inadecuada gestión durante la contratación y ejecución de algún proyecto de infraestructura?	Aumento en el valor estimado del contrato, reducción del alcance, entrega tardía del proyecto, multas por incumplimiento con proveedores y clientes.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: Reunión virtual 25 de septiembre de 2023	
Empresa: Particular	
Nombre del entrevistado: Freddy García C.	
Cargo del entrevistado: Profesional de la Ingeniería	
Dependencia: Administrativa y Obras civiles	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta Profesional
8. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura minera puede ser de utilidad en el sector minero colombiano?	Si, teniendo claro que cada proyecto es único y requiere una planificación particular.
9. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Designación del equipo de trabajo para el proyecto, estructuración del plan de trabajo, mecanismos de control durante todo el proceso (medir-controlar-estandarizar-mejorar-optimizar), contratación, herramientas para resolución de situaciones, componentes para manejo de terceros en temas ambientales, SST, técnicos.
Dependencia: Obras Civiles	
1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza, como profesional, para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura en el sector minero?	Manual de contratación, pliego de condiciones, Excel (diagrama Gantt), ciclo: medir-controlar-estandarizar, bitácora, gráficos, supervisión mediante interventoría, plan de obra.
2. ¿Utiliza alguna metodología en particular para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?, ¿Cuál?	No acostumbro aplicar un método en particular, de acuerdo con el tipo de proyecto, así mismo defino los criterios de contratación y decido como se hará la supervisión durante la etapa de ejecución.
3. ¿Qué componentes técnicos considera que debe tener el manual de contratación para obras de infraestructura?, ¿En caso de que considere que no es necesario contar con un manual de contratación, indique que herramientas técnicas debería implementar la empresa para la contratación de los proyectos de infraestructura?	El manual de contratación, en el componente técnico, debe incluir la valoración del presupuesto (análisis de precio unitario), requisitos técnicos de participación, especificaciones técnicas, permisos y licencias, requisitos ambientales, programación de obra.
4. ¿En su ejercicio profesional, utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la contratación y ejecución obras de infraestructura?	No.
5. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza con mayor frecuencia para realizar el control sobre el tiempo, costos, especificaciones técnicas de construcción y cumplimiento de normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	Seguimiento al presupuesto (Excel, Gantt, gráficos, MS Project), supervisión a través de interventoría externa o interna, seguimiento al programa de obra, control de calidad, control HSEQ.
6. ¿Recuerda una o varias dificultades que haya debido enfrentar durante la contratación y ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura?	Si.

Guion para entrevista semiestructurada	
MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: Reunión virtual 25 de septiembre de 2023	
Empresa: Particular	
Nombre del entrevistado: Freddy García C.	
Cargo del entrevistado: Profesional de la Ingeniería	
Dependencia: Administrativa y Obras civiles	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta Profesional
7. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?	Los problemas más recurrentes tienen que ver con situaciones de caso fortuito o fuerza mayor que alteran las condiciones iniciales del contrato, obligando a cargar costos adicionales, extendiendo el plazo y, en ocasiones, sufriendo cantidad de obra para atender las actividades fundamentales del proyecto, de modo que se asegure la entrada en operación.
8. ¿Considera que es importante implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?	En la actualidad, las empresas con capacidad técnica deben ir a la vanguardia de las nuevas metodologías de trabajo, esto les permite ser más eficientes y eficaces en el desarrollo de los proyectos de infraestructura.
9. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero?	Si.
10. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Estructuración del proyecto, diseños en una plataforma de trabajo colaborativo, presupuesto y mecanismos de control presupuestal en obra, mecanismo de control basado en el ciclo: medir. Estandarizar-mejorar-controlar-optimizar u otro similar, supervisión técnica, herramientas de control modernas.

Tabla 11. Respuesta entrevista Profesional Boris García Fontalvo.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: Reunión virtual 23 de septiembre de 2023	
Empresa: Particular	
Nombre del entrevistado: Boris García Fontalvo	
Cargo del entrevistado: Profesional de la Ingeniería	
Dependencia: Administrativa y técnica	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta Profesional
Dependencia: Administración	Ing. Boris García Montalvo
1. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utiliza en su desempeño profesional para la estructuración, contratación y ejecución de los proyectos de inversión en el sector infraestructura?	Dependiendo del tipo y tamaño del proyecto se emplean herramientas de gestión de proyectos tipo ágil, lean, waterfall; para los proyectos mineros normalmente uso un método de marco lógico que permite definir claramente los objetivos del proyecto, las actividades necesarias para alcanzar estos objetivos y los indicadores de éxito.
2. ¿Cuáles son las herramientas administrativas que utilizada para realizar el control sobre el alcance, tiempo y costos durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	La herramienta que uso con mayor frecuencia es el MS Project porque me permite gestionar los componentes de alcance, tiempo y costos en una sola parte, no obstante, también se puede acudir a Procore que ofrece diversas funciones como gestión de calidad, seguridad, finanzas y documentación. También permite la colaboración en tiempo real entre todas las partes interesadas.
3. ¿Recuerda o tiene referencia de un acontecimiento, relacionado con la ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura, que haya impactado negativamente el resultado? ¿Cuál fue la causa y cómo se enfrentó la situación?	Un proyecto específico tuvo que ser suspendido tras una inversión de 80 millones de dólares debido a una incorrecta estimación de los volúmenes de producción. Esto se debió a que se emprendió la expansión de la planta de procesamiento con el objetivo de alcanzar una producción diaria de 2500 toneladas. Posteriormente, se determinó que la empresa no contaba con la capacidad instalada necesaria para alcanzar dicha producción. Dado que aumentar la capacidad de producción en la mina resultaba más costoso que finalizar la construcción de la planta de procesamiento, no se encontró una solución viable.
4. ¿Cuáles considera usted que son las consecuencias más graves a las que se enfrenta una empresa cuando no se gestiona adecuadamente la contratación y ejecución de un proyecto de infraestructura?	Pérdida de recursos (destrucción de valor), demoras en la entrega de productos a los clientes, lo que se traduce en multas y problemas con proveedores y afecta la situación financiera de la empresa.
5. ¿Cómo gestiona, en su ejercicio profesional, los resultados no conformes en materia de contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?	Cuando se presentan no conformidades durante el proceso de ejecución del contrato, se examinan las oportunidades de corrección, se analizan los costos y/o beneficios y se toman decisiones para seguir avanzando, todo el proceso se registra para retroalimentar a los equipos involucrados y evitar que se repita una situación similar.

Guion para entrevista semiestructurada MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.	
Ciudad y Fecha: Reunión virtual 23 de septiembre de 2023	
Empresa: Particular	
Nombre del entrevistado: Boris García Fontalvo	
Cargo del entrevistado: Profesional de la Ingeniería	
Dependencia: Administrativa y técnica	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta Profesional
6. ¿Durante su desempeño como profesional, realiza trazabilidad a los impactos generados por la inadecuada gestión administrativa en la ejecución de proyectos de infraestructura?	Sí, siempre se lleva un registro de las situaciones problemáticas y las medidas implementadas para enfrentarlas, se hace seguimiento a las solución planeada de manera que si se obtienen resultados satisfactorios, pueda exponerse como lección aprendida y retroalimentar a los equipos involucrados.
7. ¿Podría mencionar algunos impactos negativos que haya debido afrontar con clientes, proveedores y/o inversionistas, debidos a la inadecuada gestión durante la contratación y ejecución de algún proyecto de infraestructura?	Los impactos negativos más recurrentes son aquellos relacionados con las demoras en la entrega de las obras, los sobre costos, el incumplimiento de factores de calidad; estas situaciones generan contratiempos en toda la cadena de valor del proyecto, afectando a todos los interesados.
8. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura minera puede ser de utilidad en el sector minero colombiano?	Por supuesto.
9. ¿Qué componentes administrativos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Podría incluir los procesos que se requieren en cada etapa, es decir, la estructuración, la contratación, ejecución, pruebas y puesta en marcha, idealmente un componente para el mantenimiento de la infraestructura construida.
Dependencia: Obras Civiles	
1. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza, como profesional, para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura en el sector minero?	La herramienta que uso con mayor frecuencia es el MS Project porque me permite gestionar los componentes de alcance, tiempo y costos en una sola parte, no obstante, también se puede acudir a Procore que ofrece diversas funciones como gestión de calidad, seguimiento, flujo de caja del proyecto, integración de actividades, etc.
2. ¿Utiliza alguna metodología en particular para la contratación y ejecución de los proyectos de infraestructura?, ¿Cuál?	La herramienta que considero más versátil es el MS Project, es una de las más conocidas y utilizadas; además ofrece una amplia variedad de funciones, como la programación de tareas, la asignación de recursos, el seguimiento del progreso, la gestión de presupuestos.
3. ¿Qué componentes técnicos considera que debe tener el manual de contratación para obras de infraestructura?, ¿En caso de que considere que no es necesario contar con un manual de contratación, indique que herramientas técnicas debería implementar la empresa para la contratación de los proyectos de infraestructura?	La definición de los componentes técnicos es importante ya sea que se tenga o no un manual para contratar, lo que se debe tener como insumo es básicamente, todo lo que esté relacionado con los costos de la obra, experiencia de Contratista, diseños, programación, análisis de precios, capacidad técnica y operativa de los oferentes, es necesario además, que exista un criterio para definir si será necesario contratar Interventoría externa.

<p><u>Guion para entrevista semiestructurada</u> MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA ESTRUCTURACIÓN, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SECTOR MINERO.</p>	
Ciudad y Fecha: Reunión virtual 23 de septiembre de 2023	
Empresa: Particular	
Nombre del entrevistado: Boris García Fontalvo	
Cargo del entrevistado: Profesional de la Ingeniería	
Dependencia: Administrativa y técnica	
Nombre del entrevistador: Alexander Echavarría Agudelo.	
Preguntas por área	Respuesta Profesional
4. ¿En su ejercicio profesional, utiliza herramientas tecnológicas tipo BIM para la contratación y ejecución obras de infraestructura?	La metodología <i>BIM</i> es relativamente nueva en este medio, algunas empresas mineras la están integrando a sus equipos de obras civiles porque representa beneficios en términos tiempo y costos, particularmente no he trabajado en un proyecto que se hayan ejecutado bajo esta modalidad.
5. ¿Cuáles son las herramientas técnicas que utiliza con mayor frecuencia para realizar el control sobre el tiempo, costos, especificaciones técnicas de construcción y cumplimiento de normas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente durante la ejecución de los proyectos de infraestructura?	El MS Project, gráficos de curvas S que permita controlar avance vs inversión, control de calidad a través de laboratorios certificados, revisiones técnicas periódicas de los componentes de SST y políticas ambientales.
6. ¿Recuerda una o varias dificultades que haya debido enfrentar durante la contratación y ejecución de uno o varios proyectos de infraestructura?	Si.
7. ¿En caso de que la respuesta a la pregunta 1 sea afirmativa, podría describir que tipo de problemas se han presentado con mayor frecuencia y de qué manera se han gestionado?	Problemas con los diseños, esto porque se implementó un diseño que solo tenía ingeniería conceptual, venía de otro proyecto y se copió sin un análisis adecuado, esta situación generó problemas durante toda la etapa de ejecución, retrasos en los tiempos de entrega y problema en las pruebas para poner en operación el proyecto.
8. ¿Considera que es importante implementar metodologías de trabajo colaborativo tipo BIM para la gestión de proyectos de infraestructura?	Si.
9. ¿Considera que un modelo de gestión administrativa para la estructuración, contratación y ejecución de obras de infraestructura puede ser de utilidad en el sector minero?	Si.
10. ¿Qué componentes técnicos considera que podría incluir un modelo de este tipo?	Sería interesante construir un modelo que integre las fases de estructuración, contratación y ejecución con un componente BIM que permita la colaboración durante todas las fases y entre todos los implicados desde el inicio hasta el final, incluida la operación y mantenimiento.