

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



Roadmap Tecnológico para el Proceso de Explotación de la Unidad Minera
Constancia

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN GERENCIA
DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN OTORGADO POR LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

PRESENTADA POR

Luis Alberto, Hancoccallo Saico, DNI: 46900775

Max Andrés, Ruiz Minaya, DNI: 44656399

Lester Juan De Dios, Villar Zamora, DNI: 46874633

ASESOR

Hobber Aristides Siccha Ayvar, DNI: 10140192

ORCID código del asesor <https://orcid.org/0000-0002-1670-9730>

JURADO

Presidente: LOZA GELDRES, IGOR LEOPOLDO

Jurado: ARANA BARBIER, PABLO JOSÉ

Asesor: SICCHA AYVAR, HOBBER ARISTIDES

Surco, noviembre 2023

Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, Hobber Aristides Siccha Ayvar, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado “Roadmap Tecnológico para el Proceso de Explotación de la Unidad Minera Constancia”,

de los autores:

Luis Alberto Hancoccallo Saico, DNI: 46900775,

Max Andrés Ruiz Minaya, DNI: 44656399,

Lester Juan de Dios Villar Zamora, DNI: 46874633,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 17%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 06/11/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 06 de noviembre del 2023

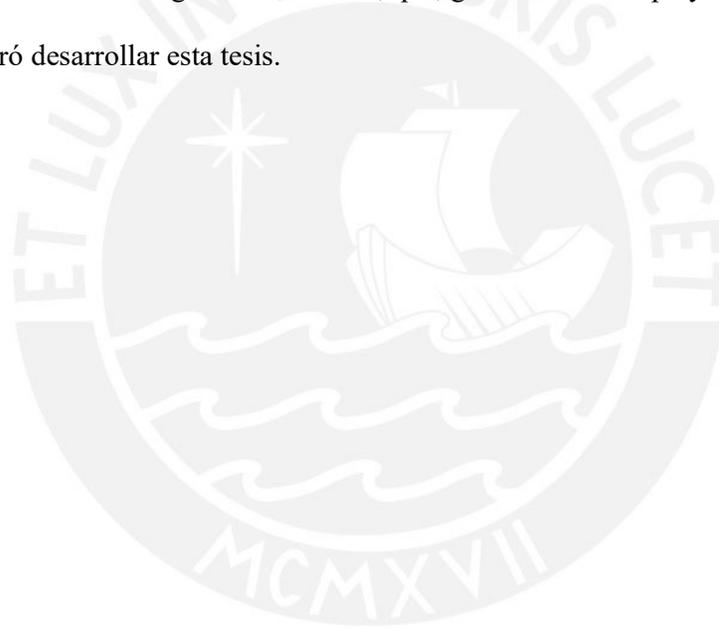
| | |
|--|---|
| Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Siccha Ayvar, Hobber Aristides</u> | |
| DNI: 10140192 | Firma  |
| ORCID: 0000-0002-1670-9730 | |

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a nuestros compañeros de la Maestría en Gerencia de Tecnologías de la Información por compartir sus experiencias profesionales que dieron valor en cada una de las clases.

Para nuestros profesores por haber compartido con nosotros sus conocimientos y sus experiencias profesionales el cual nos ayudó a desarrollar habilidades y herramientas necesarias para culminar nuestra tesis.

Para nuestro asesor Mag. Hobber Siccha, que, gracias a su tiempo y dedicación en las asesorías, se logró desarrollar esta tesis.



Dedicatorias

A mis padres y mi hermana por la motivación constante, a mi hijo Sayri Fabrizio por ser el impulso para poder continuar en mi vida profesional y a mi esposa por su paciencia en todo este proceso de estudio.

Luis Alberto Hancoccallo Saico.

A mi esposa por ser mi principal impulso y motivación constante acompañándome en este desafío, a mis padres y a mi hermana por su apoyo incondicional y en especial a Dios por darme la vida y permitirme terminar esta fase de mi vida.

Max Andrés Ruiz Minaya.

Para Dios fuente inagotable de conocimiento y sabiduría que siempre guarda mi vida y la de mi familia. Para las tres mujeres más importantes de mi vida, para mi hija Luciana, mi esposa Claudia y mi mamá Norma, pilares de mí ser y motores de mi fuerza interior.

Lester Juan De Dios Villar Zamora.

Resumen Ejecutivo

La presente tesis tuvo como objetivo elaborar el primer *Roadmap* tecnológico proyectado hasta el año 2030, destinado a optimizar el proceso de explotación en la unidad minera Constanca. Dicha propuesta proporcionará a la operación minera una guía estratégica para el desarrollo y la gestión sostenible del proceso de explotación, así como tener una visión a largo plazo y reconocer con mucha anticipación en cómo atender a la demanda de extracción de mineral y optimizar los procesos de la operación minera. La investigación se aplicó dentro de un enfoque cualitativo bajo un paradigma de estudio hermenéutico interpretativo y positivista, desde un alcance descriptivo y un diseño de estudio de casos. La técnica que se utilizó fue la técnica indirecta de análisis documental de revisión de fuentes secundarias y posteriormente la técnica directa de entrevista en profundidad de fuentes primarias con los expertos de las principales áreas del proceso de explotación. De acuerdo con los resultados obtenidos de la presente investigación, a partir del diseño del *Roadmap* se ha desprendido una cartera de proyectos a implementar en el corto, mediano y largo plazo desde el año 2024 hasta el año 2030 y está acorde al lineamiento de los objetivos del negocio con los sistemas y tecnologías necesarias para su cumplimiento. Se concluye que la metodología *Roadmapping* Cambridge ha resultado bastante versátil y didáctica para el planteamiento del *Roadmap* del proceso de explotación por el uso de herramientas y artefactos que facilitan la realización del diseño de la herramienta tecnológica.

Palabras Clave: Roadmap, Roadmapping, proceso de explotación, herramienta tecnológica.

Abstract

The objective of this thesis was to prepare the first technological Roadmap projected until 2030, aimed at optimizing the exploitation process in the Constancia mining unit. This proposal will provide the mining operation with a strategic guide for the development and sustainable management of the exploitation process, as well as having a long-term vision and recognizing well in advance how to meet the demand for mineral extraction and optimize the mining processes. The research was applied within a qualitative approach under an interpretive and positivist hermeneutic study paradigm, from a descriptive scope and a case study design. The technique used was the indirect documentary analysis technique of review of secondary sources and subsequently the direct technique of in-depth interview of primary sources with experts in the main areas of the exploitation process. According to the results obtained from this research, from the design of the Roadmap a portfolio of projects has been derived to be implemented in the short, medium and long term from 2024 to 2030 and is in accordance with the guidelines of the objectives of the business with the systems and technologies necessary for its compliance. It is concluded that the Roadmapping Cambridge methodology has been quite versatile and didactic for the Roadmap approach to the exploitation process due to the use of tools and artifacts that facilitate the design of the technological tool.

Keywords: Roadmap, Roadmapping, exploitation process, technological tool.

Tabla de Contenido

| | |
|--|-----------|
| Capítulo I. Introducción | 1 |
| Presentación del Tema de Investigación y Antecedentes | 1 |
| Descripción de la Situación Problemática | 4 |
| Marco Teórico Conceptual | 7 |
| Formulación del Problema de la Investigación | 19 |
| Objetivos de Investigación | 20 |
| Justificación de la Investigación | 20 |
| Alcance y Limitaciones de la Investigación | 21 |
| Capítulo II. Revisión de la Literatura | 23 |
| Roadmapping | 25 |
| Roadmapping: Arquitectura y Proceso | 28 |
| Tecnología en el Rubro Minero | 37 |
| Capítulo III. Metodología | 49 |
| Caracterización de la Investigación | 49 |
| Descripción del Diseño de Investigación | 50 |
| Consideraciones Éticas | 57 |
| Capítulo IV. Resultados | 58 |
| Situación Actual del Área de Geología con Respecto al Proceso de Explotación | 58 |
| Situación Actual del Área de Control Mina con Respecto al Proceso de Explotación | 63 |
| Situación Actual del Área del Mantenimiento Mina con Respecto al Proceso de Explotación | 67 |
| Situación Actual del Área de Planeamiento con Respecto al Proceso de Explotación | 71 |
| Situación Actual del Área de Perforación y Voladura con Respecto al Proceso de Explotación | 74 |
| Análisis PESTEL para Mina Constancia | 78 |

| | |
|--|------------|
| Matriz FODA para Mina Constancia _____ | 91 |
| Business Model Canvas para Mina Constancia _____ | 95 |
| Linking Grids para el Proceso de Explotación _____ | 100 |
| Matriz de Innovación para el Proceso de Explotación _____ | 114 |
| Roadmap para el Proceso de Explotación _____ | 121 |
| Planificación de Cartera de Proyectos para Implementación en mina Constancia _____ | 136 |
| Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones _____ | 150 |
| Conclusiones _____ | 150 |
| Recomendaciones _____ | 152 |
| Capítulo VI. Referencias _____ | 153 |
| Apéndice A: Carta de Autorización de la Operación Minera _____ | 158 |
| Apéndice B: Validación de los Instrumentos _____ | 159 |
| Apéndice C: Ficha Técnica de Entrevista _____ | 166 |
| Apéndice D: Frecuencia de Palabras en Entrevista _____ | 167 |
| Apéndice E: Estados Financieros Consolidados de la Operación Constancia _____ | 168 |

LISTA DE TABLAS

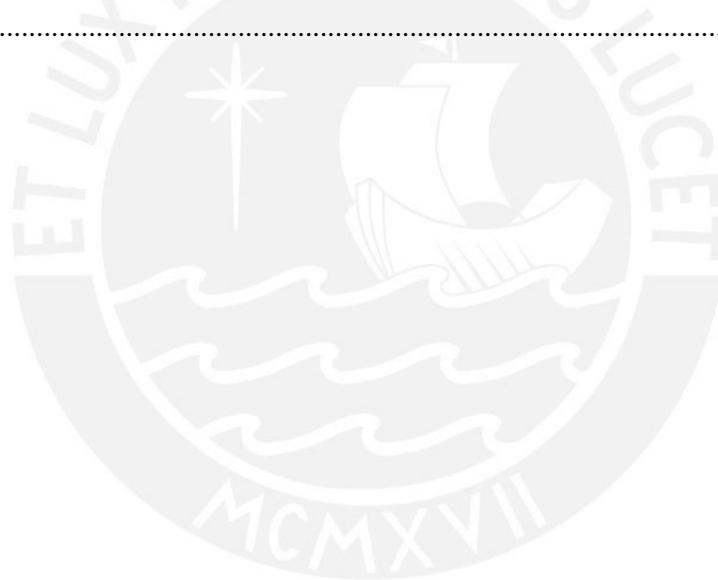
| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Lista de Entrevistados | 52 |
| Tabla 2 | Validez y Confiabilidad del Instrumento | 54 |
| Tabla 3 | Sistemas del Área de Geología | 60 |
| Tabla 4 | Sistemas del Área de Control Mina | 65 |
| Tabla 5 | Sistemas del Área de Mantenimiento | 69 |
| Tabla 6 | Sistemas del Área de Planeamiento | 73 |
| Tabla 7 | Sistemas del Área de Perforación y Voladura | 76 |
| Tabla 8 | Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Político..... | 79 |
| Tabla 9 | Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Económico..... | 81 |
| Tabla 10 | Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Sociocultural..... | 83 |
| Tabla 11 | Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Tecnológico | 85 |
| Tabla 12 | Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Ecológico-Ambiental..... | 87 |
| Tabla 13 | Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Legal..... | 90 |
| Tabla 14 | Cuadro Resumen del Artefacto PESTEL..... | 97 |
| Tabla 15 | Cuadro Resumen del Artefacto FODA | 98 |
| Tabla 16 | Cuadro Resumen del Artefacto BMC | 99 |
| Tabla 17 | Validación de Plazos por Experto..... | 122 |
| Tabla 18 | Cartera de Proyectos Tecnológicos y de Innovación..... | 137 |
| Tabla 19 | Cuadro Resumen de Puntuación - Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Corto Plazo..... | 139 |
| Tabla 20 | Cuadro Resumen de Puntuación - Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Mediano Plazo | 140 |
| Tabla 21 | Cuadro Resumen de Puntuación - Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Largo Plazo | 141 |
| Tabla 22 | Variación Porcentual de los Últimos 5 Años (Expresado en Miles de Dólares) .. | 148 |
| Tabla 23 | Proyección Estimada de Inversión Tecnológica por Plazo para los Próximos 7 años (Expresado en Miles de Dólares)..... | 149 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Organigrama Corporativo Hudbay Minerals Inc..... | 4 |
| Figura 2 Diagrama de Macroprocesos | 6 |
| Figura 3 Roadmap Tecnológico Genérico | 8 |
| Figura 4 Cráter de una Minería a Tajo Abierto | 12 |
| Figura 5 Operación Minera..... | 14 |
| Figura 6 Extracción Minera. | 15 |
| Figura 7 Perforación y Voladura en las Minas | 17 |
| Figura 8 Carguío Minero | 18 |
| Figura 9 Transporte Minero..... | 18 |
| Figura 10 Marco de Sistemas Dinámicos Basados en el Tiempo Multicapa de Propósito General..... | 24 |
| Figura 11 Seis Preguntas Estratégicas para el Roadmapping..... | 26 |
| Figura 12 Hoja de Ruta de Tecnología Esquemática..... | 27 |
| Figura 13 Diversidad de dominios y propósitos del Roadmap..... | 29 |
| Figura 14 Perspectiva de Mapeo de Roadmaps..... | 30 |
| Figura 15 Familia Jerárquica de Hojas de Ruta..... | 31 |
| Figura 16 T-Plan: Pasos de Proceso Estándar. | 34 |
| Figura 17 Arquitectura de Roadmap de Tecnología Generalizada..... | 35 |
| Figura 18 Los Roadmap Integran el Conocimiento Comercial y Tecnológico. | 36 |
| Figura 19 La Producción Óptima en el Sector Minero..... | 38 |
| Figura 20 Dispositivos que se Entregan para una Operación Tele Remota..... | 40 |
| Figura 21 El Impacto de las Tendencias de la Industria en la Industria Minera y Metalúrgica. | 45 |
| Figura 22 Tecnologías que se Espera que Tengan un Impacto Significativo en la Cadena de Valor de la Industria..... | 47 |
| Figura 23 Aumento Exponencial de las Capacidades Tecnológicas | 48 |
| Figura 24 Mapa de las Actividades para el Logro de Objetivo Específico 1 | 55 |
| Figura 25 Mapa de las Actividades para el Logro de Objetivo Específico 2 | 56 |
| Figura 26 Mapa de las Actividades para el Logro de Objetivo Específico 3 | 56 |
| Figura 27 Relación entre los Sistemas del Área de Geología (Primera Parte) | 59 |
| Figura 28 Relación entre los Sistemas del Área de Geología (Segunda Parte)..... | 59 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 29 | Relación entre Sistemas, Procesos y Áreas Conexas a Geología..... | 61 |
| Figura 30 | Base de Datos del Área de Geología | 62 |
| Figura 31 | Base de Datos del Área de Geología | 64 |
| Figura 32 | Relación entre Sistemas del Área de Control Mina | 66 |
| Figura 33 | Relación entre Base de Datos y Sistemas..... | 67 |
| Figura 34 | Relación entre Procesos del Área de Control Mina | 68 |
| Figura 35 | Relación entre Sistemas Procesos y Áreas conexas a Mantenimiento Mina | 70 |
| Figura 36 | Relación de Sistemas del Área de Planeamiento (Parte 1)..... | 71 |
| Figura 37 | Relación de Sistemas del Área de Planeamiento (Parte 2)..... | 72 |
| Figura 38 | Relación entre Sistemas Procesos y Áreas Conexas a Planeamiento..... | 73 |
| Figura 39 | Relación entre los Sistemas del Área de Perforación y Voladura..... | 75 |
| Figura 40 | Relación entre Sistemas, Procesos y Áreas Conexas a Perforación & Voladura.. | 77 |
| Figura 41 | FODA para Mina Constancia – Proceso de Explotación | 92 |
| Figura 42 | FODA para Mina Constancia en Formato Roadmapping Cambridge – Proceso de Explotación. | 93 |
| Figura 43 | Business Model Canvas para el Proceso de Explotación | 95 |
| Figura 44 | Linking Grids para el Área de Geología | 102 |
| Figura 45 | Linking Grids para el Área de Mantenimiento..... | 105 |
| Figura 46 | Linking Grids para el Área de Control Mina | 108 |
| Figura 47 | Linking Grids para el Área de Planeamiento | 110 |
| Figura 48 | Linking Grids para el Área de Perforación y Voladura..... | 113 |
| Figura 49 | Matriz de Innovación para el Área de Geología..... | 115 |
| Figura 50 | Matriz de Innovación para el Área de Mantenimiento..... | 116 |
| Figura 51 | Matriz de Innovación para el Área de Control Mina..... | 117 |
| Figura 52 | Matriz de Innovación para el Área de Planeamiento | 119 |
| Figura 53 | Matriz de Innovación para el Área de Perforación y Voladura..... | 120 |
| Figura 54 | Propuesta de Roadmap para el Proceso de Explotación en la Mina Constancia. | 123 |
| Figura 55 | Diseño de Roadmap a Corto Plazo..... | 127 |
| Figura 56 | Diseño de Roadmap a Mediano Plazo..... | 131 |
| Figura 57 | Diseño de Roadmap a Largo Plazo | 135 |
| Figura 58 | Diagrama Scoring Ranges, Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Corto Plazo..... | 142 |

| | |
|--|-----|
| Figura 59 Diagrama Scoring Ranges, Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Mediano Plazo | 143 |
| Figura 60 Diagrama Scoring Ranges, Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Largo Plazo..... | 143 |
| Figura 61 Diagrama de Barras Alternativo Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Corto Plazo..... | 145 |
| Figura 62 Diagrama de Barras Alternativo Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Mediano Plazo | 145 |
| Figura 63 Diagrama de Barras Alternativo Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Largo Plazo | 146 |
| Figura 64 Diagrama de Gantt para los Proyectos Tecnológicos y de Innovación en Mina Constancia..... | 147 |



Capítulo I. Introducción

Presentación del Tema de Investigación y Antecedentes

La minería es uno de los sectores más importantes en la economía mundial y entre sus principales productores se encuentra Perú que cuenta con un enorme potencial geológico debido a presencia de la Cordillera de los Andes a lo largo de su territorio, siendo el segundo productor de plata, cobre y zinc a nivel mundial y primer productor de oro, zinc, estaño, plomo y molibdeno en América Latina. La minería en el Perú representa el 9% del PBI, 15% de la inversión privada y local; y más del 60% del valor de las exportaciones totales, siendo pieza clave en la economía nacional. (Tamayo et al., 2017).

Sin embargo, la industria minera se enfrenta a varios desafíos como yacimientos con baja ley, contenidos más complejos y a mayor profundidad que hacen que la explotación minera resulte más difícil desde el punto de vista técnico, lo que la hace más costosa. Los costos de producción se han elevado considerablemente y a esto se suma a la escasez de agua, la normatividad medioambiental cada vez más estricta y los crecientes costos de energía asociados al movimiento de tierras. Esta situación hace recurrir a las empresas mineras a la innovación tecnológica que les permite aumentar la productividad, efectividad operativa y un ambiente seguro para sus trabajadores, siendo pieza clave para la rentabilidad futura al conseguir importantes ahorros en sus procesos. (Báez, 2015)

El proceso más importante de la minería es la explotación, una de las características de este proceso es que presenta economías de escala ya que el costo por tonelada extraída decrece a mayor cantidad de mineral extraído, sin embargo, a medida que las reservas de mineral disminuye los costos de explotación tienden a incrementarse debido a que las empresas mineras se ven forzadas a explotar zonas con menor concentración de mineral y difícil acceso, siempre y cuando éstas estén por encima de la ley de corte (económicamente

rentable). Dadas estas condiciones surge la necesidad de mayor requerimiento de capital y mano de obra, que terminarán repercutiendo en los costos de la explotación además de la incertidumbre generada por la inestabilidad de los precios de los metales que juegan un rol importante en la determinación de reservas económicamente rentables ya que con precios bajos no es rentable explotar zonas con baja ley que terminan siendo consideradas desmonte o desechos. Dada esta coyuntura la utilización de nuevas tecnologías podría contrarrestar estos efectos e incluso incrementar la vida útil de la mina. (Tamayo et al., 2017)

Dentro de la explotación se tiene el proceso de perforación y voladura el cual logra la fragmentación y desplazamiento de rocas mediante el uso de explosivos. Como afirma Montañó et al. (2021) La perforación y voladura representa una actividad de alto costo en la producción, que requiere una mejora en las técnicas de voladura de rocas ya que la energía de los explosivos no es utilizada en su totalidad al momento de realizar el trabajo, como resultado parte de esta energía es liberada en forma de vibraciones. De acuerdo con Cano y Aguirre (2019), una mala fragmentación hace necesario la realización de voladuras secundarias o la necesidad de romper los tamaños mediante medios mecánicos, incurriendo en sobre costos de producción. Desde el punto de vista de Rojas (2021) otro sobre costo en el que se puede incurrir en el proceso de perforación y voladura es el sobre consumo de las piezas de los equipos de perforación debido al tipo de roca no uniforme presente en las operaciones mineras de Perú.

Un proceso de perforación y voladura ineficiente genera que encuentre una granulometría sobredimensionada, la cual afecta la productividad de los equipos de carguío; además, este sobredimensionamiento del material producto de la voladura, ha originado en diferentes oportunidades accidentes con daño a la propiedad y al proceso productivo. (Bazán & Pino, 2021)

Como afirman Osses et al. (2021), El carguío y acarreo de material generalmente representan entre el 35% y 55% de los costos operativos de una mina a tajo abierto, que a medida que madura se descubre recursos adicionales dando como resultado mayores profundidades del tajo y por lo tanto recorridos más largos, ocasionando que los costos de transporte representan una parte cada vez mayor de los costos operativos de la explotación. Además, cabe mencionar que los equipos de carguío y acarreo se consideran activos costosos que generan costos operativos y de capital (Moniri-Morad et al., 2019).

Estos equipos generan costos operativos en función del tiempo del consumo de combustible y llantas, costos de repuestos, lubricantes, salarios del personal de mantenimiento, herramientas auxiliares. Los gastos de mantenimiento por sí solos contribuyen al 40-50% del costo operativo total del equipo. El deterioro de los componentes de trabajo debido tanto a la tasa de utilización del equipo como a la antigüedad del equipo conduce a una mayor frecuencia de fallas y una menor disponibilidad. Esta condición aumenta el consumo de combustible, los gastos de mantenimiento y las pérdidas de producción. (Gölbaşı & Dagdelen, 2017)

Como afirma Zúniga (2021), Según las condiciones mencionadas las compañías se están atreviendo a apoyarse en el avance tecnológico en busca de un proceso más ágil, más seguro y a menor costo. Por lo tanto, se hace necesaria la innovación tecnológica para alcanzar altos niveles de competitividad y desempeño empresarial de la industria minera (Moya et al., 2002).

El desarrollo de un *Roadmap* busca habilitar una cartera de proyectos y actividades público-privadas que apunten al desarrollo de la industria minera a la interoperabilidad de los sistemas de información y la digitalización teniendo como herramienta esencial la innovación tecnológica para superar los principales desafíos de la industria minera como la viabilidad

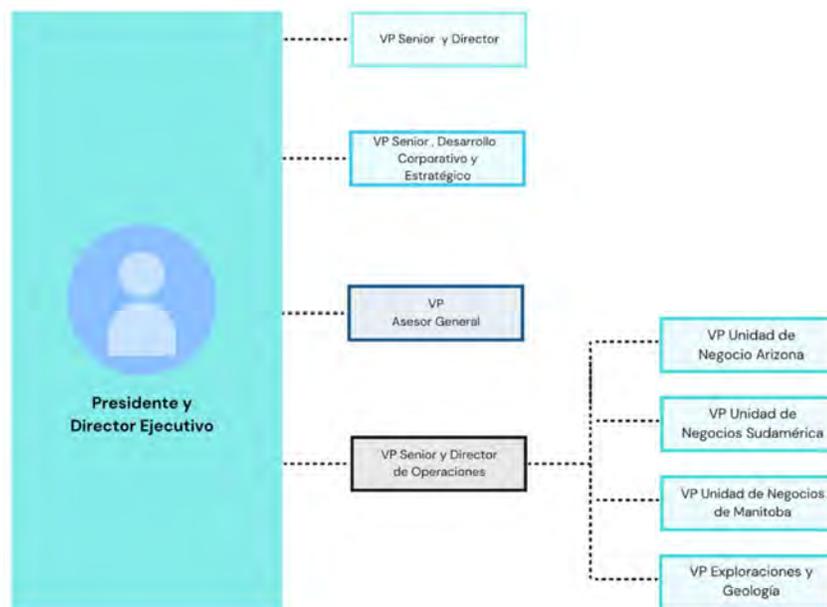
económica, pérdida de competitividad, baja productividad, contribución al desarrollo social, entre otros. (El Mercurio, 2020)

Descripción de la Situación Problemática

Hubday Minerals Inc. es una compañía de origen canadiense que tiene activos en Canadá, EEUU y Perú. Dentro del organigrama corporativo (ver Figura 1) se compone desde la presidencia hasta las vicepresidencias enfocándose específicamente como materia de estudio en la Vicepresidencia de Unidad de Negocios Sudamérica perteneciente a la Vicepresidencia de Operaciones:

Figura 1

Organigrama Corporativo Hubday Minerals Inc.



Nota. El gráfico representa el organigrama de acuerdo con el levantamiento de información.

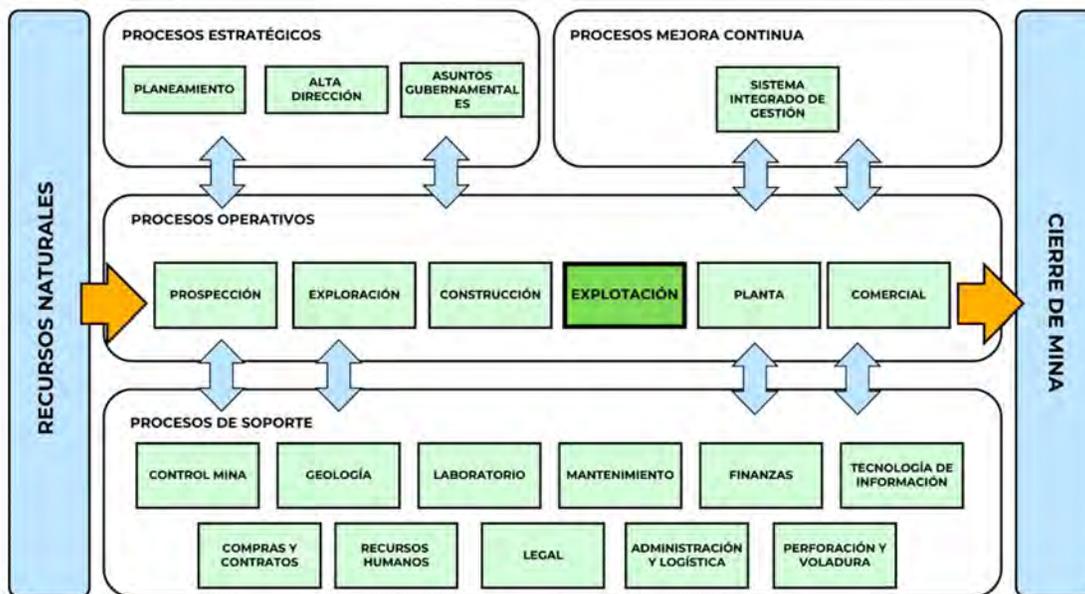
En el año 2011, se adquirió la total participación de Norsemont Mining Inc. con su subsidiaria en Perú y el proyecto de cobre “Constancia” cambiando la razón social a Hubday Perú S.A.C.

La mina Constancia de la empresa Hudbay Minerals Inc. se encuentra en la provincia de Chumbivilcas, distritos de Chamaca, Livitaca y Velille. El acceso por carretera es desde la ciudad de Arequipa (8 horas) o desde la ciudad de Cusco (7 horas). Para el transporte de insumos desde Lima a Constancia se utiliza la ruta por carretera Lima – Arequipa – Yauri – Constancia. Para el transporte del producto final para venta (concentrado de cobre y concentrado de molibdeno) se utiliza la ruta Constancia – Yauri – Puerto de Matarani en Arequipa. La carretera de Arequipa o Matarani a Yauri es carretera asfaltada y de Yauri a Constancia es carretera afirmada. Constancia viene operando desde el último trimestre del año 2014. (Hudbay Minerals, 2022)

Actualmente cuenta con oficinas correspondientes a las Gerencias administrativas ubicadas en la ciudad de Lima, distrito de Surco donde las áreas realizan labores de soporte: Tecnología de la información, Administración y Finanzas, Recursos Humanos, Legal, Compras y Contratos (ver Figura 2).

Figura 2

Diagrama de Macroprocesos



Nota. El grafico representa los procesos macro de la unidad minera Constancia.

Dentro de sus principales procesos operativos que están relacionados a la operación Mina, se encuentra el proceso de explotación. Este proceso se realiza a tajo abierto “*Open pit*” mediante las actividades cíclicas de perforación, voladura, acarreo y descarga de material de Tajo Constancia. El mineral es extraído del tajo Constancia y Pampacancha, estos son destinados a la planta de procesos para la obtención de concentrado de cobre y molibdeno.

(Mamani, 2022)

El Proceso de explotación es el más largo y costoso de todos los procesos del “*end to end*” de la minería, costoso en cuanto a la gran cantidad de consumo de insumos como: agua, electricidad, combustible, reactivos, explosivos y otros. Además, la contratación de servicios estratégicos del proceso como: servicios de transporte, servicios de mantenimiento e ingeniería, servicios de alimentación y vivienda entre otros. Sumado a ello las inversiones en las comunidades aledañas a fin de mantener la convivencia social.

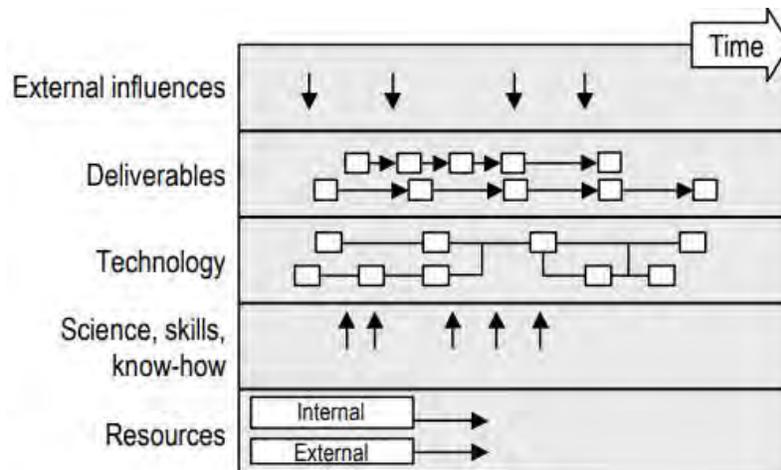
De acuerdo con Gomez (2019), la mina Constancia no es ajena a los problemas de explotación, cada día se enfrenta a circunstancias relacionadas al proceso de perforación y voladura como polvos, inestabilidad de taludes y vibraciones, este último con mayor frecuencia en zonas de criticidad. Además de los problemas relacionados al carguío y acarreo como las malas prácticas en las descargas (Huamani, 2018), así como al manejo de residuos con material antieconómico en el transporte hacia las zonas de procesamiento (Gleeson, 2022). Por otro lado, no existe un sistema integrado estándar entre las principales áreas, que trabajan de forma aislada generando silos de información.

Dadas estas circunstancias la mina Constancia tiene la intención de mejorar continuamente los márgenes de la operación y el desempeño ambiental a través de un compromiso de mejora continua apoyado en la tecnología, además cabe resaltar que la mina aumentó sus reservas con la incorporación de Pampacancha y Constancia Norte. Con estas incorporaciones se espera que la producción anual de Constancia promedie aproximadamente 102.000 t de cobre y 58.000 oz de oro de 2021 a 2028, un aumento de 40% y 367%, respectivamente, respecto de los niveles de 2020, que fueron parcialmente afectada por una interrupción temporal de la mina relacionada con un estado de emergencia declarado por el gobierno.

Marco Teórico Conceptual

Roadmap Tecnológico

Un *Roadmap* tecnológico es el documento generado por el proceso de planificación del *Roadmapping* tecnológico, el cual identifica los requisitos críticos del sistema, los objetivos de rendimiento del producto y del proceso, las alternativas tecnológicas y los hitos para cumplir con esos objetivos (Ver Figura 3).

Figura 3*Roadmap Tecnológico Genérico*

Nota. Tomado de *Technology roadmapping: Delivering business vision* por EIRMA, 1997.

En un *Roadmap* tecnológico se identifican los caminos tecnológicos alternativos para cumplir con ciertos objetivos de rendimiento donde se puede seleccionar un solo camino y desarrollarse un plan. Si existe una gran incertidumbre o riesgo, se pueden seleccionar y seguir varios caminos al mismo tiempo. Un *Roadmap* identifica objetivos precisos y ayuda a concentrar los recursos en las tecnologías críticas que se necesitan para cumplir esos objetivos (García & Bray, 1997).

Roadmapping Tecnológico. El *Roadmapping* tecnológico es un proceso de planificación tecnológica impulsado por las necesidades para ayudar a identificar, seleccionar y desarrollar alternativas tecnológicas para satisfacer un conjunto de necesidades de productos. Reúne a un equipo de expertos para desarrollar un marco, organizar y presentar la información crítica de planificación de tecnología con el fin de tomar las mejores decisiones de inversión en tecnología y aprovechar adecuadamente las inversiones.

El *Roadmapping* se puede hacer en cualquiera de los dos niveles: industrial o corporativo. Estos niveles requieren diferentes compromisos en términos de tiempo, costo,

nivel de esfuerzo y complejidad. Sin embargo, para ambos niveles, los *Roadmapping* resultantes tienen la misma estructura: necesidades, requisitos, objetivos críticos del sistema, áreas tecnológicas, impulsores, objetivos de tecnología, alternativas tecnológicas, rutas recomendadas y un informe del *Roadmap*. (Garcia & Bray, 1997)

Planificación y Desarrollo para el Roadmap Tecnológico. En el desarrollo de un *Roadmap* Tecnológico se necesitan diferentes enfoques de investigación para investigar los problemas de planificación que enfrentan las empresas en tecnología. Los principales enfoques son: la revisión de la literatura, el estudio de casos y el trabajo de encuestas pueden proporcionar información útil sobre la experiencia existente que las empresas tienen en esta área.

A partir de ello, es posible establecer un resumen de buenas prácticas, junto con recomendaciones limitadas para un enfoque que deben adoptar los recién llegados al campo. Las limitaciones se refieren a la variabilidad de las condiciones que deben abordarse para hacer recomendaciones de aplicación general, y la escasez de información disponible sobre la experiencia inicial de las organizaciones que comienzan a trazar un *Roadmap*. Además, el objetivo de la planificación es de lograr la aplicabilidad práctica de las nuevas ideas emergentes mientras se integran dentro de un marco conceptual y se vinculan con otros puntos de vista teóricos de la empresa (Phaal et al., 2003). Las actividades de planificación deben vincular tres elementos críticos: necesidades del cliente o mercado, productos o servicios y tecnologías.

La planificación estratégica dentro un *Roadmap* Tecnológico genera que los objetivos y direcciones comerciales sean de alto nivel. Dada una visión corporativa, la planificación estratégica involucra decisiones que identifican y vinculan a un alto nivel las necesidades del cliente o mercado que una empresa quiera abordar. La planificación tecnológica también

implica identificar, seleccionar e invertir en tecnologías que respalden estos requisitos de productos y servicios (Garcia & Bray, 1997).

Roadmapping

El *Roadmapping* fue desarrollada originalmente por Motorola en la década de 1970 para apoyar la tecnología y el desarrollo de productos, proporcionando una representación visual estructurada de la estrategia, desde entonces, este enfoque ha sido adoptado ampliamente por muchas organizaciones de diferentes sectores en todo el mundo, a nivel empresarial, sectorial y nacional. Los métodos de elaboración de *Roadmapping* se han adaptado a muchos objetivos diferentes, apoyando la innovación, el desarrollo y la implantación de estrategias y políticas.

La ventaja más citada del enfoque del *Roadmapping* es la comunicación a través de los límites funcionales y organizativos. El proceso de elaboración del *Roadmapping* reúne las distintas partes interesadas y perspectivas, creando un consenso donde el *Roadmapping*, puede difundirse más ampliamente, actuando como punto de referencia para el diálogo y la acción en curso. (Pearson et al., 2020)

El *Roadmapping* se puede aplicar a lo largo del proceso de innovación y desarrollo de nuevos productos, alineada con hitos clave y puntos de revisión. En las primeras etapas (la etapa inicial de la innovación), los enfoques exploratorios son apropiados. A medida que las innovaciones avanzan y maduran el *Roadmapping* debe de desarrollarse más. (Pearson et al., 2020)

Minería

La digitalización en las empresas mineras a través del uso de las tecnologías de vanguardia como equipos robóticos, posicionamiento de alta precisión para perforadores y equipos de carguío, dispositivos de monitoreo de salud de equipos y personas, etc., permiten

el uso racional de los recursos naturales, laborales y financieros debido a la alta velocidad y calidad en la toma de decisiones estratégicas y tácticas. Esta tendencia prevendrá y reducirá los riesgos de seguridad y salud en el trabajo y permitirá la optimizar extracción de las reservas y el máximo desarrollo de los yacimientos. (Shvedina, 2020)

La competitividad en la industria minera está determinada por la productividad y la excelencia operativa siendo la digitalización un factor determinante para que las empresas se mantengan competitivas en el futuro. Las empresas mineras líderes en el mercado están invirtiendo cada vez más en tecnologías modernas para aumentar su producción y eficiencia, reduciendo la mano de obra y los gastos energéticos. La tecnología digital abre nuevas oportunidades para aumentar drásticamente la productividad y los márgenes de beneficio. (Kalenov & Kukushkin, 2021)

Minería a Tajo Abierto. Es una minería dada en la superficie el cual extrae franjas llamadas bancos. La extracción de un banco de minerales generalmente requiere la extracción del material estéril que lo cubre (ver Figura 4). Esto se denomina limpieza y representa la proporción de tonelaje de roca estéril de mineral. Las ubicaciones y los tipos de depósito son completamente variables. Este tipo de desarrollo es voluminoso y se aplica a grandes sedimentos cerca de la superficie. Esto se debe a que a mayor profundidad aumenta la cantidad de material estéril removido (radio de corte), lo que se traduce en mayores costos de producción. (Herrera, 2006)

Figura 4*Cráter de una Minería a Tajo Abierto*

Nota. Tomado de “Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente” por Geo Innova, 2016 (<https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/>).

Este método se utiliza principalmente en depósitos esporádicos y se basa en la extracción de todo el material que contiene minerales. Esto significa transportar grandes volúmenes y necesariamente utilizar equipos de alta capacidad. Las actividades o procesos de este método de salvamento se pueden categorizar de la siguiente manera: exploración y desarrollo. Perforación y perforación; cargado; transporte.

Exploración Minera. Durante la fase de exploración se realizan los estudios necesarios como investigaciones que ayudarán a determinar la existencia y ubicación de los minerales, la forma de los yacimientos dentro del activo, la cantidad y calidad económicamente extraíble, la factibilidad de la técnica, esto para determinar su recuperación y su impacto en el medio ambiente y en las comunidades. Esta etapa tiene por objeto identificar y calcular técnicamente los minerales o reservas minerales, la ubicación, las características de los yacimientos, la elaboración del plan de minado, los medios y métodos de minado, la escala esperada y posible duración de la producción necesaria en el minado. (Agencia Nacional de Minería, 2022)

Desarrollo Minero. El desarrollo Minero se realiza cuando los resultados de la exploración son favorables y la compañía encargada de la Mina decide continuar con el proyecto minero y comienza con la fase del desarrollo de la Mina donde evalúa lo necesario para comenzar a trabajar iniciando actividades como la construcción de plantas, adquisición de permisos y estudios ambientales en el cual el proceso de desarrollo de la mina puede llevar años (Ministerio de Energía y Minas, 2018). Entre las principales actividades del desarrollo Minero se tiene:

- Realizar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- Obtener permisos.
- Lograr acuerdos para el uso de tierras.
- Construir la mina.

Para efectos del desarrollo minero, a industria minera causa algunos de los impactos más dramáticos y tremendos sobre el medio ambiente y la salud humana. El trabajo en las operaciones mineras es a menudo visible desde el espacio exterior, con grandes áreas de excavación.

Los avances tecnológicos en el desarrollo de la mina han ampliado el impacto ambiental del sector y han reducido los beneficios económicos locales, ya que permiten la eliminación de la biomasa vegetal con mayor rapidez. Aunque esto es cierto en muchos ecosistemas ambientales existen empresas que no respetan sus obligaciones contractuales hacia la sociedad que se encuentre cerca a esa mina, algunas tecnologías favorecen al medio ambiente, como la reutilización de agua en las minas y el mantenimiento de los desechos para un posterior reúso provocando una minería con cero residuos. (Malan, 2021)

Operación Minera. Es la etapa del ciclo minero durante la cual se extraen los minerales contenidos en el yacimiento, siendo generalmente la fase más larga (ver Figura 5).

Las operaciones mineras pueden ser subterráneas si el mineral es muy profundo, o a cielo abierto si el depósito está cerca de la superficie o es muy grande. (Ministerio de Energía y Minas, 2018)

Figura 5

Operación Minera



Nota. Tomado de “Reinicio de operaciones mineras en Perú avanza al 90%” por Tiempo Minero, 2020 (<https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/reinicio-de-operaciones-mineras-en-peru-avanza-al-90/>).

Extracción o Minado. La extracción se da mediante el uso de explosivos y maquinaria pesada donde se usan para sacar las rocas con minerales y transportarlas en camiones hacia la planta de procesamiento (ver Figura 6).

Figura 6*Extracción Minera.*

Nota. Tomado de Cruz, (2022) (<https://www.rumbominero.com/peru/importante-plan-de-extraccion-unificado/>).

Procesamiento o Concentración. La concentración minera es el proceso de aumentar el grado o (porcentaje) de un mineral o mineral en particular utilizando un separador sólido-sólido, logrando así la separación de dos o más minerales, logrando así un conglomerado de minerales de interés hacia la empresa. (Bustamante et al., 2007)

Almacenamiento de Desechos. Para el almacenamiento de desecho se aplica una jerarquización, donde se considera la prevención y la reducción de estos desechos antes de su tratamiento y disposición final, entre las opciones de almacenamiento se tienen las siguientes: evitar, minimización, tratamiento, disposición final. (Ministerio de Minería, 2002)

Servicios de apoyo. En una mina se necesitan servicios de apoyo como campamentos, almacenes, oficinas, talleres de reparación, laboratorios para analizar el mineral, entre otros, estos servicios son necesarios para garantizar una funcionalidad que no tenga inconvenientes.

Principales Procesos de la Minería. A continuación, se describe a alto nivel a los principales procesos de la minería a tajo abierto, perforación y voladura, carguío, acarreo y transporte.

Explotación. La explotación en las minas es el trabajo realizado para extraer minerales. En el caso de las minas subterráneas, es un proceso dado por la perforación, voladura, acarreo y transporte en la mina. Para las minas a cielo abierto, la minería incluye actividades de perforación, voladura, carguío y transporte. Este último método es generalmente utilizado por grandes empresas mineras ya que significa mayores volúmenes de producción.

Una vez extraído el mineral se debe procesar para aumentar su concentración ya que no siempre estará disponible comercialmente en su estado natural. El método para mejorar la concentración dependerá del tipo de mineral, de su estructura, de otros elementos presentes y el capital disponible para la realización de la concentración. (Dammert & Molinelli, 2007)

Perforación y Voladura. La perforación y la voladura son técnicas que se pueden aplicar a la excavación de rocas en terrenos adecuados donde los medios mecánicos no son económicamente aplicables (ver Figura 7). Por lo tanto, con base en esta definición, el método se puede aplicar a cualquier método de extracción de minería o construcción que requiera nivelación. La técnica de perforación y voladura se basa en la perforación de un agujero en la roca en el que posteriormente se colocará el explosivo, y la voladura transferirá la energía necesaria para fragmentar el explosivo en la roca.

Figura 7*Perforación y Voladura en las Minas*

Nota. Tomado de “Reinicio de operaciones mineras en Perú avanza al 90%” por Tiempo Minero, 2020 (<https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/reinicio-de-operaciones-mineras-en-peru-avanza-al-90/>).

La perforación de rocas ha evolucionado con el tiempo a través de la incorporación y uso de diversas tecnologías, pero muchas tecnologías han caído en desuso debido a las eficiencias logradas o por otras condiciones externas (económicas, ambientales, etc.). El más común y desarrollado es el sistema de perforación mecánica, conocidos sistemas de perforación de rotación y percusión. (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013)

Carguío. El carguío es una de las acciones que definen el proceso central de las operaciones mineras (ver Figura 8). El carguío eficiente es fundamental en las operaciones mineras donde el proceso de carga funciona de manera integrada con el camión. En la mayoría de las aplicaciones, esto representa un elemento costoso en el sistema de carguío general. (Romero, 2021)

Figura 8*Carguío Minero*

Nota. Tomado de “Dimensionamiento del Carguío y Transporte en Minería (DCT)” por Álvarez, 2020 (<https://nubeminera.cl/curso/dimensionamiento-del-carguio-y-transporte-en-mineria-dct/>).

Acarreo o Transporte. Actualmente, existen diversos medios de transporte de minerales y desechos, algunos de los cuales son: Trenes, camiones, fajas transportadoras, moto tráiler, tractores, red de tuberías, chimeneas, túneles y más (ver Figura 9).

Figura 9*Transporte Minero*

Nota. Tomado de “Reinicio de operaciones mineras en Perú avanza al 90%” por Tiempo Minero, 2020 (<https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/reinicio-de-operaciones-mineras-en-peru-avanza-al-90/>)

Gestión Tecnológica en Minería. El diseño y la implementación de la tecnología serán importantes para gestionar y navegar por estos intercambios, pero estarán limitados por la naturaleza de la industria minera y su entorno, por ello las limitaciones en la industria minera puede verse en que el nivel de desarrollo tecnológico es menor en la minería en comparación con otras industrias. Esto se puede ver en que la automatización y la robótica aún no han cambiado significativamente los procesos mineros, por lo que una de las razones citadas con frecuencia son los aspectos exclusivos de la minería que impiden o complican el uso de (nuevas) tecnologías y altos niveles de automatización es el entorno minero, el cual es muy variable e imprevisible, afectando a la ejecución satisfactoria de cada una de las secuencias de operaciones unitarias.

Por ello, los sistemas automatizados deben ser capaces de percibir, razonar y adaptarse a este entorno imprevisible para funcionar eficazmente, muchas tecnologías de automatización existentes de otras industrias no son fácilmente transferibles a la minería, porque el entorno dentro de una minería no es automático, existen factores que no permiten el total control dentro un proceso, sino que es necesario realizar con métodos de control por partes para así tener una automatización funcional dentro de la mina.

Formulación del Problema de la Investigación

¿Qué propuesta de planeamiento tecnológico se debe elaborar para optimizar el proceso de explotación en la unidad minera Constancia hacia el año 2030?

Objetivos de Investigación

Objetivo Principal

Elaborar el primer *Roadmap* tecnológico proyectado hasta el año 2030, destinado a optimizar el proceso de explotación en la unidad minera Constancia.

Objetivos Específicos

1. Evaluar y analizar la situación actual de las cinco áreas fundamentales que sustentan el proceso de explotación minera, en términos de procesos como de tecnología.
2. Diseñar un *Roadmap* tecnológico integral destinado a optimizar el proceso de explotación minera.
3. Proponer un portafolio diversificado de proyectos a partir del diseño del *Roadmap* tecnológico y establecer una planificación de proyectos orientada hacia el año 2030.

Justificación de la Investigación

La investigación plantea el desarrollar una propuesta de *Roadmap* tecnológico como una herramienta de planificación de la cartera de proyectos, así como la previsión de los recursos tecnológicos para la mina Constancia (operación a tajo abierto) de la empresa Hudbay Perú S.A.C. La propuesta servirá como referencia para proyectos mineros similares.

Un *Roadmap* en la mina Constancia proporcionará una guía estratégica para el desarrollo y la gestión sostenible del proceso de explotación, teniendo en cuenta una variedad de aspectos, desde la producción y la tecnología hasta la entrega del mineral como producto.

Justificación Teórica

El *Roadmap* beneficiará al proyecto minero apoyando a la gestión, la planificación de la tecnología, a los vínculos entre los recursos tecnológicos, los objetivos de la compañía

minera y el entorno cambiante. Además, puede ser adaptada a diferentes necesidades ya que toma como base la estrategia, producto, mercado, innovación y la tecnología, los cuales están presentes en casi todos los tipos de *Roadmap*. (Phaal et al., 2004)

Como afirman Berritzen y Innobasque (2011), los *Roadmap* brindan una visión común y compartida a quienes colaboran en la innovación. Además, los *Roadmap* permiten ayudar a identificar tecnologías disruptivas que permitan a las organizaciones sobrevivir en mercados disruptivos (Phaal et al., 2004).

Justificación Práctica

El *Roadmap* permitirá al proceso de explotación de la mina Constancia tener una visión a largo plazo y reconocer con mucha anticipación en cómo atender mercados importantes con los productos correctos en el momento adecuado y mejorar los procesos multifuncionales requeridos para la creación de nuevos productos. (Siebelink et al., 2021)

En el Perú se aprobó el *Technology Roadmap* para los proveedores tecnológicos de la minería teniendo como visión el 2030, haciendo indispensable la creación de un *Technology Roadmap* para la industria minera, con la finalidad de impulsar la investigación, el desarrollo y la innovación. (El Peruano, 2021)

Alcance y Limitaciones de la Investigación

Alcance, el alcance de la investigación es para el proceso de explotación en la mina Constancia de la empresa Hudbay Perú S.A.C.; así como también para efectos académicos para la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Limitaciones, las limitaciones que se presentó en el desarrollo de la investigación fundamentalmente se rigieron a la lejanía de la mina para acceder a la información y realizar las entrevistas de forma presencial, además la dificultad para acceder a los entrevistados por el tiempo de cada uno en las reuniones virtuales.

Delimitaciones, la presente investigación dará como resultado una propuesta de *Roadmap* tecnológico para el proceso de explotación en la mina Constanca desde el año 2024 al año 2030.



Capítulo II. Revisión de la Literatura

La definición de *Roadmap* en la investigación de Miles (2009), lo presenta como una mirada hacia futuro en un campo que está determinado por el conocimiento colectivo y la imaginación de los principales impulsores de cambio en el campo seleccionado, esto brinda un enfoque que resalta el conocimiento y experiencia que son requeridos para su desarrollo, mientras que Lanfer (2012), lo define como un conjunto de caminos alternativos para objetivos alternativos (en el negocio) en donde el viajero puede elegir entre las diferentes rutas, la forma idónea de llegar a su destino. De lo último mencionado Albiol Rodríguez y Lloveras Maciá (2009), tiene una reflexión más profunda sobre los caminos alternativos en un *Roadmap*, mencionando que puede existir un origen (AS-IS) y un destino (TO-BE) pero el resto las circunstancias son generadas por incertidumbre con la previsión de un viaje planificado sobre un mapa, además enfatiza en que no es sencillo poder determinar la situación actual en una organización ya que se necesita estudiar a conciencia no solo la organización o empresa sino también la relación y posición en su entorno de mercado, adicionalmente también menciona que la determinación del objetivo o destino no siempre es evidente aunque esté bien sustentado en previsiones con fuentes muy confiables y análisis complejos ya que nadie puede asegurar con certeza que puede pasar en el futuro y muchas circunstancias en el trayecto de la innovación no son expresamente conocidas y algunas son incluso incontrolables como las crisis económicas, comportamiento de consumidores, normativas y demás como se pudo experimentar en la última pandemia.

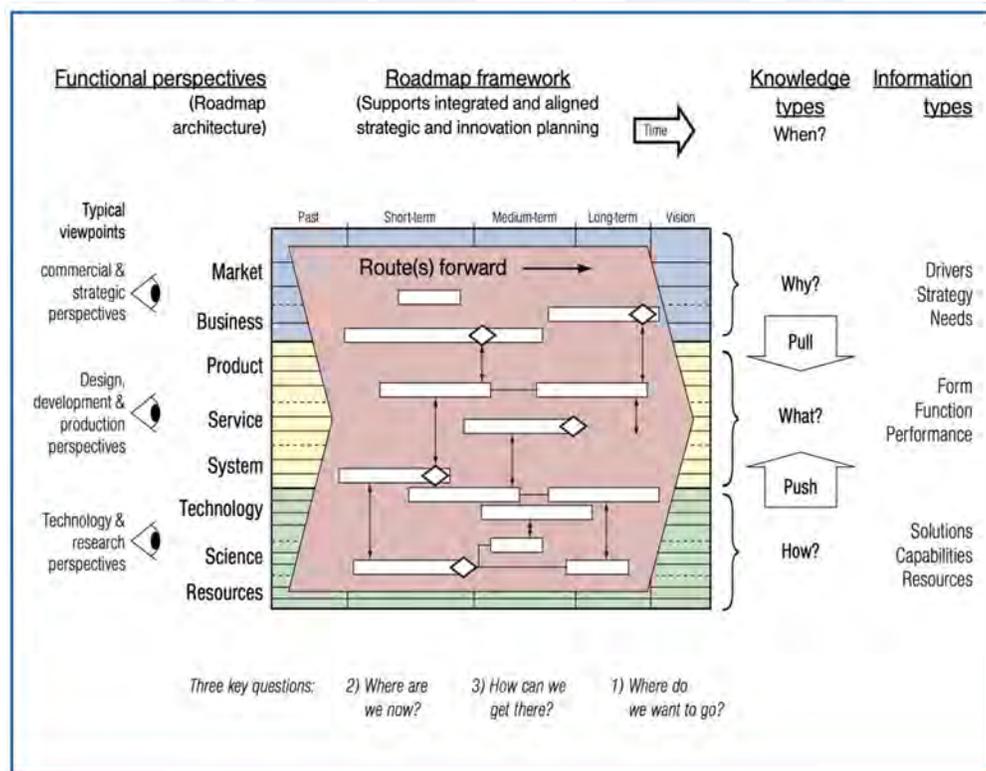
De forma complementaria Albiol (2015), describe en su investigación a un *Roadmap* como itinerario ya sea de innovación o tecnológico en donde tiene una dimensión de tiempo que genera una planificación tanto corto, mediano y largo plazo para consecución de uno o varios objetivos organizacionales a través de soluciones tecnológicas/innovadoras, esta

planificación se puede sustentar con nuevos procesos, productos o nuevas tecnologías emergentes.

Referente al desarrollo de un *Roadmap*, Miles (2009) acota que es una representación gráfica (ver Figura 10) que brinda una visión estratégica de alto nivel para el campo seleccionado. Las hojas de ruta representan marcos dinámicos de negocio, sistemas y tecnología que permiten hacer un mapa de la evolución de los sistemas apoyando la innovación, desarrollo e implementación de estrategias en todos los niveles en diferentes niveles de granularidad.

Figura 10

Marco de Sistemas Dinámicos Basados en el Tiempo Multicapa de Propósito General.



Nota. Tomado de “Cambridge Roadmapping”, por R. Phaal, 2022

(<https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>).

Según López (2013), los *Roadmap* son herramientas de planificación estratégica que sirven para reflexionar, articular y comunicar. Estas herramientas surgen de la necesidad de las organizaciones de construir una estrategia y establecer objetivos que concuerdan con ésta, ya que muchas organizaciones saben a dónde quieren llegar, pero no cómo hacerlo, definiéndose como organizaciones con “*objetivos sin planes*”. Un *Roadmap* apoya la estrategia tecnológica y la planeación, generalmente es un diagrama cronológico con múltiples capas, que presenta los medios para ligar la tecnología y otros recursos a productos futuros, así como también a objetivos de negocios e hitos (Phaal et al., 2001).

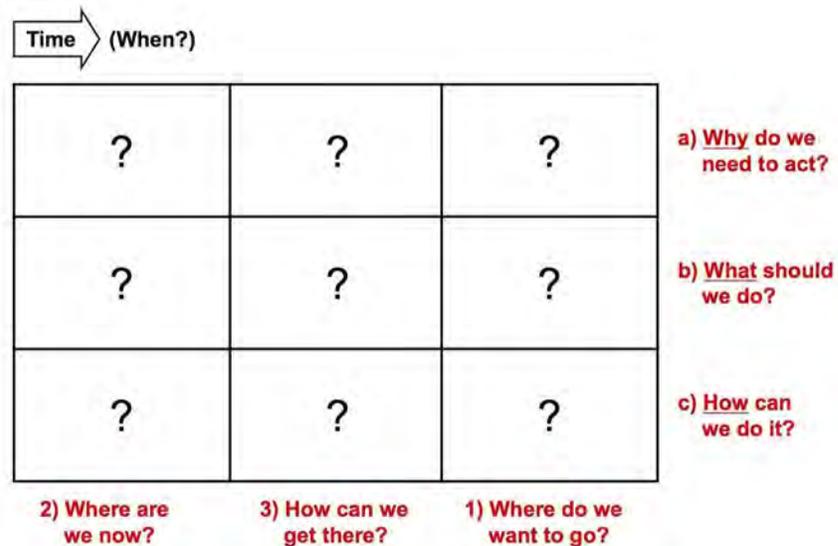
Es fundamental saber que las nuevas tecnologías disruptivas pueden crear oportunidades estratégicas en los negocios, pero también pueden atentar contra la continuidad de negocio transformándose en amenazas, por lo que es importante conocerlas de antemano para estar preparados para aprovechar estas oportunidades y enfrentar las posibles amenazas.

Roadmapping

La perspectiva de Phaal (2022), referente a *Roadmapping* es que es una herramienta de gestión flexible que se puede aplicar a todos los contextos estratégicos y ayuda a las organizaciones con la estrategia de innovación y que incluso puede ir más allá de los sectores relacionados a la tecnología, además define *Roadmapping* como un marco visual estructurado que facilita la comunicación y la alineación, proporcionando una marco escalable para el desarrollo de herramientas de gestión estratégica coherentes que está definido por seis preguntas estratégicas fundamentales para una organización (ver Figura 11).

Figura 11

Seis Preguntas Estratégicas para el Roadmapping



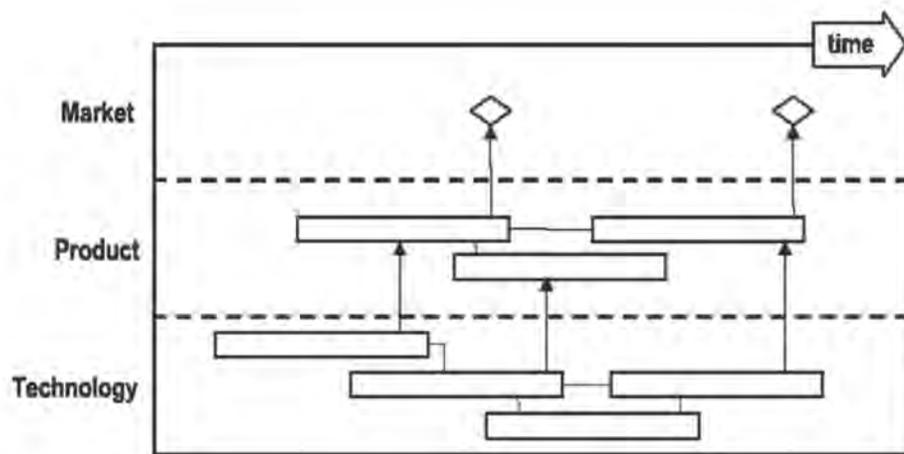
Nota. Tomado de “Cambridge Roadmapping”, por R. Phaal, 2022

(<https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>).

Para Phaal et al. (2004) el *Roadmapping* “representa una técnica poderosa para apoyar la gestión y planificación de la tecnología para la explotación y comunicación de los vínculos dinámicos entre los recursos tecnológicos, objetivos de la organización y el entorno cambiante”, esto genera que el *Roadmapping* sea ampliamente aceptado en la industria generando una sinergia entre el impulso tecnológico y la atracción de mercado, esto se puede representar de forma esquemática mostrando de qué manera la tecnología se alinea con el desarrollo de productos y servicios y la estrategia comercial y oportunidades de mercado (ver Figura 12).

Figura 12

Hoja de Ruta de Tecnología Esquemática.



Nota. Tomado de “Technology roadmapping-A planning framework for evolution and revolution” por R. Phaal, C. Farrukh y D. R. Probert, 2004, *Technological forecasting and social change*, 71, p. 10.

El *Roadmapping* genera como resultado el *Technology Roadmap* que es un gráfico de múltiples capas y que tiene como eje principal el tiempo en el que se traza la evolución de la industria, el mercado, productos y tecnología. De acuerdo con Pearson et al. (2020) agregan que el *Roadmapping* es llevado a cabo por personas que desarrollan diferentes funciones en la organización que trabajan en conjunto para desarrollar ideas y estrategias alineadas a los objetivos empresariales. El *Roadmapping* inicia con una etapa de planeamiento en donde se define una visión, objetivos y alcance de la actividad. Al definir una visión y al contrastar con el estado actual se puede trazar uno o más caminos potenciales para luego tomar decisiones apropiadas de las iniciativas a corto, mediano y largo plazo, finalmente asignar recursos en relación con las necesidades identificadas en el o los caminos (estrategias).

Para Ilevbare (2014), el *Roadmapping* también es un proceso de planificación y acota que se caracteriza por desarrollarse con una alta incertidumbre y además está de acuerdo con

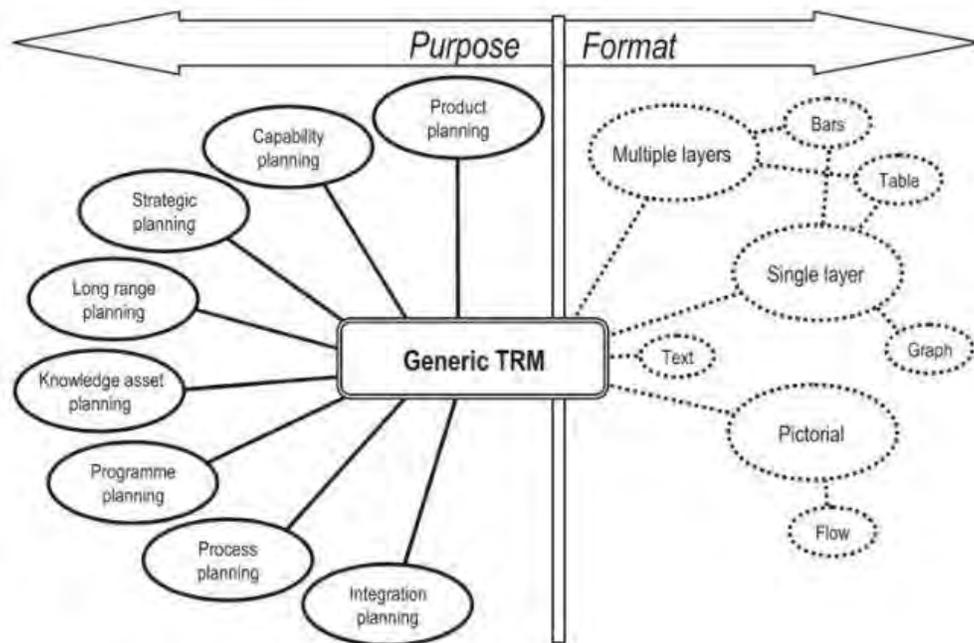
que lo que lo distingue de otras rutinas de planificación tradicionales es el aspecto visual que se convierte en característica clave para la toma de decisiones estratégicas y la comunicación en el proceso de planificación. El autor también distingue el proceso se lleva a cabo como un proceso colaborativo que involucra un grupo de personas expertas en el campo del tema en desarrollo en donde se estimula la acción hacia la innovación tratando de buscar consenso entre los participantes para aumentar la probabilidad de éxito en la ejecución de las iniciativas.

Roadmapping: Arquitectura y Proceso

Para responder la interrogante ¿Cómo diseñar un *Roadmap* o una familia de *Roadmap*? Phaal (2022) hace mención que se necesita esfuerzo de diseño y pensamiento ya que el *Roadmapping* es un enfoque flexible que requiere configuración y no existen teorías universales que puedan aplicarse a todas las situaciones y contextos, sin embargo, existen principios que pueden respaldar un diseño coherente y útil de *Roadmap*. A continuación, se ilustra la gran diversidad de dominios y propósitos en los que se ha aplicado el método y formato gráfico del *Roadmap*, pero es importante mencionar que la diversidad de propósitos es mucho mayor (ver Figura 13).

Figura 13

Diversidad de dominios y propósitos del Roadmap.



Nota. Tomado de “Technology roadmapping-A planning framework for evolution and revolution” por R. Phaal, C. Farrukh y D. R. Probert, 2004, *Technological forecasting and social change*, 71, p. 11.

Para Phaal et al. (2004) las hojas de ruta pueden variar mucho en términos de propósito y formato. Otra forma de comprender la diversidad de *Roadmap* según Phaal (2022) es tomar en cuenta la complejidad de este en términos de estructura y contenido de la información. Los *Roadmap* simples son útiles para comunicar mensajes mientras que los complejos ayudan a desarrollar los detalles, termina siendo útil poder trabajar con ambos tipos para poder lograr una comunicación e implementación exitosa de la estrategia.

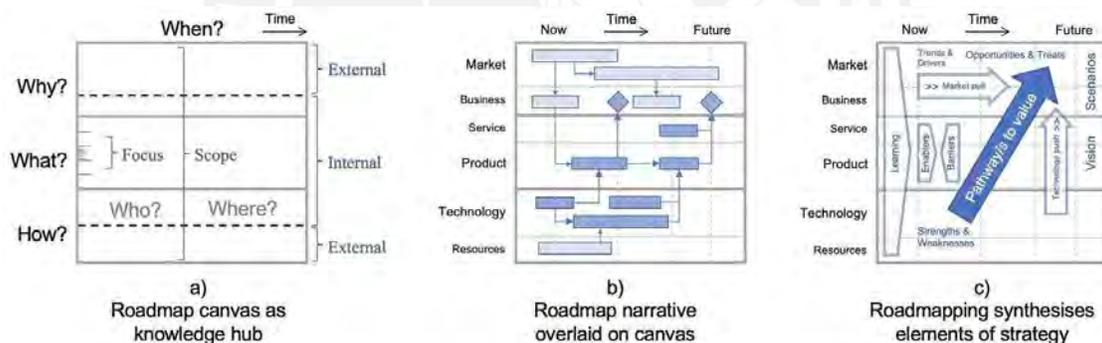
Phaal (2022) menciona que la estructura de un *Roadmap* proporciona un lienzo que ayuda a organizar la información estratégica de forma coherente. Los *Roadmap* pueden

considerarse como un centro de conocimiento útil que permite sintetizar y revisar la información y la comprensión plena de cualquier proceso en el que esté enfocado el *Roadmap*.

La perspectiva de mapeo de *Roadmap* se muestra en la siguiente (ver Figura 14) en la sección (a) se muestra el método '5W1H' ampliamente utilizado que identifica seis preguntas fundamentales, cuatro de estas se asocian a la estructura (por qué, qué, cómo y cuándo) mientras que las otras (quién y dónde) se asocian a las partes interesadas, la propiedad y la ubicación de las capas y los objetos del *Roadmap*. Las perspectivas generales de "por qué-qué-cómo" serán específicas para el contexto y el problema que aborda el *Roadmap* como por ejemplo para aplicaciones industriales que se ilustran en las secciones (b) y (c).

Figura 14

Perspectiva de Mapeo de Roadmaps.



Nota. Tomado de “Cambridge Roadmapping”, por R. Phaal, 2022

(<https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>).

Adicionalmente Phaal (2022) hace mención que cualquier enfoque o marco relacionado a estrategia e innovación puede ser útil para el desarrollo de un *Roadmap* dado que es un lienzo estructurado para organizar y comunicar información estratégica y de innovación.

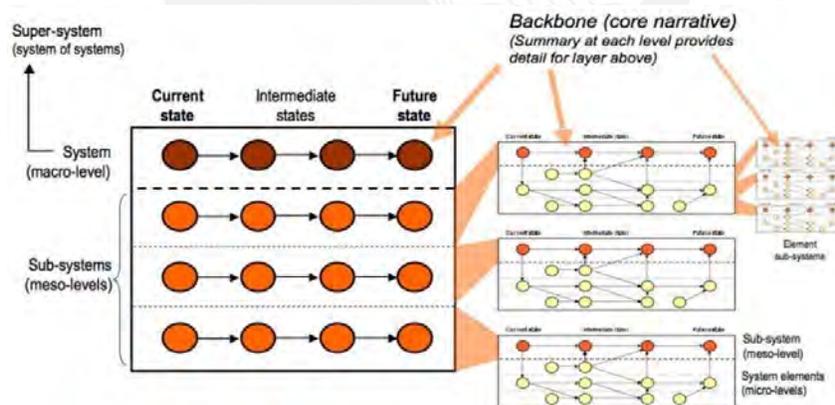
Para la estructuración de un *Roadmap* según Phaal (2022) no es fundamental que sea perfecto en la primera iteración ya que puede ser necesario varias de estas para estabilizar la

estructura y el lenguaje, además no es necesario que se muestren todos los elementos arquitectónicos que forman parte del diseño ya que algunos pueden estar implícitos. La estructura del *Roadmap* debe adaptarse al problema en cuestión para que se adecue a los tipos de discusiones y decisiones que pretende soportar y el contexto en el que se desarrollan.

Para proyectos de gran envergadura se necesitarán familias de *Roadmap* para permitir una alineación y sincronización horizontal y vertical en la estructura asegurándose que la narrativa sea clara ya que los *Roadmap* a gran escala son un desafío (ver Figura 15). Es evidente que la herramienta tiene potencial para respaldar la alineación corporativa, pero entregarla es otra cuestión que requiere el apoyo de los altos mandos a nivel táctico y estratégico. (Phaal, 2022)

Figura 15

Familia Jerárquica de Hojas de Ruta.



Nota. Tomado de “Cambridge Roadmapping”, por R. Phaal, 2022

(<https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>).

La arquitectura basada en sistemas de hojas de ruta permite desarrollar una familia jerárquica de hojas de ruta, lo que permite la agregación y el desglose ("pan & zoom"), lo que respalda la alineación vertical y horizontal de la estrategia, el proceso y los conjuntos de herramientas.

Para el proceso de elaboración de *Roadmap*, Ilevbare (2014) menciona en su investigación los enfoques de Kostoff & Schaller (2001) basado en expertos y en computadora. El enfoque basado en expertos pone en énfasis el aprovechamiento del conocimiento y experiencia de un equipo de profesionales que desarrolla el *Roadmap*, mientras que el enfoque basado en computadora extrae información de grandes bases de datos textuales utilizando técnicas informáticas en el desarrollo del *Roadmap*. El enfoque basado en computadoras puede ser más objetivo ya que no se basa en conocimiento subjetivo humano sin embargo está limitado por las dificultades que presenta su implementación y además carece de la interacción entre expertos que es un aspecto fundamental en el proceso de elaboración de *Roadmap*, en adición a estos dos enfoques, Kostoff & Schaller (2001) también proponen un enfoque híbrido que combina los dos anteriores mencionados y ayuda a superar las limitaciones de cada enfoque individual.

Para Lanfer (2012) los enfoques en el proceso de elaboración de *Roadmap* son diversos (su investigación menciona más de veinte), difieren en su mayoría en la tipología del *Roadmap* y en consecuencia en el propósito que persigue. Entre los principales enfoques García y Bray (1997) mencionan el de TRM de Sandia *National Laboratories* que conduce a un *Roadmap* de producto y está centrado en la identificación de requisitos y conductores para la selección de alternativas tecnológicas, luego menciona el enfoque de Abele et al. (2002) señalan que este enfoque produce un *Roadmap* de producto con inputs de previsión tecnológica y previsión de escenarios y enfocado en la comunicación entre la ingeniería y la producción. Lanfer (2012) también identifica el enfoque de Kostoff & Schaller (2001), ya mencionado en la investigación de Ilevbare (2014), luego menciona el enfoque de *European Industrial Research Management Association* (EIRMA, 1998) que es una organización que a estandarizado el *Roadmap* y ha desarrollado un enfoque genérico que se centra en integrar los

diferentes procesos comerciales y su información ya existente sobre mercados, productos y tecnologías, para finalizar destaca el enfoque más completo según su investigación que es el de Phaal y sus colegas de la Universidad de Cambridge, el enfoque de Phaal tiene numerosos artículos sobre su enfoque de planificación de la tecnología ("*T-Plan*"), ofreciendo soluciones para personalizar el enfoque y con un fuerte enfoque en la implementación de TRM.

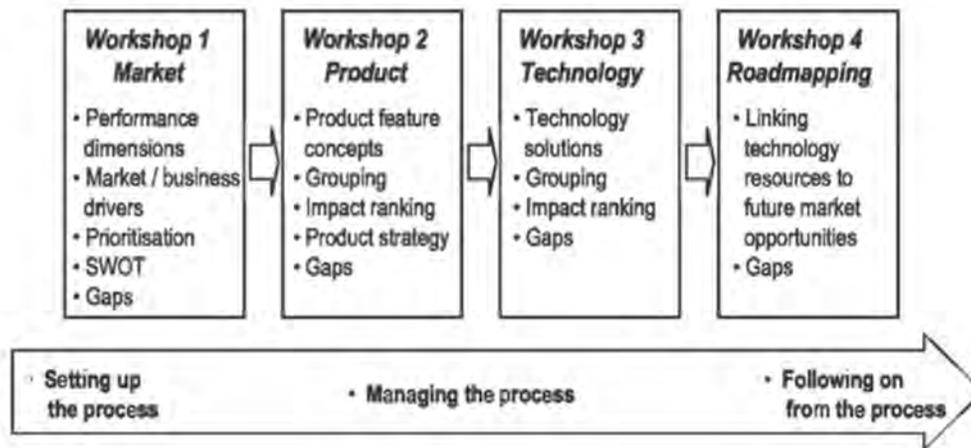
El enfoque T-Plan o inicio rápido de Phaal et al. (2004) fue desarrollado en un programa de investigación aplicada que duró tres años, en donde se desarrollaron múltiples *Roadmap* con una amplia gama de empresas de diferentes sectores de la industria. En el programa se usó una metodología de investigación de acción basada en casos para desarrollar el proceso de mapeo en cada una de las tres fases (exploratoria, de desarrollo y de prueba). Los resultados de la investigación del T-Plan se plasmaron en una guía de gestión que tiene como objetivos, apoyar la puesta en marcha de procesos TRM específicos de la empresa, establecer vínculos clave entre los recursos tecnológicos y los impulsores comerciales, identificar brechas importantes en inteligencia de mercado, producto y tecnología, desarrollar un *Roadmap* tecnológico de primer corte, apoyar la estrategia tecnológica y las iniciativas de planificación en la empresa, apoyar la comunicación entre funciones técnicas y comerciales. El proceso T-Plan consta de dos partes principales, el enfoque estándar, para apoyar la planificación de productos y el enfoque personalizado, que incluye orientación sobre la aplicación más amplia del método.

El enfoque estándar del proceso T-Plan según Phaal et al. (2004) comprende cuatro talleres en donde los tres primeros se hace énfasis en las tres capas principales del *Roadmap* que son mercado y/o negocio, productos y/o servicios y tecnología y el taller final se usa para reunir los temas y colocarlos en una base de tiempo y construir el gráfico (ver Figura 16). Este proceso está impulsado predominantemente por las atracciones de mercado, aunque

también se hace énfasis en generar soluciones tecnológicas novedosas que dan lugar a nuevos productos y servicios.

Figura 16

T-Plan: Pasos de Proceso Estándar.



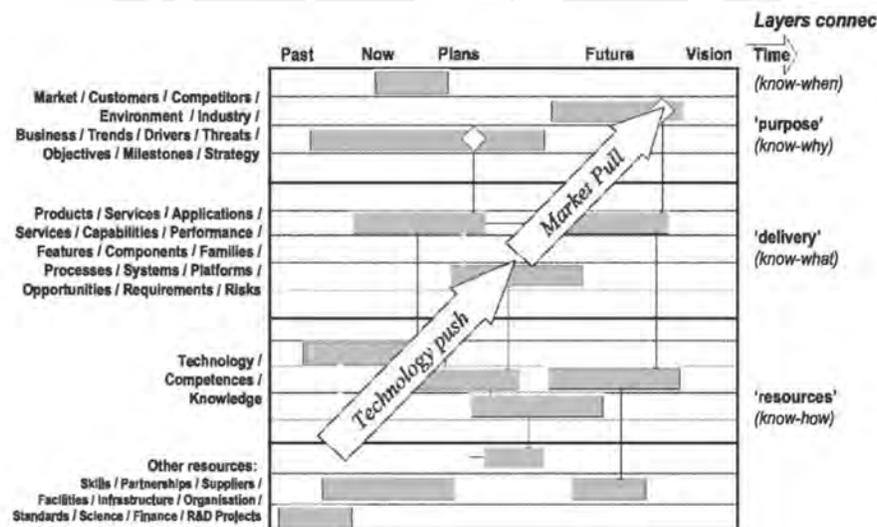
Nota. Tomado de “Technology roadmapping-A planning framework for evolution and revolution” por R. Phaal, C. Farrukh y D. R. Probert, 2004, *Technological forecasting and social change*, 71, p. 17.

El enfoque personalizado del proceso T-Plan según Phaal et al. (2004) hace hincapié en que cada organización es diferente y tiene un contexto y connotación diferente con relación a cultura, mercado, procesos, recursos disponibles, etc. Entonces si se desea tener todos los beneficios asociados a la elaboración de un *Roadmap* se debe esperar que el enfoque se personalice y se amolde a al contexto en particular de la organización, el *Roadmap* multicapa es bastante flexible y debe incluir las dimensiones de tiempo, capas, anotaciones y proceso. La dimensión de tiempo se debe adaptar al contexto de desarrollo del *Roadmap* en términos de horizonte temporal (puede depender del sector), escala (se puede usar la escala logarítmica) e intervalos (semestrales, anuales, etc.). Es factible asignar espacio para colocar la visión (TO-BE) y la situación actual (AS-IS) con el objetivo de definir la

brecha entre la posición actual y la visión. La dimensión de capas también debe diseñarse en relación con la organización y particular y problema abordado, las capas superiores están asociadas al propósito organizacional (saber el por qué), mientras que las capas inferiores se relacionan con los recursos (tecnología) que se desplegarán (saber el cómo) para atender la demanda de las capas superiores. Las capas intermedias son críticas ya que proporcionan el puente (saber el qué) entre el propósito y los recursos, esta capa está enfocada en el desarrollo productos y servicios y en la implementación de tecnología para satisfacer las necesidades del mercado y de los clientes (ver Figura 17).

Figura 17

Arquitectura de Roadmap de Tecnología Generalizada.



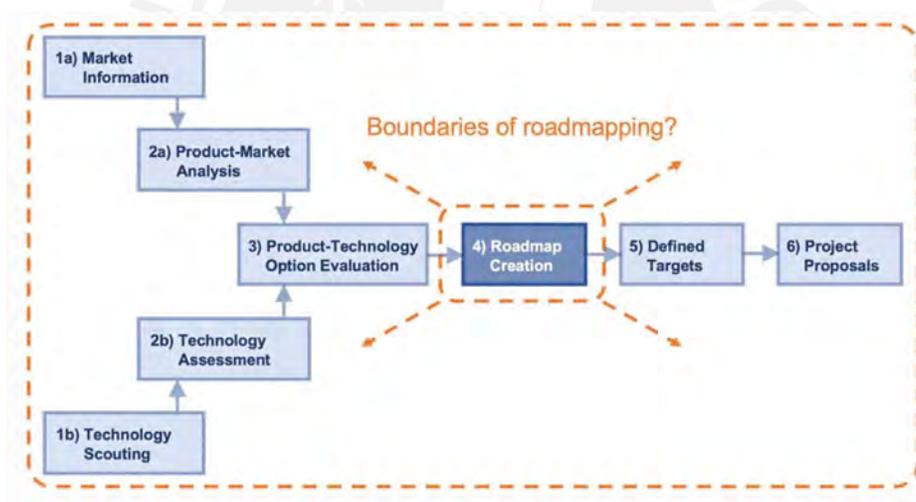
Nota. Tomado de “Technology roadmapping-A planning framework for evolution and revolution” por R. Phaal, C. Farrukh y D. R. Probert, 2004, Technological forecasting and social change, 71, p. 18.

La dimensión de anotaciones está referida a información complementaria que puede incluir vínculos entre los objetivos entre las diferentes capas, personas involucradas, suposiciones y otros dispositivos gráficos como notas, colores, etc. Para finalizar la

dimensión de procesos hace referencia a los pasos que se requieren para completar la primera versión del *Roadmap* y llevar adelante el proceso a partir de entonces. El proceso es dependiente de varios factores como los recursos disponibles (personas, tiempo, presupuesto), información disponible sobre el mercado y la tecnología y otros procesos y artefactos de gestión que sean relevantes. La planificación estratégica generalmente implica equilibrar una visión externa de la empresa con una visión interna como se muestra en la siguiente figura (ver Figura 18), combinando estas perspectivas externas e internas (FODA) (Phaal et al., 2004).

Figura 18

Los Roadmap Integran el Conocimiento Comercial y Tecnológico.



Nota. Adaptado de “Technology roadmapping-A planning framework for evolution and revolution” por R. Phaal, C. Farrukh y D. R. Probert, 2004, *Technological forecasting and social change*, 71, p. 19.

La fase de planificación según Phaal et al. (2003) es considerada la más importante para el desarrollo y personalización del *Roadmap*, ya que se evalúa el paso de un proceso genérico de un *Roadmap* a un proceso personalizado según la situación y el contexto dado. El desarrollo del *Roadmap* debe tener una persona designada (idealmente competente en la

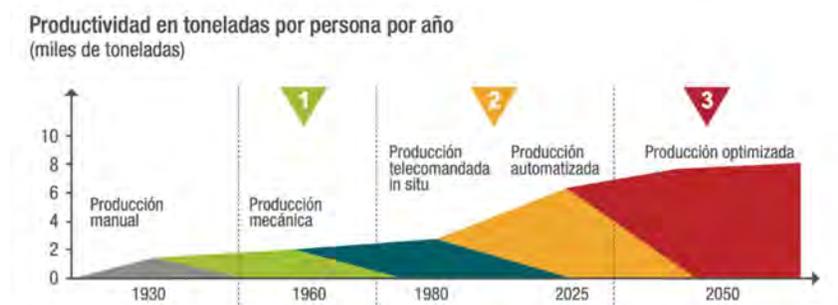
elaboración de *Roadmaps*) o grupo de personas designadas que deben organizar a quienes participarán en su creación, además puede ser necesario incorporar experiencia externa a la organización si se necesita una visión más amplia de las oportunidades y amenazas potenciales.

Tecnología en el Rubro Minero

La evolución tecnológica en la minería según Fincheira et al. (2018) estuvo estancada durante ochos años hasta la mitad de siglo XX (entre 1960 y 1970) en donde se experimentó cambios con los primeros equipos automatizados como rieles de transporte, taladros automatizados o máquinas subterráneas controladas. Con el paso del tiempo se crearon equipos con tecnología más avanzada (ver Figura 19) para aumentar la productividad en la industria como por ejemplo el aumento de tamaño de los equipos acarreo, pasando de una carga útil promedio de 25 toneladas a unas 400 toneladas hoy en día (sin mencionar la mejora energética sustancial que esto conlleva). En la actualidad para hacer frente a las demandas y complejidades del mercado las empresas mineras están adoptando nuevos modelos de negocio y nuevas formas de operar, se desea tener un giro hacia la tecnología autónoma la cual no solo consta de equipos autónomos si no se necesita cambiar el modo en cómo se planifica y opera un proyecto minero, además de conocer el impacto que esto generará en el negocio y el cambio en la cultura operacional.

Figura 19

La Producción Óptima en el Sector Minero.



Nota. Tomado de “Impacto de las nuevas Tecnologías en las Competencias Requeridas por la Industria Minera” por V. Fincheira et al., 2018.

Fincheira et al. (2018) hacen hincapié en distinguir los conceptos de automatización (equipos automatizados) y autonomía (algoritmos, inteligencia artificial) para poder analizar de qué manera estos conceptos están evolucionando en el contexto de la tecnología minera. La automatización requiere de la intervención humana ya sea antes o después de la secuencia automatizada y se necesitan múltiples secuencias de automatización para poder hacer que un equipo funcione de forma semiautónoma o autónoma. La operación autónoma hace referencia a que no necesita interferencia humana para el desarrollo de una actividad bajo condiciones definidas.

Fincheira et al. (2018) infiere que para lograr la automatización y autonomía es necesario contar con sistema computarizado que sea capaz de mostrar el funcionamiento de los equipos de campo en tiempo real y se puedan operar sin restricciones. Es factible poder alcanzar distintos niveles de automatización incorporando y disminuyendo actividades y procesos de forma segmentada describiendo un continuo cambio de niveles crecientes de automatización y disminución de la intervención humana. Sin embargo, también se hace notar la importancia de la continuidad humana en los procesos, esto es debido a que aún las

máquinas no logran resolver problemas inesperados o situaciones imprevistas, es por esto por lo que aún no se recomienda la eliminación al 100% del factor humano. La automatización en los últimos 50 años ha mejorado la eficiencia, eliminado entornos riesgosos y mejorado la exactitud y fiabilidad de la recopilación de datos de los procesos para informes relacionados al procesamiento del mineral y el factor ambiental.

Para resolver la interrogante de ¿Cómo es posible lograr un funcionamiento autónomo en el proceso minero? Fincheira et al. (2018) plantea cuatro puntos clave: cambios en la infraestructura, nuevos conocimientos, mejora en la comunicación y centros integrados de operación. Los cambios en la infraestructura no sólo implican cambios en los equipos o máquinas, sino también cambios en diversos procesos para que los equipos puedan funcionar de mejor manera como por ejemplo aplicaciones superficiales con uso de GPS y red con cobertura en toda la operación y cambios en las instalaciones mineras. El segundo punto clave es la mejora de la comunicación en una operación remota en donde hay que considerar todos los factores que influyen cuando se realiza una operación con trabajadores en campo como la visualización, el sonido, vibraciones y demás sentidos que le permiten tomar acertadas decisiones. Una operación remota debería tener toda la retroalimentación necesaria para que se desarrolle de forma adecuada (monitoreo de sensores, audio y video en tiempo real) y para esto es necesario una buena conectividad para asegurar una toma de decisiones en tiempo real (ver Figura 20). Y para que todo mencionado esté en completo control es necesario un lugar donde se monitoree todas las condiciones (mecánicas y operativas) de la máquina, este lugar es denominado Centro Integrado de Operaciones CIO y no solo sirve como espacio de monitoreo si no también como herramienta para tomar decisiones alineadas con las necesidades del negocio.

Figura 20

Dispositivos que se Entregan para una Operación Tele Remota.



Nota. Tomado de “Impacto de las nuevas Tecnologías en las Competencias Requeridas por la Industria Minera” por V. Fincheira et al., 2018.

Según Fincheira et al. (2018) todos los caminos se dirigen hacia una operación autónoma y menciona cinco beneficios clave que conlleva su implementación. El primero es la fuerza laboral calificada debido a la incorporación de equipos con tecnología autónoma que apartará a los trabajadores de tareas repetitivas y se enfocarán en desarrollar conocimiento que mejoren el proceso productivo, el segundo beneficios es el desempeño debido a que los equipos autónomos se desarrollaran de forma más predecible y esto hará que la disponibilidad de equipos y las tasas de utilización aumenten, se disminuirían los tiempos de inactividad al hacer cambio de turno y en mantenimiento que no esté planificado, el desempeño de los equipos podría mejorar debido a un mantenimiento predictivo, en vez de un mantenimiento programado, el tercer beneficio está relacionado la seguridad donde “se espera que el uso de equipos autónomos reduzca los eventos relacionados con la seguridad simplemente mediante la eliminación o reducción significativa de la presencia del operador en el equipo”, luego está el desarrollo sustentable donde “los procesos automatizados pueden ayudar a disminuir el impacto ambiental mediante el modelamiento de las mejores maneras

de manejar y reducir la contaminación y posibles daños a su entorno” y finalmente el mejoras en la productividad donde “El uso de equipos autónomos puede mejorar la productividad en dos líneas; la utilización del equipo y la eficacia del operador”.

Para Greberg et al. (2022) uno de los países con mayor enfoque y orientación a la investigación y desarrollo en el mundo es Suecia y su industria minera tiene un panorama similar en donde la mayor parte de los aportes en innovación son realizados por un clúster minero con el objetivo de cumplir con las prioridades planteadas en sus hojas de ruta. Una característica distintiva del enfoque sueco es la capacidad de aplicar de forma ágil los resultados de la investigación e innovación basada en necesidades en entornos industriales. Para un adecuado desarrollo en la investigación e innovación en la industria minera se lanzaron discusiones colectivas con sobre las principales necesidades de la industria esbozando diferentes *Roadmap* que describen de qué manera se afrontarán los diferentes desafíos que afrontará la industria minera sueca con el objetivo de mantenerla competitiva, sostenible y responsable.

Según Greberg et al. (2022) la industria minera cada vez se enfrenta a un panorama más complejo al tener yacimientos a mayor profundidad, una normativa medio ambiental cada vez más rígida y mayor complejidad para alcanzar la sostenibilidad deseada. Para hacer frente a estos desafíos es necesario desarrollar *Roadmap* con enfoque en la mejora de los entornos de trabajo, mejora en eficiencia energética y productividad y disminución en el impacto ambiental. Para lograr estos objetivos se requiere el desarrollo de nuevos métodos de minería y equipos mineros controlados a distancia y/o autónomos reduciendo la exposición humana en los frentes mineros. Para que el proceso minero sea totalmente sostenible es necesario reducir las emisiones a lo largo del proceso sin reducir la sostenibilidad económica, además se debe apuntar a un proceso extractivo extremadamente eficiente desde el enfoque

energético además de una interacción adecuada con los procesos posteriores. Por lo tanto, para lograr una minería segura y sostenible es necesario implementar nuevas innovaciones y soluciones técnicas que mediante el monitoreo y comunicaciones confiables dentro de la operación que faciliten la toma de decisiones oportuna basadas en datos. Los principales objetivos planteados en el último *Roadmap* para antes del 2030 son los siguientes:

- Métodos/diseños de minería mejorados que garantizan condiciones de minería seguras y que no provocan fatalidades y minimizan las lesiones con tiempo perdido.
- Sin emisiones de CO₂ del proceso minero.
- Procesos mineros energéticamente eficientes.
- Mejor recuperación de mineral y mínima dilución.
- Residuos minimizados.
- Medidas de control en material que pueden garantizar condiciones seguras sin consecuencias imprevistas.
- Procesos de fragmentación que dan una fragmentación óptima y un mínimo de explosivos sin detonar y sin derrames.
- Métodos de excavación continua que se pueden utilizar en la mayoría de las minas.
- Redes de comunicación confiables con capacidades en tiempo real: 100 por ciento de cobertura 24/7.

Los objetivos de cara al 2040 son los siguientes:

- Casi todos los residuos son transformados en material útil.
- 100 % de control de proceso continuo/en línea y despacho en 100 % de la mina.

- Sistemas de procesos mineros en asociación con máquinas mineras (de diferentes marcas) que pueden manejar escenarios de tráfico mixto, es decir, interacción entre máquinas automáticas/autónomas y/o interacción entre máquinas automáticas/autónomas y máquinas y/o personas accionadas manualmente.
- Sistemas de monitoreo confiables para fines de producción y mecánica de rocas (por ejemplo, posicionamiento, detección de superficie, detección de caída de rocas, deformación y sismicidad).

Para Greberg et al. (2022) las iniciativas, estrategias y acciones del *Roadmap* a corto plazo (2030) serían las siguientes: desarrollar equipos de minería libres de fósiles y diseñar minas para un uso óptimo con la ambición de reducir el impacto ambiental y climático. (operación libre de fósiles), evaluar el impacto de los nuevos sistemas de iniciación de voladuras en el diseño de la mina, operaciones autónomas o por control remoto, gemelos digitales, desde modelos geográficos hasta sistemas de producción, para predecir, analizar y optimizar la producción a partir de una mecánica de rocas perspectiva, desarrollar Métodos para el manejo de *big data* recopilados por diferentes instrumentos, exploración de materiales alternativos para relleno, soporte de roca y explosivos para, reducir emisiones, implementar máquinas de minería autónomas que puedan manejar tráfico mixto entornos, implementación de redes de comunicación confiables con capacidades en tiempo real que incluyen sistemas de localización y navegación, aplicar procedimientos respaldados por indicadores clave de desempeño que impulsan la mejora continua en un área seleccionada de optimización, desde la gestión hasta el control de calidad, introducción de soluciones de minería profunda que manejan mayor tensión de roca y aplican acciones adaptativas para una producción confiable, implementar una planificación de la mina adaptada a las condiciones de la roca, incluido el pre a condicionamiento para evitar picos de tensión, implementación de mantenimiento

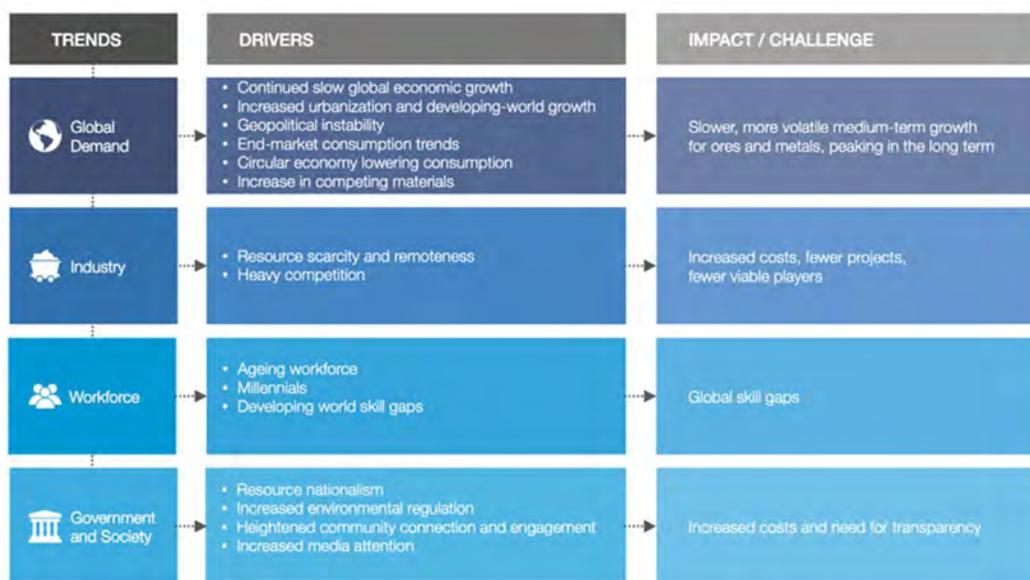
predictivo y basado en la condición de la minería equipos y sistemas, pasos de mineral, pozos de ventilación y soporte de roca, reducción del consumo total de energía por tonelada de mineral, incluidos los explosivos, mejora y desarrollo de ventilación, control de calidad del aire y bajo demanda control de temperatura, desarrollo de sistemas autónomos fiables y excavación mecánica métodos para condiciones de roca dura para permitir la minería continua, usar la minería selectiva para reducir los desechos y explorar productos potenciales a base de roca estéril, aplicar gemelos digitales completos como una herramienta de planificación minera para permitir minería y proporcionar las mejores condiciones posibles para la minería profunda, explorar el reemplazo de grandes máquinas individuales con un número de pequeñas unidades autónomas. Mientras que iniciativas, estrategias y acciones del *Roadmap* (2040 y más allá) a largo plazo serían implementar instrumentos de monitoreo para reemplazar la detección humana con una recopilación de datos confiable justo a tiempo, desarrollo de soporte de roca alternativa con alta rigidez y comportamiento dúctil para condiciones de minería profunda y minimización de las emisiones de nitrógeno.

Luego del auge de las materias primas, según Spelman et al. (2017) la industria minera se está tratando de adaptar a una serie de fuertes vientos en contra como un crecimiento anémico de la demanda mundial, a medida que la economía de China se aleja de la fabricación intensiva en recursos; exceso de capacidad masivo, fijación de precios débiles y volatilidad creciente; brechas de habilidades de la fuerza laboral; creciente presión de los requisitos del cliente; creciente nacionalismo y regulación de los recursos; disminución del acceso y la calidad de los recursos; y la creciente fricción comercial a lo largo de todos los pasos de la cadena de valor. Ésta compleja situación ha causado severas caídas de precios, mayor volatilidad y caída en las ganancias y flujos de efectivo, recortes de capital y colapsos en los precios de las acciones, además, genera una alta rotación de gerencia ya aumento en el

malestar social y de los trabajadores mineros y medida que estas situaciones se intensifican. Existe una percepción de que no se enfrentan a la corrección que precede a un auge si no al inicio de un conjunto de condiciones nuevas y permanentes que no se revertirán en el corto plazo y por el contrario no hay evidencia que cambien. Todas las industrias están siendo desafiadas en la estructura actual de su cadena de valor no solo por condiciones macroeconómicas, sino también por una digitalización cada vez más rápida y generalizada (ver Figura 21).

Figura 21

El Impacto de las Tendencias de la Industria en la Industria Minera y Metalúrgica.



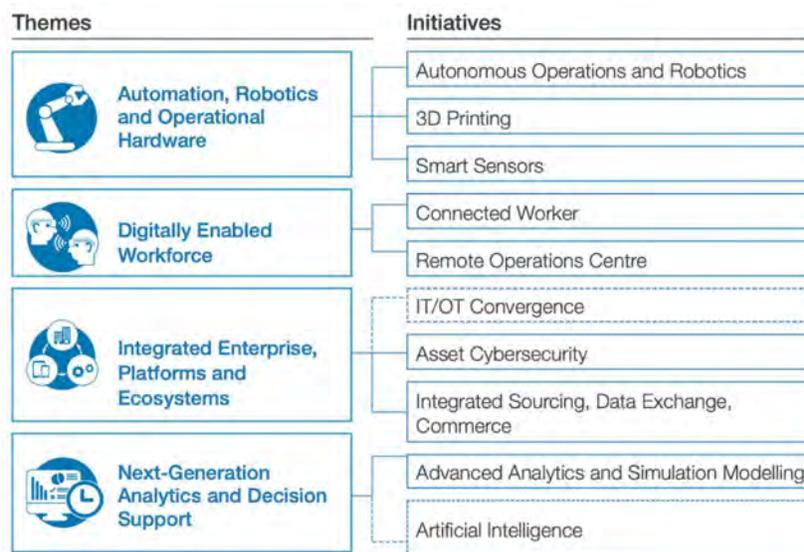
Nota. Tomado de “Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry” por M. Spelman et al., 2017.

Para superar el estancamiento del crecimiento antes mencionado y generar valor para la industria minera (accionistas, clientes y medioambiente) y luego de numerosas entrevistas y una investigación a profundidad Spelman et al. (2017) ha identificado cuatro tópicos digitales que se espera desempeñen un papel fundamental en la transformación digital de la

minería en la próxima década (ver Figura 22). El primer tópico es la automatización, robótica y hardware operativo que pretende implementar herramientas de hardware habilitadas digitalmente para hacer o mejorar actividades que se desarrollan de forma manual o con maquinaria controlada por humanos, las principales iniciativas para este tópico son los sensores, robots e impresión 3D. El segundo tópico es la mano de obra habilitada digitalmente que, con el uso de la movilidad conectada, realidad virtual y aumentada podrán empoderar a los operadores de campo, remotos y centralizados en tiempo real, las principales iniciativas para este tópico son los trabajadores conectados y los centros operativos remotos. El tercer tópico es la empresa integrada, plataformas y ecosistemas que refieren a la vinculación de operaciones, capas de TI y dispositivos o sistemas que actualmente se encuentran separados, las iniciativas clave para este tópico son la integración de las TI (Tecnologías de Información) y las OT (Tecnología Operativa), ciberseguridad de activos e intercambio de datos. Por último, el cuarto tópico es el análisis de próxima generación y soporte a decisiones que aprovecharán los algoritmos e inteligencia artificial para el procesamiento de datos a lo largo de toda la cadena de valor para soportar la toma de decisiones en tiempo real y proyecciones futuras, las iniciativas de este cuarto tópico son el análisis avanzado, el modelado de simulaciones y la inteligencia artificial.

Figura 22

Tecnologías que se Espera que Tengan un Impacto Significativo en la Cadena de Valor de la Industria



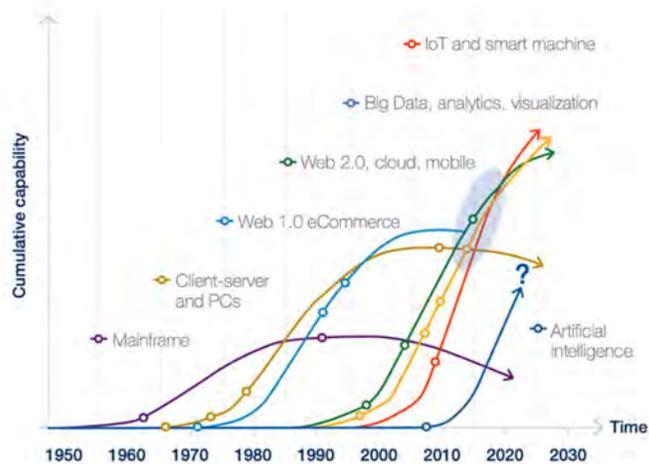
Nota. Tomado de “Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry” por M. Spelman et al., 2017.

Los desafíos que enfrenta el sector minero según Spelman et al. (2017) no ocurren dentro de un vacío industrial, sino que ocurren dentro de un contexto en el que todas las industrias están siendo afectadas por una agitación tecnológica y económica más amplia, provocada por las innovaciones digitales rápidas y disruptivas. Lo que diferencia la disrupción actual de las del pasado es el ritmo acelerado y la omnipresencia del cambio, “al analizar las tecnologías digitales centrales y la evolución de sus capacidades a lo largo del tiempo, se ha acelerado la velocidad de mejora, adopción y desplazamiento de capacidades por nuevas tecnologías” como se muestra en la imagen (ver Figura 23). El impacto digital no está limitado a un conjunto de industrias o geografías y ha influido y cambiado rápidamente

los modelos comerciales convencionales, las relaciones con los clientes y los roles de la industria

Figura 23

Aumento Exponencial de las Capacidades Tecnológicas



Nota. Tomado de “Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry” por M. Spelman et al., 2017.

Capítulo III. Metodología

Caracterización de la Investigación

De acuerdo con el abordaje de la información, se aplicó el enfoque cualitativo el cual se caracteriza por la comprensión del problema de estudio, a partir de la observación subjetiva y el análisis de sus características; a partir de lo cual se construyen categorías que representan el contexto de estudio. Al respecto, Bernal (2010) afirma que la investigación cualitativa tiene el propósito de conceptualizar la realidad, profundizando en la información proporcionada por los sujetos de estudio. La construcción de la investigación cualitativa, como mencionan Hernández et al. (2014) no sigue un proceso sistemático, debido a que examina los hechos y durante el proceso de investigación desarrolla una teoría que representa el problema observado.

Con respecto al paradigma del estudio, se utilizó el paradigma hermenéutico interpretativo y positivista, con respecto al primero, se construye a partir de la observación e interpretación del contexto del problema y de la información provista por los sujetos de estudio; con relación al segundo, se elabora desde la observación de las cualidades del problema que aportan al conocimiento del caso de estudio. Como señala Vargas (2011) el paradigma hermenéutico interpretativo busca observar la estructura de la realidad, interpretando las características del contexto observado. Por su parte el paradigma positivista según Bernal (2010) persigue la observación del objeto de estudio para comprender su naturaleza y posteriormente, propone la solución al problema.

Se realizó una investigación de alcance descriptivo porque describe las cualidades del fenómeno de estudio, en su contexto natural. Como señalan Hernández et al. (2014) los estudios descriptivos tienen el propósito de especificar las características, así como describir los perfiles de los procesos o grupos de estudio.

Descripción del Diseño de Investigación

La investigación se realizó con un diseño de estudio de casos, el cual se enfoca en el entendimiento y análisis profundo de un problema de estudio en su ambiente de manifestación. Para ello, se levanta la información documental con el objetivo de identificar las cualidades del problema y su contexto; a partir de lo cual se elabora el diagnóstico de las causas del problema, así como la identificación de las posibles soluciones. A su vez, a través de la comprensión de la información proporcionada por los expertos se logra aportar al conocimiento del problema del estudio de caso. Como indica Durán (2012) el estudio de caso tiene la finalidad de indagar en un acontecimiento específico, por medio del diagnóstico y análisis profundo del fenómeno de estudio en su contexto natural; lo cual aporta a la comprensión de la complejidad del problema y aprendizaje de las experiencias de los grupos de estudio al conocimiento del caso.

Para proceder con la recolección y análisis de datos, se solicitó autorización de la unidad minera Constanca, con la finalidad de obtener la información documental de los procesos, así como para la aplicación de las entrevistas en profundidad a los responsables de la gestión de los procesos mediante una carta de autorización de la unidad minera Constanca (ver Apéndice A).

La técnica que se utilizó para recolección de los datos inicialmente fue la técnica indirecta de análisis documental de revisión de fuentes secundarias (mapas de procesos, lista de sistemas, diagramas de flujo, entre otros). La técnica indirecta es aquella que recoge la información del fenómeno de estudio, sin acercarse al objeto de estudio. El análisis documental es un procedimiento que permite el análisis de información a partir de fuentes secundarias, como reportes, informes, bases de datos, etc. Posteriormente, se empleó la técnica directa de entrevista en profundidad de fuentes primarias, donde se obtuvo la

información a través de las entrevistas que fueron aplicadas a los expertos del caso (los superintendentes, jefes e ingenieros expertos de los procesos mineros). La entrevista en profundidad como señalan Sapag et al. (2014) es una herramienta que aporta conocimiento especializado basado en la experiencia de expertos, la cual facilita la anticipación de los cambios que afectan a las variables.

Al respecto, se elaboró una entrevista no estructurada con el objetivo de identificar las principales actividades de las áreas directamente relacionadas al proceso de explotación, para obtener información sobre los sistemas y tecnologías que utilizan. La ficha técnica de la entrevista a expertos se presenta en el apéndice C. Para la aplicación de la entrevista, se han definido los siguientes elementos:

Participantes de la Investigación

Los participantes en la entrevista son expertos de negocio que tienen juicio crítico y conocimiento detallado del proceso de explotación tanto a nivel operativo, táctico y estratégico por lo que los entrevistados tienen los roles de superintendente, jefes o ingenieros Senior dentro de las áreas operativas del proceso (Geología, Mantenimiento, Planeamiento, Control Mina, Perforación y Voladura). El universo de personas que cumplen con el perfil mencionado es diez individuos dentro del proceso de explotación en mina Constancia, de los cuales se entrevistó al cincuenta por ciento de ellos (cinco personas).

Muestra

Con respecto al proceso de muestreo para análisis documental, se aplicó el muestreo intencional, donde se determinó incluir la información proporcionada por la empresa que se consideró relevante para el análisis. Como afirman Hernández et al. (2014) el muestreo intencional se desarrolla siguiendo las prioridades del investigador. Por lo cual, se incluyeron en la muestra los documentos que aportaron al caso de estudio.

Con relación al proceso de muestreo para la entrevista, se aplicó el muestreo por conveniencia, donde los investigadores determinaron involucrar a los superintendentes, jefes e ingenieros senior de la gestión de procesos, ya que ellos tienen el conocimiento que aporta a la consolidación de las tecnologías de la información para la estandarización de procesos. Como afirman Hernández y Mendoza (2018) el muestreo por conveniencia obedece a los criterios del investigador. De acuerdo con los fines de la investigación, la muestra se ha conformado por cinco expertos (cincuenta por ciento del universo de posibles entrevistados) que participan en la gestión del proceso de explotación (ver Tabla 1); lo cual se alinea con la propuesta de Hernández et al. (2014) quienes recomiendan analizar de tres a cinco participantes cuando se elaboran estudios de casos en profundidad.

Tabla 1

Lista de Entrevistados

| Nombre | Área | Cargo | Profesión | Experiencia |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------|
| Fremy Flores Chambilla | Control Mina | Ingeniero de Operaciones Mina II | Ingeniero de Minas | 4 años |
| Alex Wilfredo Conco Dextre | Control Mina | Jefe de Costos y Productividad | Ingeniero de Minas | 3 años |
| Ever Willian Clavo Rimarachin | Planeamiento Mina | Ingeniero de Planeamiento IV | Ingeniero de Minas | 9 años |
| Christian Rodolfo Alarcon Rodríguez | Mantenimiento Mina | Jefe de Planeamiento y Confiabilidad | Ingeniero de Mecánico | 7 años |
| Jarix Juan Maylle García | Geología Mina | Superintendente de Geología Mina | Ingeniero Geólogo | 10 años |

Nota. La tabla recoge los principales datos de las personas entrevistadas, los cuales son los superintendentes, jefes e ingenieros expertos de los procesos mineros del proceso de explotación de Hudbay Perú.

Intervención

Para la aplicación de la entrevista, se acordó por solicitud de los participantes, enviar la guía de entrevista por correo electrónico cinco días antes de la videollamada.

Posteriormente, se coordinó la fecha y hora de la entrevista, considerando la disponibilidad

de los participantes. La entrevista fue desarrollada de forma virtual y dirigida por uno de los investigadores quien actuó como moderador, mientras que los otros investigadores cumplieron un rol de escucha y análisis, para formular preguntas de seguimiento; la herramienta utilizada para la entrevista fue el software *Microsoft Teams*.

Instrumento de Medición

Para diseñar el instrumento que permitió la obtención de información relacionada a los procesos, actividades, sistemas y tecnologías utilizadas en el proceso de explotación actualmente, se contempló que la guía tuviese tres dimensiones: la primera dimensión, relacionada a la función y estrategia del área operativa; la segunda dimensión relacionado a los procesos y como se desarrollan dentro las áreas, y la tercera dimensión acerca de los sistemas y tecnologías. En total se realizaron 11 preguntas.

El instrumento fue puesto a prueba mediante validación de contenido por juicio de expertos, donde tres (03) expertos en el rubro de tecnología y minería validaron cada una de las preguntas de la entrevista (Ver Apéndice B). Los resultados de la opinión y los juicios de los expertos fueron analizados con una evaluación donde cero (0) no es aplicable y uno (1) si es aplicable en cuanto a la claridad, coherencia y relevancia, mostrando los resultados en promedio presentados en la Tabla 2.

Tabla 2

Validez y Confiabilidad del Instrumento

| Preguntas | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Pregunta 1 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 2 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 3 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 4 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 5 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 6 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 7 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 8 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 9 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 10 | 1 | 1 | 1 |
| Pregunta 11 | 1 | 1 | 1 |

De acuerdo con la evaluación a juicio de expertos, todas las preguntas fueron calificadas en uno (1) por lo que fueron suficientes para aplicar el instrumento.

Análisis e Interpretación de Datos

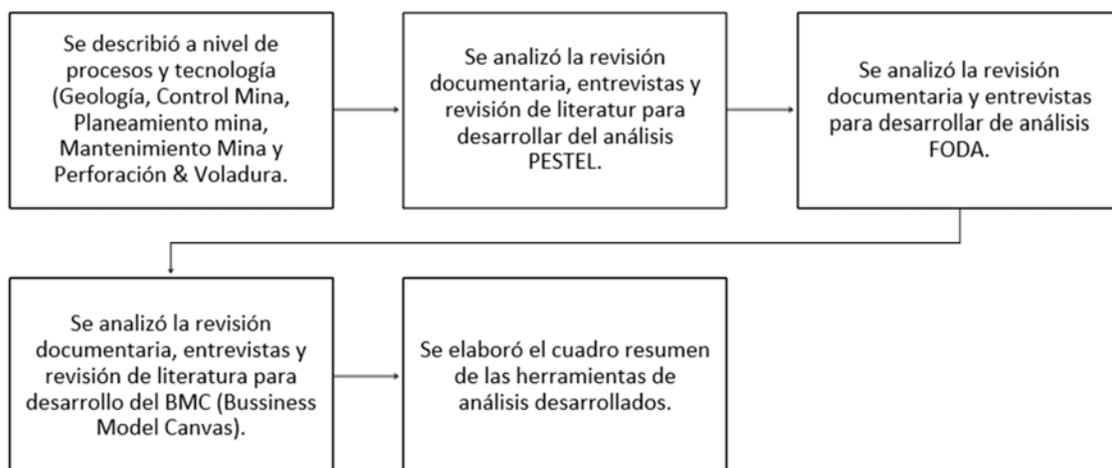
Para realizar el análisis e interpretación de datos de las entrevistas realizadas, se realizaron los siguientes pasos: revisar todos los datos para obtener una descripción general, organizar la información, transcribir las entrevistas grabadas en texto, descubrir las unidades de análisis finalmente obtener la información más relevante.

Para obtener la información más relevante se organizaron los datos en frecuencia de palabras mediante el *software* NVivo 12 Plus con la intención de poder identificar una saturación en las respuestas de las entrevistas; se encontraron las 30 palabras más frecuentes (Ver Apéndice D) que tienen relación con la revisión documental a fin de orientar el análisis al cumplimiento de los objetivos específicos. La información obtenida de las entrevistas junto con la revisión documental se logró describir la situación actual de las principales áreas con relación al Proceso de Explotación.

Para el logro del objetivo específico 1, que planteó evaluar y analizar la situación actual de las cinco áreas fundamentales que sustentan el proceso de explotación minera, en términos de procesos como de tecnología, se realizaron las siguientes actividades descritas en la Figura 24:

Figura 24

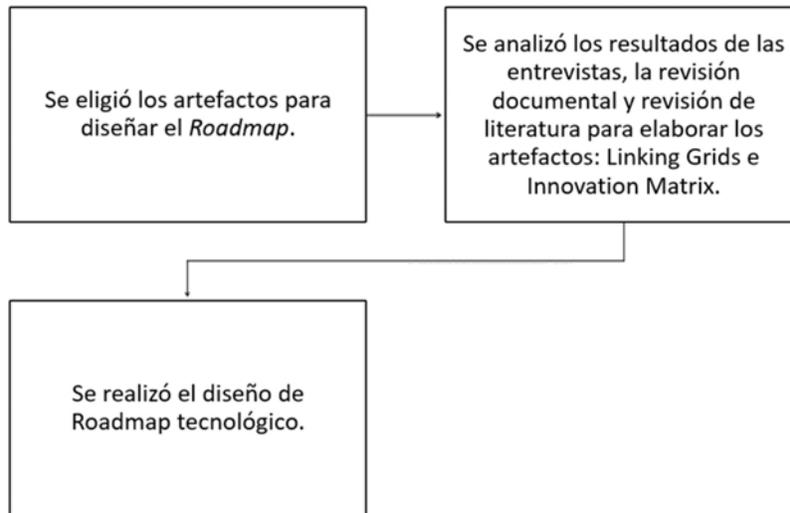
Mapa de las Actividades para el Logro de Objetivo Específico 1



Para el logro del objetivo específico 2, que plantea diseñar un Roadmap tecnológico integral destinada a optimizar el proceso de explotación minera., se realizaron las actividades descritas en la Figura 25.

Figura 25

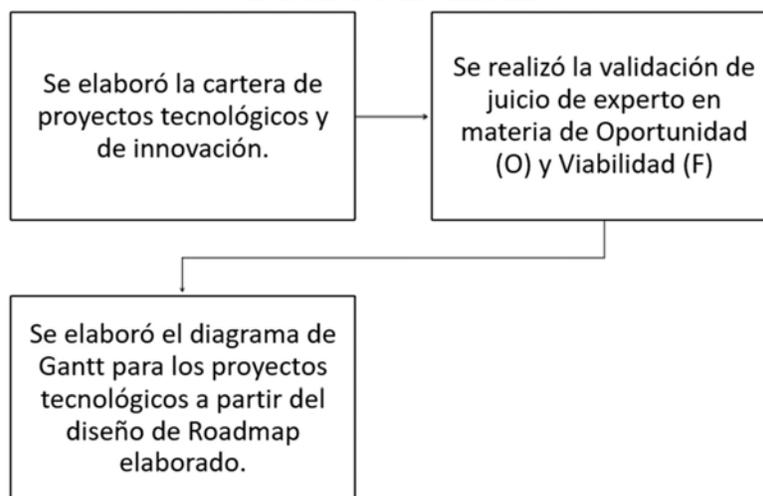
Mapa de las Actividades para el Logro de Objetivo Específico 2



Finalmente, para alcanzar el objetivo específico 3, proponer un portafolio diversificado de proyectos a partir del diseño del *Roadmap* tecnológico y establecer una planificación de proyectos orientada hacia el año 2030., se realizaron las actividades propuestas en la Figura 26.

Figura 26

Mapa de las Actividades para el Logro de Objetivo Específico 3

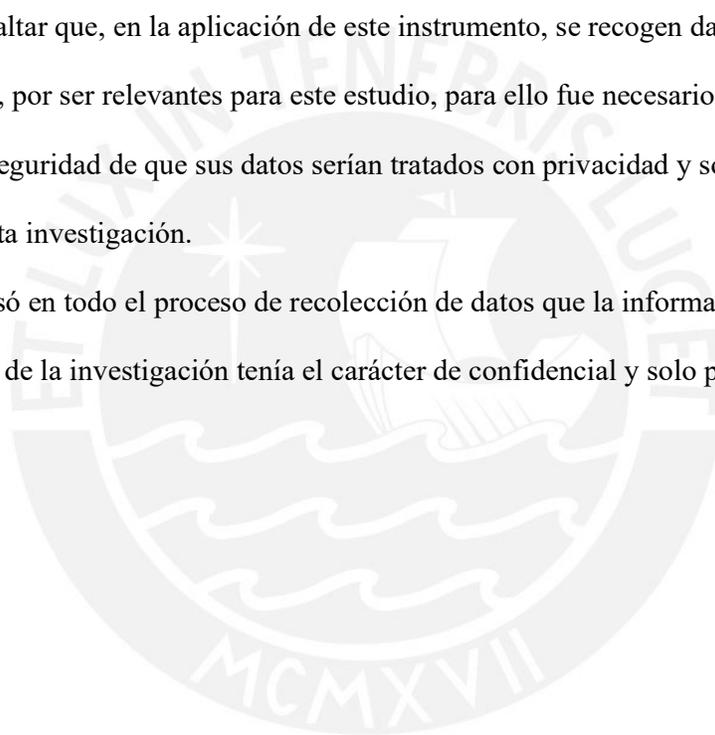


Consideraciones Éticas

Para la recolección de datos efectuada a los participantes de la investigación, se comunicó a los entrevistados el propósito y la finalidad del uso de aquellos resultados obtenidos con la aplicación de las preguntas, ello a través de la aplicación de un consentimiento informado, con el fin de que las personas confirmen su participación en la presente investigación.

Cabe resaltar que, en la aplicación de este instrumento, se recogen datos personales de los participantes, por ser relevantes para este estudio, para ello fue necesario brindar a cada entrevistado la seguridad de que sus datos serían tratados con privacidad y solo para fines exclusivos de esta investigación.

Se expresó en todo el proceso de recolección de datos que la información recibida de los participantes de la investigación tenía el carácter de confidencial y solo para efectos de este estudio.



Capítulo IV. Resultados

Geología, Control Mina, Planeamiento, Mantenimiento Mina y Perforación & Voladura son las cinco áreas funcionales operativas que dan soporte al proceso de explotación dentro de la unidad minera Constancia. La descripción que se desarrollará a continuación detallará la digitalización y los procesos, así como una breve descripción de los sistemas informáticos de cada área. Esta descripción servirá para desarrollar el primer objetivo, el cual plantea describir y analizar la situación actual a nivel de procesos y tecnología para el proceso minero.

Situación Actual del Área de Geología con Respecto al Proceso de Explotación

Descripción del Área de Geología

Encontrar las reservas minerales de la operación minera es el objetivo principal del área de geología, ya que son un eslabón esencial en la cadena de producción de la mina. El área de geología tiene actividades definidas y pertinentes que están en consonancia con este objetivo, como la actualización del modelo de bloques (a corto plazo), que sirve de insumo principal para las distintas áreas de minas y plantas. En el área de geología se utilizan actualmente cinco sistemas, que se distinguen principalmente por ser bases de datos que ayudan al geólogo supervisor a mantener el orden de los datos recogidos como resultado de la actividad de perforación, que es el método utilizado para determinar las propiedades de la roca (se define el tipo de roca, la alteración, la dureza y el contenido mineral). Todos los procesos están soportados en libros de Excel semiautomatizados para la generación de reportes, y esta información está soportada en servidores que operan localmente además de contar con un sistema de archivos en la nube (Google Drive), que los usuarios utilizan para compartir información con otras áreas de la operación y laboratorios químicos (ver Figura 27 y Figura 28).

Figura 27

Relación entre los Sistemas del Área de Geología (Primera Parte)

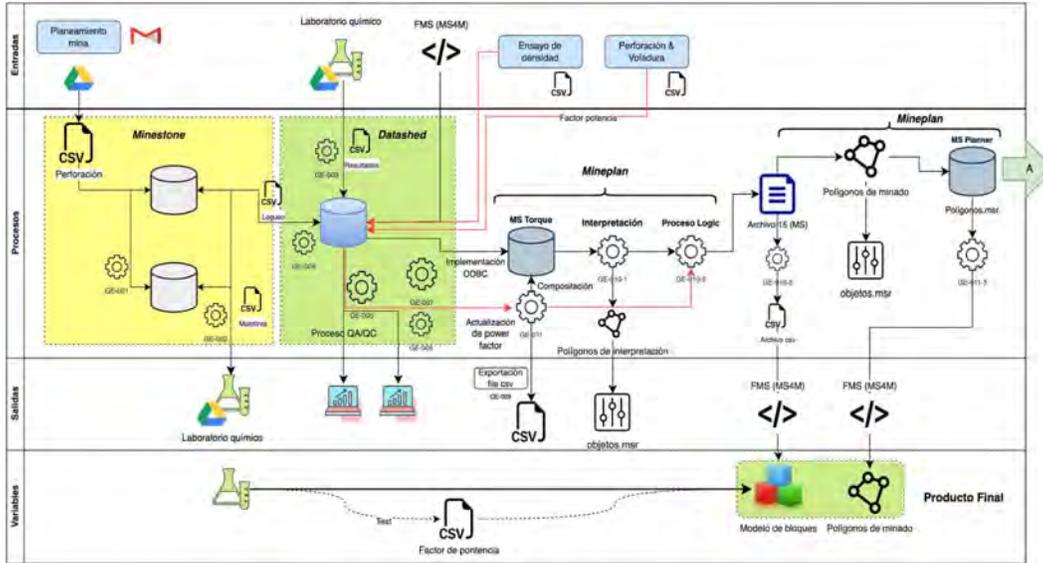
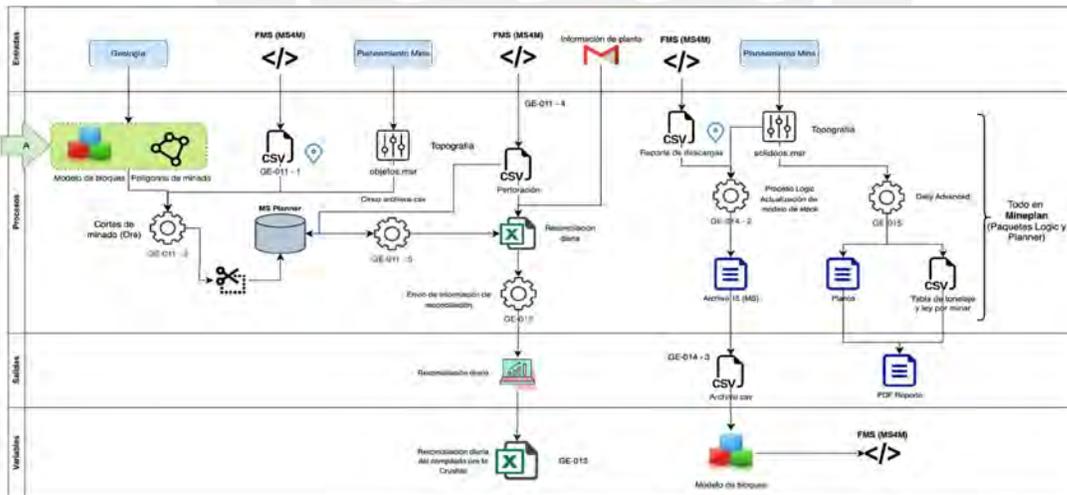


Figura 28

Relación entre los Sistemas del Área de Geología (Segunda Parte)



Digitalización en el área de geología

Cada uno de los cinco sistemas bajo gestión del área geológica incluye una base de datos (ver Tabla 3). Se tiene el siguiente ejemplo para completar el flujo de estos sistemas (ver Figura 29).

Tabla 3

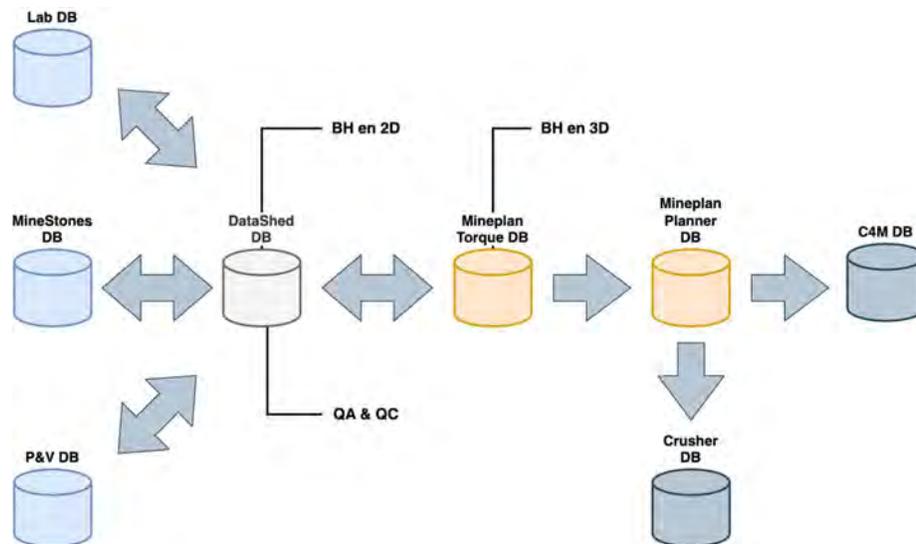
Sistemas del Área de Geología

| Sistema | Descripción |
|------------------|--|
| MineStones | Para exportar los datos a otras fuentes de datos compatibles con otros sistemas mineros, MineStones es un sistema que permite el logueo y el muestreo geológico. |
| DataShed | El sistema DataShed alberga datos sobre producción, perforación diamantina y otros. La carga de información de los pozos Constancia y Pampacancha también está presente en este sistema. |
| MinePlan Torque | El sistema MinePlan Torque almacena los datos de voladura localmente para que puedan utilizarse para actualizar el modelo de bloques a corto plazo. |
| MinePlan Planner | El avance diario y la construcción de polígonos son los dos objetivos principales del sistema MinePlan Planner. El resultado de todo ello es un informe diario del avance de la explotación minera. |
| DB Crusher | El informe de Conciliación Diaria, que se convierte en el informe Crusher una vez al mes, es la principal tarea realizada por el sistema DB Crusher. Es importante señalar que el área de negocios construyó este enfoque porque inicialmente se utilizaba en los libros de Excel. |

continuación, tiene características únicas, y el área de geología dispone de las licencias pertinentes para ellos (ver Figura 30).

Figura 30

Base de Datos del Área de Geología



Las áreas utilizan estos datos, que son producidos y procesados por los módulos de *software* MinePlan, y se distribuyen por correo electrónico y carpetas compartidas de Google Drive. El tajío Constancia y el tajío Pampacancha son los dos tajíos de la empresa. Los datos se dividen en dos proyectos para el procesamiento de MinePlan. Esto se debe a la configuración de dos modelos de bloques distintos, cada uno de los cuales requiere su propio procesamiento para representar los datos geológicos en tres dimensiones. El proceso de integración debe tener en cuenta el hecho de que ésta es la única situación en la que se establecen dos modelos de bloques distintos.

El supervisor de guardia envía los datos producidos por estos procedimientos por correo, de forma semiautomática y a petición, y luego los carga en otros sistemas como el FMS (Sistema de Gestión de Flotas). Además, con una estimación de una vez al día.

Situación Actual del Área de Control Mina con Respecto al Proceso de Explotación

Descripción del Área de Control Mina

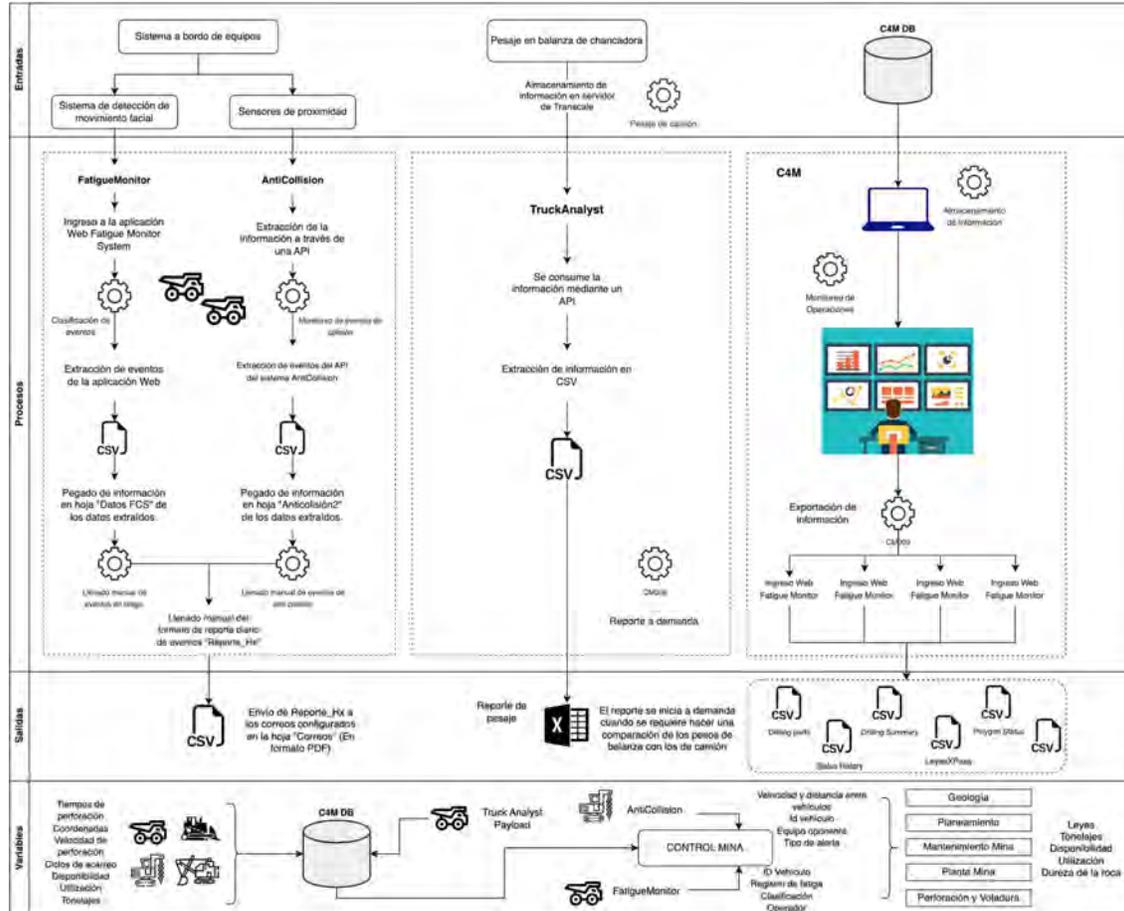
El objetivo del área es monitorizar las operaciones en tiempo real, detectar errores, modificaciones en los planes o posibles oportunidades de mejora que permitan que la producción y la productividad sean iguales o superiores a las previstas, y garantizar la integridad y seguridad de los operarios. Crear datos útiles del mismo modo para los campos de la geología, el planeamiento, el mantenimiento minero y la planta, entre otros.

El jefe de eficiencia operativa, los ingenieros supervisores, los ingenieros de campo, los jefes de despacho del sistema de gestión de flotas y los controladores del sistema de fatiga son los responsables del equipo de control de minas. Cuatro sistemas FatigueMonitor, *Anticollision*, *Truck Analyst* y C4M se utilizan actualmente en el área y producen datos para la supervisión de las operaciones en tiempo real y el consumo por parte de las áreas de perforación y voladura, planeamiento, geología y mantenimiento de equipos. Estos sistemas utilizan cinco servidores locales para administrar las bases de datos.

La información generada por los sensores de los equipos mineros suministrada por los proveedores de tecnología es la principal entrada que reciben estos sistemas. Las áreas de geología (modelo de bloques y polígonos actualizados) y planeamiento (mallas de perforación) se suben a la nube mediante un proceso ETL que consume los archivos en formato CSV (ver Figura 31).

Figura 31

Base de Datos del Área de Geología

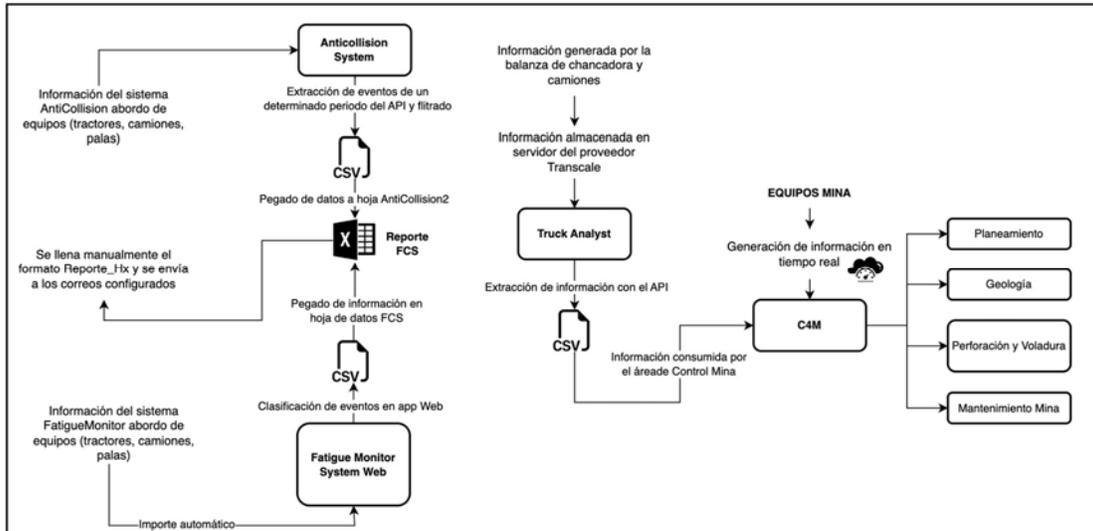


Digitalización en el Área de Control Mina.

Tabla 4

Sistemas del Área de Control Mina

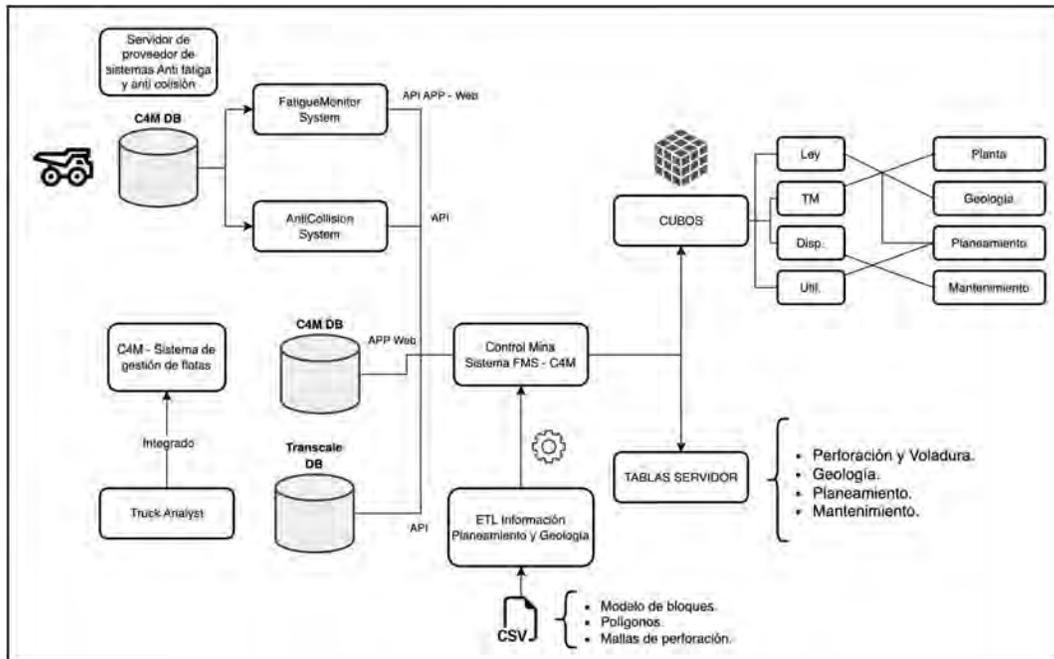
| Sistema | Descripción |
|-----------------------------------|---|
| <i>AntiCollision System</i> | El sistema anticollisión recoge datos de los sensores instalados en los equipos de la mina (camiones, palas y tractores) para identificar posibles colisiones. Guiado por la distancia entre dos equipos, detecta los eventos de colisión que puedan producirse. Cuando se produce una colisión, registra la fecha y hora en que se produjo, la velocidad de los dos equipos y la distancia, entre otros datos cruciales. |
| Fatigue Monitor Web | FatigueMonitor utiliza un sistema de sensores de detección de fotogramas y una pantalla para identificar el nivel de cansancio de un operador minero basándose en las expresiones oculares y faciales. |
| Truck Analyst (Payload) | El equipo de medición conocido como Truck Analyst hace las veces de báscula, midiendo tonelajes (seis neumáticos de camión y una carga útil, o peso completo menos peso en vacío). Los objetivos son validar la cantidad de mineral alimentado a la chancadora y calibrar la báscula de <i>Transcale</i> . |
| C4M (Sistema de gestión de flota) | El sistema FMS utilizado por Hudbay es C4M, y fue desarrollado con el objetivo de ayudar en el control y la correcta distribución de los equipos de la mina. Para ello, supervisa continuamente los indicadores de producción, funcionamiento y eficiencia con el fin de detectar oportunidades para aumentar la productividad, preservando al mismo tiempo la integridad y la seguridad de los operarios. |

Figura 32*Relación entre Sistemas del Área de Control Mina*

En esta área los equipos mineros, como camiones, tractores, perforadoras y palas, entre otros, tienen sensores acoplados que producen información. Producen datos continuamente, que son vigilados por los líderes de despacho del sistema de gestión de flotas. Los sistemas que almacenan la información generada por los equipos son enviadas a los servidores de los proveedores y se consumen a través de una API y un servicio web (ver Figura 33). Esta información es consumida por los líderes de despacho, de monitoreo de fatiga y somnolencia para generar reportes de final de día con los eventos ocurridos. El área de control mina utiliza una API para recibir la información del sistema Truck Analyst proporcionado por Transcale y generar informes según sea necesario (aproximadamente cada tres meses).

Figura 33

Relación entre Base de Datos y Sistemas



Situación Actual del Área del Mantenimiento Mina con Respecto al Proceso de Explotación

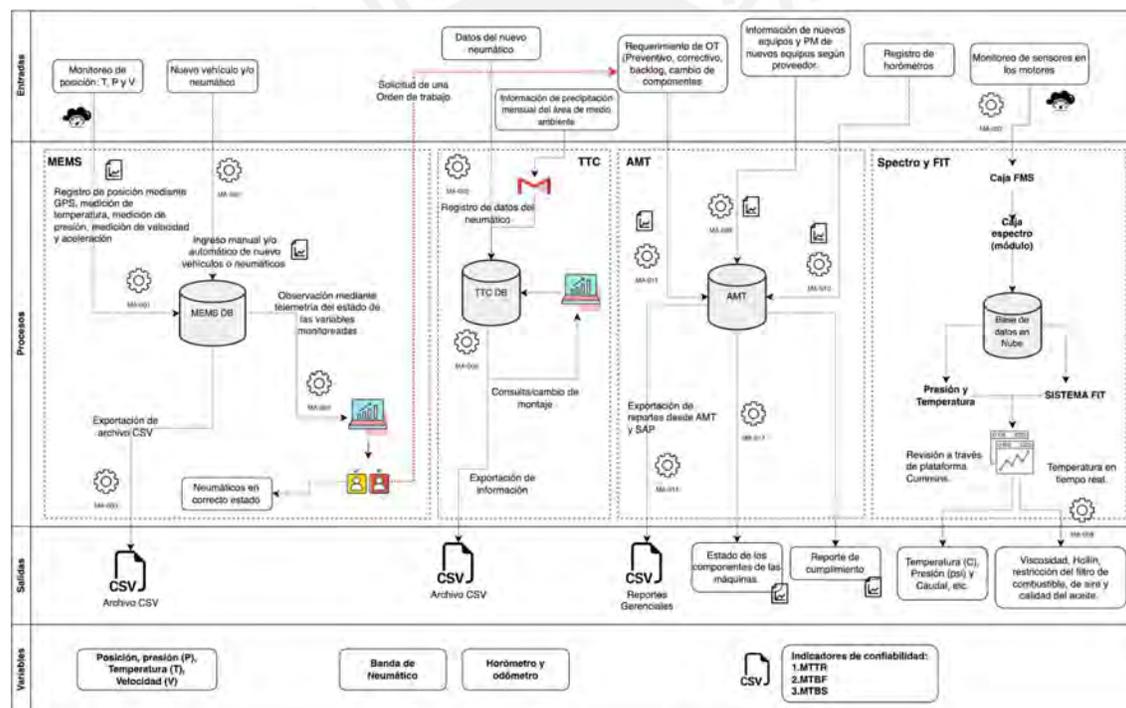
Descripción del Área de Mantenimiento Mina

Las subáreas de mantenimiento, fiabilidad y planificación componen el área de mantenimiento de la mina. Mediante el control del cumplimiento de los planes de mantenimiento (preventivo y programado), el control del cumplimiento de los indicadores de gestión del mantenimiento (KPI) y el control del cumplimiento de los procedimientos y normas, el equipo trabaja para garantizar la disponibilidad de los equipos (equipos principales de la mina, flota auxiliar y de apoyo). El equipo de Mantenimiento utiliza cinco sistemas diferentes, estos ayudan, entre otras cosas, a trazar previsiones de disponibilidad y utilización, proyectar costos, registrar informaciones sobre cambio y uso de neumáticos, programar el mantenimiento preventivo y programado, generar OT's (atrasos, PM, cambios de

componentes, etc.) y monitorear el estado de los neumáticos de los camiones mineros y de las palas. Por otro lado, cuentan con tecnologías que apoyan el monitoreo de la maniobrabilidad de la operación y de las características de los motores de las palas. Dos servidores de bases de datos y aplicaciones web de los proveedores tecnológicos son los principales responsables del soporte de estos importantes datos (ver Figura 34). Sin embargo, varios sistemas están aún en fase de desarrollo y/o demostración.

Figura 34

Relación entre Procesos del Área de Control Mina



Digitalización en el Área de Mantenimiento Mina

Los sistemas administrados por el área de Control Mina son los siguientes (ver Tabla 5). El área de mantenimiento consume ahora datos de los sensores MEMS, TTC, SPECTO y de inclinación de las palas instalados en la maquinaria de los proveedores de los sistemas operativos, así como datos del sistema C4M de control de minas. Por otra parte, algunos sistemas, como el de detección de tensiones en estructuras, no proporcionan información

inmediata para mantenimiento mina, sino que el proveedor procesa los datos generados y los envía al área mediante un informe (ver Figura 35).

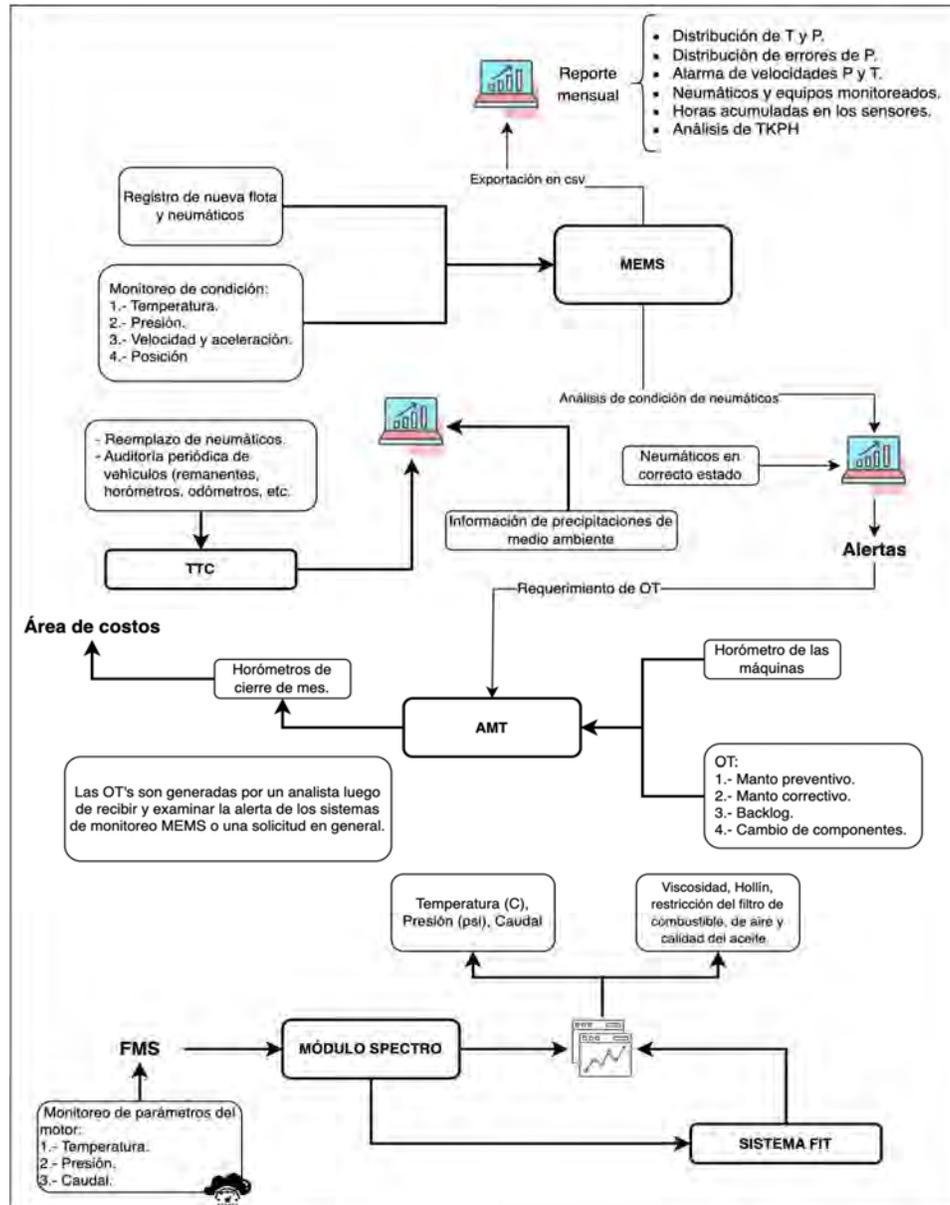
Tabla 5

Sistemas del Área de Mantenimiento

| Sistema | Descripción |
|---|--|
| Micheline Earthmover Management System (MEMS) | Para camiones y cargadoras, el sistema MEMS sirve como sistema de control del estado de los neumáticos. Los datos se recogen mediante sensores instalados en los neumáticos del equipo y se transmiten por la red en tiempo real antes de guardarse en un servidor local dentro del taller de neumáticos. |
| Total Tyre Control (TTC) | Los datos de los neumáticos de los equipos mineros son rastreados y controlados por el sistema TTC. El ingreso de nueva información de los neumáticos o la actualización de los parámetros de estos (recauchutado, vida útil, motivos de cese de operaciones de los neumáticos, medición de desgaste o remanentes para optimizar la vida útil de los neumáticos, registro de cambio de posición de los neumáticos, entre otros) debe realizarse manualmente debido a que este sistema no opera en tiempo real. |
| Medición de inclinación en palas | El sistema de gestión de flotas del área de control de minas está actualmente conectado con este sistema. Se instaló un sensor como parte del sistema y con la ayuda de este mecanismo, se evita que la pala realice movimientos rápidos relacionados con la inclinación, en un esfuerzo por proteger los componentes principales. |
| Specto y FIT (CUMMINS) | A través de los sensores conectados, el motor del equipo emite datos, que son procesados por la caja Specto y suministrados a un servidor en la nube a través de un enlace de red. Todos los datos capturados del motor del equipo (incluyendo presión y temperatura) se pueden ver utilizando una IP y un usuario proporcionado por Cummins. |
| Asset Maintenance Software (AMT) | El sistema AMT se utiliza para gestionar el mantenimiento de los equipos de minería. En este sistema, se identificaron cuatro actividades clave, a saber: registro manual diario de los odómetros de los equipos; seguimiento de los componentes de los equipos; elaboración de gráficos de los componentes; proyección del presupuesto; y creación de informes de gestión. |
| Medición de Esfuerzos en Estructuras | Para evitar que se formen fracturas, se utilizan sensores que miden las tensiones y deformaciones en zonas específicas de una estructura. Los datos de los sensores se cargan en la nube (el servidor del proveedor) mediante un dispositivo dentro de la cabina. |

Figura 35

Relación entre Sistemas Procesos y Áreas conexas a Mantenimiento Mina



Situación Actual del Área de Planeamiento con Respecto al Proceso de Explotación

Descripción del Área de Planeamiento

Los tres componentes del área de planeamiento son la gestión, la supervisión y la vigilancia. Como eslabón crucial de la cadena de producción minera, el objetivo del equipo es estimar los recursos minerales y regular el mineral. En consonancia con estos objetivos, el área de geología tiene actividades específicas y pertinentes, como la actualización del modelo de bloques (a corto plazo). El equipo de planeamiento utiliza dos sistemas como herramientas (programas informáticos), incluido Microsoft Office (Excel), que se utiliza para crear informes semanales y mensuales que se presentan a la dirección y a la sede central (ver Figura 36 y Figura 37). El sistema MinePlan *Blast*, por su parte, automatiza el proceso de creación de cuadrículas de perforación y se actualiza continuamente para ayudar a eliminar las tareas humanas.

Figura 36

Relación de Sistemas del Área de Planeamiento (Parte 1)

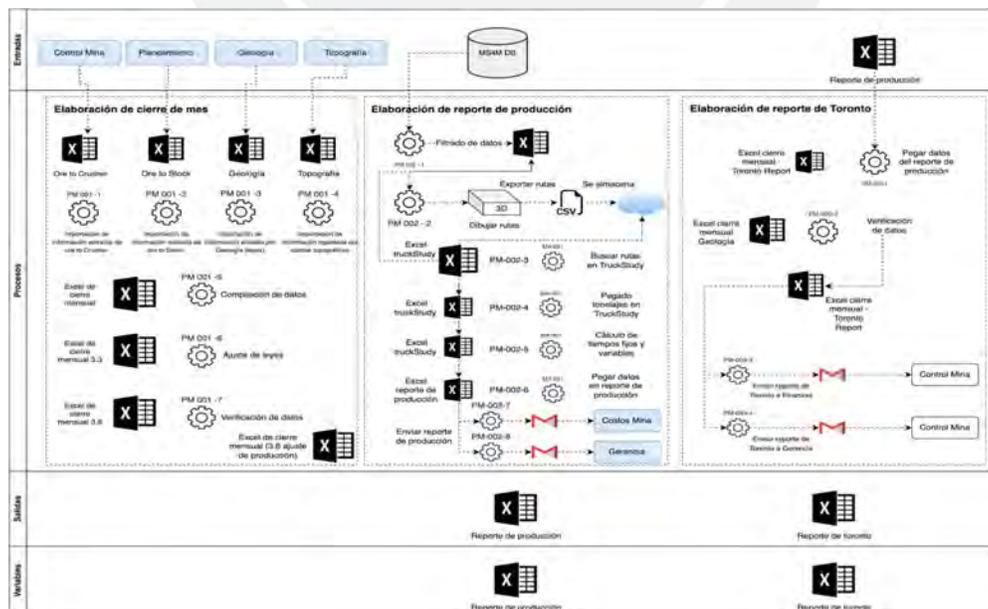
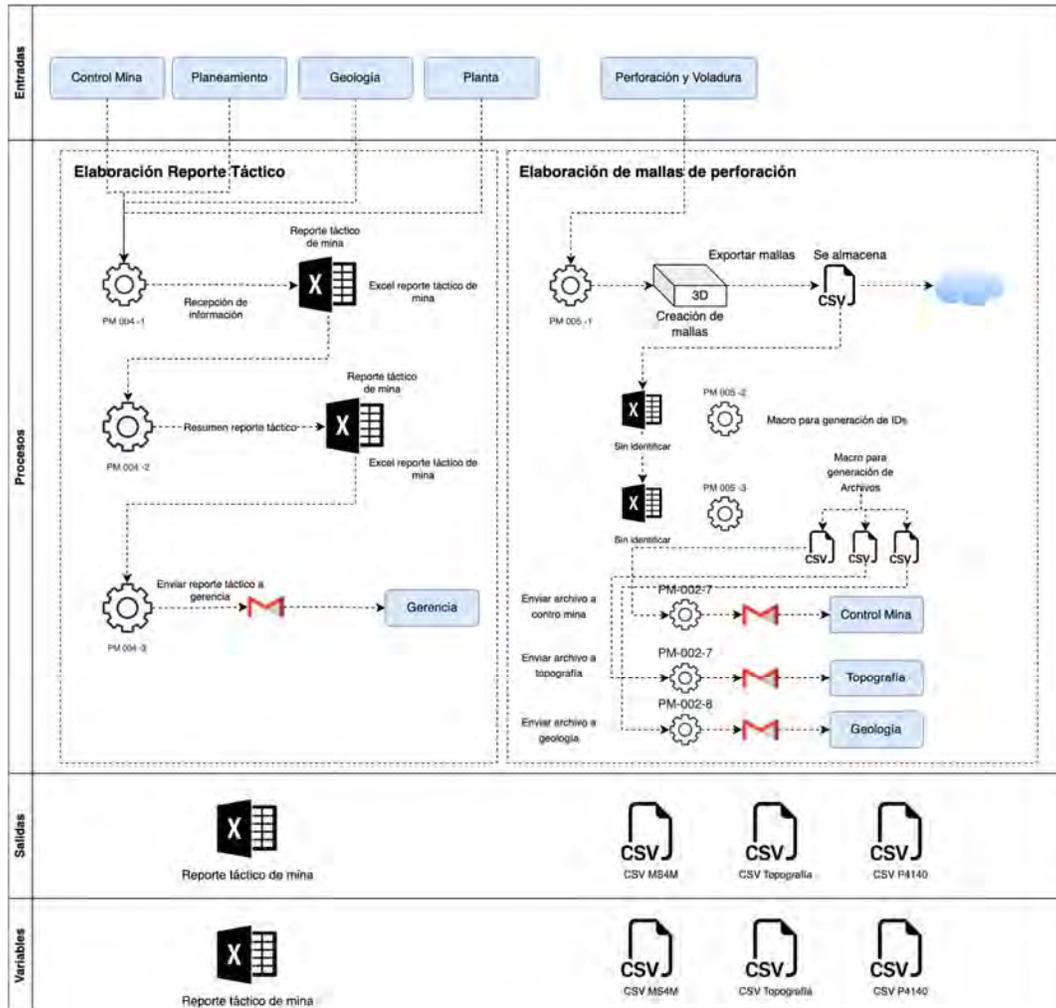


Figura 37

Relación de Sistemas del Área de Planeamiento (Parte 2)

**Digitalización en el Área de Planeamiento**

Los sistemas administrados por el área de planeamiento son los siguientes (ver Tabla 6). Las áreas de control mina, geología y topografía producen información que es utilizada por el área de planeamiento. Google Drive, las bases de datos del sistema y el correo electrónico son los canales o métodos de consumo de estos datos (ver Figura 38).

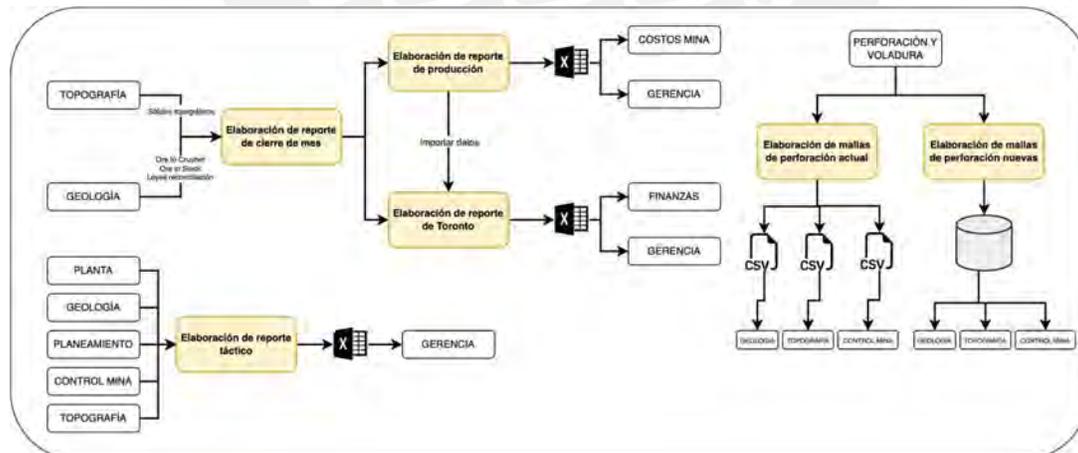
Tabla 6

Sistemas del Área de Planeamiento

| Sistema | Descripción |
|--------------------------|--|
| MICROSOFT OFFICE (EXCEL) | El objetivo del primer informe es confirmar la exactitud de los datos de los informes Toronto y Producción. El objetivo del segundo informe es proporcionar la producción mensual para que el área de costos de la mina pueda estimar su valor y proporcionar un informe a la dirección. El último informe es el informe táctico, que se crea utilizando datos de geología, control mina, planta y planificación con el objetivo de informar de la producción diaria y tomar decisiones tácticas en caso de que la producción cambie significativamente. |
| MINEPLAN BLAST | La generación de mallas de perforación es el objetivo principal del sistema MinePlan Blast. Actualmente, se detallan en MinePlan y se exportan en formato CSV. Como actividad posterior, el archivo exportado se pasa por dos macros, una para crear el ID único de cada proyecto o malla de perforación, y la otra para crear los archivos que se enviarán a las áreas interesadas. |

Figura 38

Relación entre Sistemas Procesos y Áreas Conexas a Planeamiento



Situación Actual del Área de Perforación y Voladura con Respecto al Proceso de Explotación

Descripción del Área de Perforación y Voladura

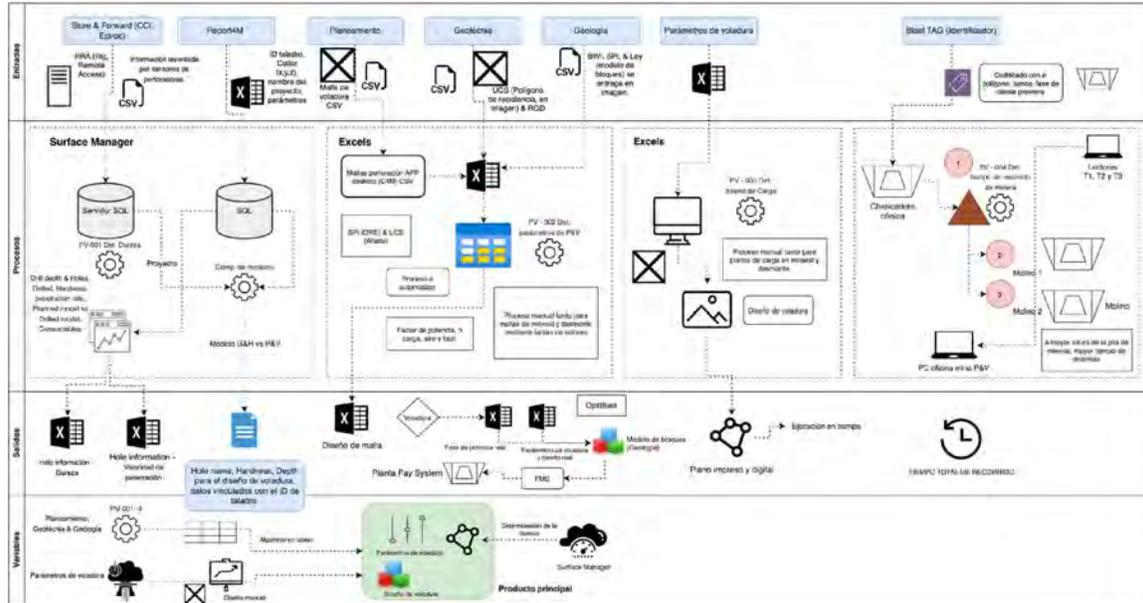
Gerencia, superintendencia y supervisión son las tres subdivisiones que componen el área de perforación y voladura. El objetivo del equipo es dotar a la planta metalúrgica de una granulometría de mineral ideal para que el tiempo empleado en la trituración del mineral sea el menor posible. Esto optimizará el consumo de energía y aumentará la cantidad de mineral que procesa la planta metalúrgica.

El equipo de Perforación y Voladura utiliza tres sistemas (aplicaciones informáticas) actualmente. Sin embargo, es crucial señalar que existe margen de mejora para poner en marcha un sistema que ayude a alcanzar uno de los principales objetivos del área, a saber, la determinación de los parámetros de voladura (actualmente realizada de forma manual con el uso de tablas en libros de Excel).

Se utiliza una base de datos para soportar los datos que genera el sistema Surface Manager. Además, disponen de una plataforma en la nube (Google Drive) que los usuarios pueden utilizar para transferir información entre los departamentos de la mina (Planeamiento y Geología). Estos datos son accesibles a través de Google Drive, libros de Excel y extensiones del *software* MinePlan (msr) (ver Figura 39).

Figura 39

Relación entre los Sistemas del Área de Perforación y Voladura



Digitalización en el Área de Perforación y Voladura

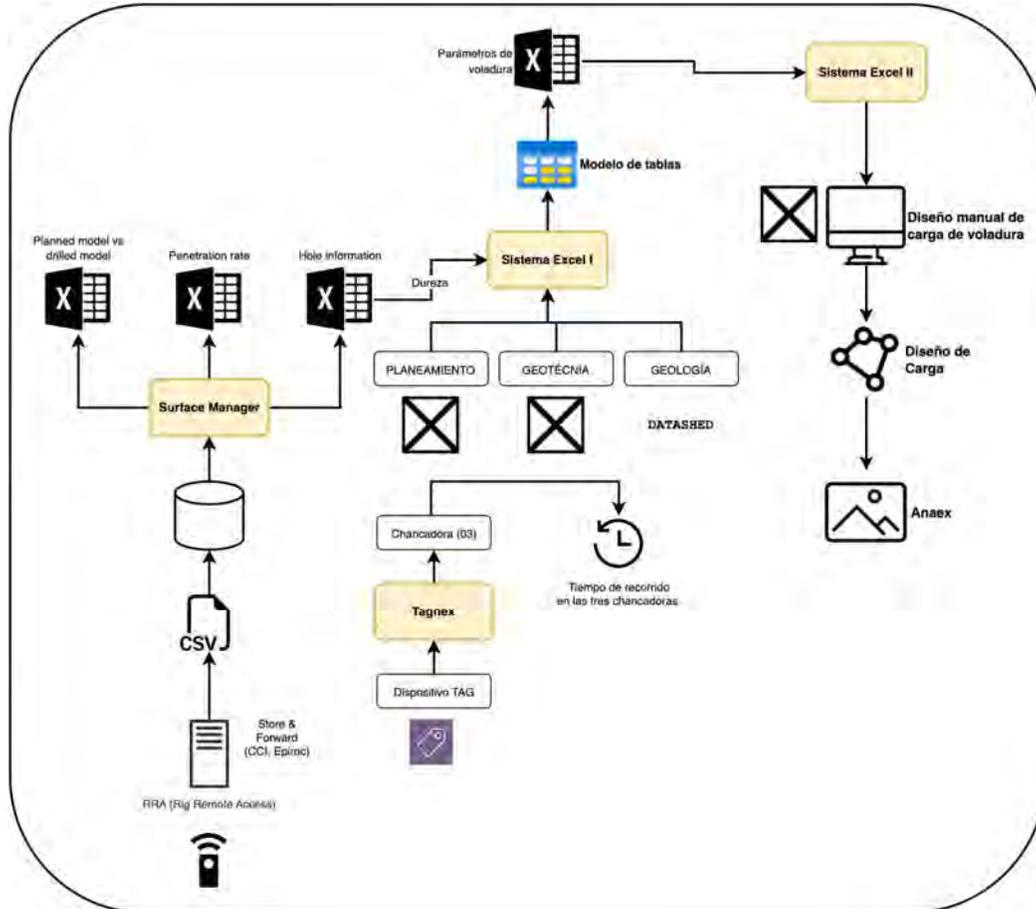
Los sistemas administrados por el área de Perforación y Voladura son los siguientes (ver Tabla 7). Esta área recoge los datos producidos por las áreas de Control Mina, Geología, Planeamiento y Geotécnica. Estos datos se recopilan a través de rutas de Google Drive, bases de datos de distintas áreas y correos electrónicos enviados directamente (ver Figura 40).

Tabla 7*Sistemas del Área de Perforación y Voladura*

| Sistema | Descripción |
|-----------------------------|--|
| SURFACE MANAGER (SM) | La determinación de la dureza de la roca es el proceso principal del sistema Surface Manager. Para llevar a cabo este proceso se utilizan los sensores del equipo de perforación y la base de datos Store & Forward (CCI). |
| MICROSOFT OFFICE (EXCEL) | La determinación de los parámetros de voladura y la determinación de la carga de diseño (plan) son los dos procesos principales utilizados por el sistema Microsoft Office (Excel). Utilizando la tabla de factores de potencia, los parámetros de voladura se determinan manualmente tanto para el mineral como para la roca estéril. |
| TAGNEX | El proceso principal del sistema <i>Tagnex</i> es la determinación del recorrido del mineral (codificado con los códigos de banco, fase y origen) hasta que llega al molino de la planta metalúrgica. Para ello, se incrusta en el material una etiqueta con un sistema integrado, y en las fajas hay antenas que captan las señales de estos tags y envían los datos a la planta. |
| O-PITBLAST | El sistema empleado por el contratista ENAEX, lleva la cuenta de la cantidad de barrenos excavados sobre el terreno. |

Figura 40

Relación entre Sistemas, Procesos y Áreas Conexas a Perforación & Voladura



A continuación, se desarrollarán tres artefactos (Análisis PESTEL, Matriz FODA y Business Model Canvas) como parte del análisis de procesos y tecnologías para el proceso de explotación, que permitirán crear un adecuado análisis del proceso que servirá de insumo para el diseño del *Roadmap* tecnológico. A continuación, se presenta el análisis PESTEL de la mina Constancia.

Análisis PESTEL para Mina Constancia

Aspecto Político

Lo más resaltante dentro del análisis Político son los siguientes factores:

- Estabilidad Política del país: Aunque Perú es una democracia estable, recientemente ha habido cierta agitación política como consecuencia de los cambios en la dirección del país.
- Inestabilidad política en la zona sur del país: Los disturbios o la inestabilidad política en la zona y el sur del país donde se encuentra la mina podrían suponer riesgos para las operaciones y el personal.
- Preocupaciones de la comunidad a largo plazo: A través de acuerdos con las partes interesadas para abordar importantes preocupaciones de la comunidad, como el empleo local y las oportunidades de negocio, así como una visión a largo plazo, Hudbay Constancia trabaja para crear valor compartido.
- Desempeño ambiental de la empresa según la OEFA: En 2021, la OEFA verificó que el lugar cumplía con todas las normativas ambientales al 100%. Esta realización es especialmente significativa considerando el entorno político y social en Perú y el creciente interés de los grupos interesados en el desempeño ambiental de la empresa.

Tabla 8*Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Político*

| Factores Políticos | Detalle | Plazo | Impacto |
|--|--|---------------|--------------|
| Estabilidad política del país. | Aunque Perú es una democracia estable, recientemente ha habido cierta agitación política como consecuencia de los cambios en la dirección del país. | Corto Plazo | Muy Negativo |
| Cambios en la normativa gubernamental. | Hudbay Constancia ha tenido que hacer frente a cambios en la normativa gubernamental, así como a la oposición a la minería y sus efectos sobre el medio ambiente por parte de residentes y ecologistas. | Mediano Plazo | Positivo |
| Cambios en el liderazgo político del país. | Las normativas y políticas que afectan a la industria minera peruana pueden cambiar como consecuencia de los recientes cambios en el liderazgo político. | Mediano Plazo | Negativo |
| Inestabilidad política en la zona sur del país. | Los disturbios o la inestabilidad política en la zona y el sur del país donde se encuentra la mina podrían suponer riesgos para las operaciones y el personal. | Corto Plazo | Muy Negativo |
| Entorno político y social en Perú. | El entorno político y social en Perú es complicado y a menudo difícil. Hudbay en Perú es consciente de que para superar estos obstáculos es necesaria una estrecha colaboración con las partes interesadas de la comunidad y con todos los niveles de gobierno. | Corto Plazo | Positivo |
| Preocupaciones de la comunidad a largo plazo. | A través de acuerdos con las partes interesadas para abordar importantes preocupaciones de la comunidad, como el empleo local y las oportunidades de negocio, así como una visión a largo plazo, Hudbay Constancia trabaja para crear valor compartido. | Mediano Plazo | Muy Positivo |
| Recursos de los gobiernos nacional, regional y local. | Se están tomando iniciativas para acercar en mayor medida los recursos de los gobiernos nacional, regional y local a las comunidades, y se están formando asociaciones con empresas cualificadas para llevar a cabo los programas que las comunidades han identificado como más importantes. | Largo Plazo | Positivo |
| Desempeño ambiental de la empresa según la OEFA. | En 2021, la OEFA verificó que el lugar cumplía con todas las normativas ambientales al 100%. Esta realización es especialmente significativa considerando el entorno político y social en Perú y el creciente interés de los grupos interesados en el desempeño ambiental de la empresa. | Corto Plazo | Muy Positivo |
| Riesgo medio en temas políticos y sociales. | En la actualidad, todos los sitios de operación y exploración de Hudbay se consideran de bajo riesgo, excepto Constancia en Perú, que se clasifica como de riesgo medio. | Mediano Plazo | Negativo |
| Conflictos sociales en el país. | Aunque el país tiene instituciones y políticas gubernamentales relativamente sólidas, la historia de conflictos sociales en el país presenta un riesgo elevado que requiere evaluaciones y gestiones de riesgos más rigurosas. | Mediano Plazo | Negativo |
| Manifestaciones y conflictos de las comunidades aledañas a la operación. | Durante el año 2021, hubo tres manifestaciones de la comunidad cercana a la operación en Constancia. Una de ellas ocurrió en marzo y algunos manifestantes intentaron ingresar al sitio de la mina. El equipo de relaciones comunitarias de Hudbay en Perú se comunicó con los grupos de interés relevantes para establecer una mesa de diálogo y abordar las preocupaciones de los manifestantes. | Corto Plazo | Negativo |

Nota. Adaptado del levantamiento de información y entrevistas.

Aspecto Económico

Lo más resaltante dentro del análisis Económico son los siguientes factores:

- **Recesión económica mundial:** Las recesiones económicas (causadas por la quiebra de importantes bancos estadounidenses) pueden provocar un descenso de la demanda de minerales, lo que puede repercutir en la rentabilidad de la explotación minera.
- **Fluctuaciones de los precios de las materias primas:** Las recientes fluctuaciones de los precios de las materias primas podrían influir en la rentabilidad de la explotación minera.
- **Aumento de la producción y reservas de cobre y oro en el proyecto:** A medida que las leyes más altas de Pampacancha entran en el plan minero, Constancia en 2021 refleja un aumento de la producción de cobre y oro entre 2022 y 2025. Las reservas de mayor ley de la ampliación del tajo Constancia Norte, que prolongaron el perfil de mayor ley hasta 2028, también se incluyen en el plan. Como resultado, los contenidos de cobre y oro de las reservas aumentaron aproximadamente un 11% y un 12%, respectivamente, con respecto a las reservas del año anterior.
- **Desarrollo socioeconómico de las comunidades:** Constancia Hudbay invierte en oportunidades de desarrollo socioeconómico que permitan a las comunidades vecinas beneficiarse de su presencia y contribuir a ella.

Tabla 9*Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Económico*

| Factores Económicos | Detalle | Plazo | Impacto |
|--|--|---------------|--------------|
| Recesión económica mundial. | Las recesiones económicas (causadas por la quiebra de importantes bancos estadounidenses) pueden provocar un descenso de la demanda de minerales, lo que puede repercutir en la rentabilidad de la explotación minera | Mediano Plazo | Muy Negativo |
| Efectos de la pandemia de COVID-19. | Con una importante actividad minera, Perú es una economía en desarrollo. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 y los cambios en los precios de los metales han tenido un impacto en la economía. Para adaptarse a estos cambios, Hudbay Constancia tuvo que modificar sus prácticas empresariales y sus gastos. | Corto Plazo | Negativo |
| Fluctuaciones de los precios de las materias primas. | Las recientes fluctuaciones de los precios de las materias primas podrían influir en la rentabilidad de la explotación minera. | Corto Plazo | Muy Negativo |
| Aumento de la producción y reservas de cobre y oro en el proyecto, | A medida que las leyes más altas de Pampacancha entran en el plan minero, Constancia en 2021 refleja un aumento de la producción de cobre y oro entre 2022 y 2025. Las reservas de mayor ley de la ampliación del tajo Constancia Norte, que prolongaron el perfil de mayor ley hasta 2028, también se incluyen en el plan. Como resultado, los contenidos de cobre y oro de las reservas aumentaron aproximadamente un 11% y un 12%, respectivamente, con respecto a las reservas del año anterior. | Mediano Plazo | Muy Positivo |
| Desarrollo socioeconómico de las comunidades. | Constancia Hudbay invierte en oportunidades de desarrollo socioeconómico que permitan a las comunidades vecinas beneficiarse de su presencia y contribuir a ella. | Largo Plazo | Muy Positivo |
| Cooperación con las comunidades. | Hudbay Constancia trabaja en cooperación para crear oportunidades que apoyen las necesidades de infraestructura y los medios de subsistencia. También trabaja para desarrollar relaciones de confianza con quienes viven cerca de sus operaciones o se ven afectados por ellas. | Mediano Plazo | Positivo |
| Cumplimiento de objetivos de producción en el proyecto minero. | El equipo de Perú se desarrolló con éxito en este entorno a pesar de las dificultades de un nuevo gobierno, la presión social y los continuos efectos de COVID-19 sobre la mano de obra, cumpliendo su objetivo de producción de cobre y superando su objetivo de producción de oro. Además, el exitoso incremento gradual de Pampacancha, que comenzó con la primera producción en abril de 2021, aumentó significativamente la producción de oro en comparación con las expectativas para 2021 y los puso en el camino hacia leyes de cobre más altas en 2022. | Corto Plazo | Positivo |
| Factores socioeconómicos. | Los factores socioeconómicos se tienen en cuenta en todas las fases de la vida de la mina y en todos los niveles de la empresa en la explotación de Constancia (Perú). La intención es que las comunidades cercanas se beneficien de la presencia de la operación y perduren mucho tiempo después de que las operaciones hayan finalizado. | Largo Plazo | Positivo |

Nota. Adaptado del levantamiento de información y entrevistas.

Aspecto Sociocultural

Lo más resaltante dentro del análisis Sociocultural son los siguientes factores:

- Licencia social de las comunidades: La licencia social para explotar la mina puede verse afectada por las actitudes de la comunidad local hacia la minería.
- Programas de inclusión social: Las mujeres sólo representan alrededor del 6% de la mano de obra minera en Perú, un porcentaje muy bajo. Hudbay lanzó un programa llamado "*Hatun Warmi*", que en quechua (la lengua indígena del pueblo quechua de Sudamérica) significa "Grandes Mujeres", porque Hudbay entiende el valor de fomentar el éxito de más mujeres en la industria. Sólo las mujeres de las comunidades cercanas a la mina son las destinatarias del programa.
- Constancia ha establecido relaciones de confianza con las comunidades próximas: La principal estrategia para obtener la licencia social de explotación ha sido durante mucho tiempo establecer relaciones de confianza con las comunidades próximas a las actividades de exploración y explotación. El equipo ha establecido a Hudbay como líder en las relaciones comunitarias en Perú.

Tabla 10*Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Sociocultural*

| Factores Socioculturales | Detalle | Plazo | Impacto |
|--|---|---------------|--------------|
| Licencia social de las comunidades. | La licencia social para explotar la mina puede verse afectada por las actitudes de la comunidad local hacia la minería. | Mediano Plazo | Muy Negativo |
| Relación de las comunidades y el medio ambiente y la cultura. | Perú tiene una cultura vibrante y diversa. Las comunidades locales mantienen una estrecha relación con el medio ambiente y la tierra. Para asegurarse de que sus operaciones mineras son éticas y sostenibles, Hudbay Constancia ha tenido que colaborar con estas comunidades. | Corto Plazo | Positivo |
| Relación con las comunidades locales. | Hudbay Constancia es consciente de que necesita una estrecha relación con las comunidades locales para establecer y mantener la aceptación social que necesita para operar. | Mediano Plazo | Positivo |
| Desarrollo socioeconómico y el aumento del bienestar de los ciudadanos. | El informe Progreso social en los países dependientes de la minería: Análisis desde la perspectiva de los ODS, publicado en 2018 por el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, por sus siglas en inglés), examinó el desarrollo socioeconómico y el aumento del bienestar de los ciudadanos en los países dependientes de la minería (MDC, por sus siglas en inglés) entre 1995 y 2015. Perú fue uno de los MDC (aquellos identificados por la proporción de exportaciones y PBI derivados de la minería) con mayores mejoras relativas. | Corto Plazo | Positivo |
| Desarrollo y progreso social en el Perú. | Como miembro de la Sociedad Peruana de Minería, Hudbay Constancia apoya el procedimiento de la ITIE (Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas) en Perú y las iniciativas para promover una mejor gestión de los recursos, de modo que el pueblo peruano obtenga todos los beneficios de la minería y los utilice para promover un mayor desarrollo y progreso social. | Largo Plazo | Positivo |
| Programas de inclusión social. | Las mujeres representan alrededor del 6% de la mano de obra minera en Perú, un porcentaje muy bajo. Hudbay lanzó un programa llamado "Hatun Warmi", que en quechua (lengua indígena del pueblo quechua de Sudamérica) significa "Grandes Mujeres", porque entiende el valor de fomentar el éxito de más mujeres en la industria. Sólo las mujeres de las comunidades cercanas a la mina son las destinatarias del programa. | Mediano Plazo | Muy Positivo |
| Constancia a establecido relaciones de confianza con las comunidades próximas | La principal estrategia para obtener la licencia social de explotación ha sido durante mucho tiempo establecer relaciones de confianza con las comunidades próximas a las actividades de exploración y explotación. El equipo ha establecido a Hudbay como líder en las relaciones comunitarias en Perú. | Corto Plazo | Muy Positivo |
| Reconocimiento de los derechos distintivos, cultura e historia de las comunidades. | Respetando a todas las comunidades locales cercanas a sus operaciones y actividades, Hudbay Constancia reconoce sus derechos distintivos, cultura e historia, así como los lazos especiales que los pueblos indígenas tienen con la tierra y el agua. | Mediano Plazo | Positivo |
| Preservación del artefacto cultural de las comunidades. | Con los miembros y grupos pertinentes de la comunidad, Hudbay crea planes de seguimiento de los recursos arqueológicos y culturales en los lugares de explotación y exploración con el fin de identificar y preservar cualquier artefacto cultural que se encuentre en ellos. | Corto Plazo | Positivo |

Nota. Adaptado del levantamiento de información y entrevistas.

Aspecto Tecnológico

Lo más resaltante dentro del análisis Tecnológico son los siguientes factores:

- Constancia utiliza tecnología moderna para aumentar la productividad: En las explotaciones mineras de Hudbay Constancia se utiliza tecnología moderna para aumentar la productividad y reducir el impacto en el medio ambiente.
- Constancia trata de minimizar costes mediante la tecnología: Hudbay Constancia trata de aumentar la productividad y minimizar los costes utilizando tecnología de punta.
- Implementación de tecnología de fluorescencia de rayos X: Gracias a la tecnología de fluorescencia de rayos X (XRF), Hudbay Constancia está trabajando en un proyecto para mejorar sus capacidades de clasificación de mineral diferenciando rápidamente entre mineral valioso y roca estéril. La mina puede evaluar rápidamente los grados y dirigir el material al molino, a la pila o al vertedero gracias a la información en tiempo real que ofrecen los datos de escaneado.

Tabla 11*Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Tecnológico*

| Factores Tecnológicos | Detalle | Plazo | Impacto |
|--|---|---------------|--------------|
| Implementación de tecnologías digitales en minería. | Los procesos utilizados en minería pueden hacerse más eficientes implantando tecnologías digitales como la automatización y el análisis de datos. | Mediano plazo | Positivo |
| Constancia utiliza tecnología moderna para aumentar la productividad. | En las explotaciones mineras de Hudbay Constancia se utiliza tecnología moderna para aumentar la productividad y reducir el impacto en el medio ambiente. | Corto Plazo | Muy Positivo |
| Constancia implementa tecnologías de automatización y análisis de datos | La empresa ha implantado en la mina tecnologías de automatización, control remoto y análisis de datos. | Corto Plazo | Positivo |
| Constancia trata de minimizar costes mediante la tecnología. | Hudbay Constancia trata de aumentar la productividad y minimizar los costes utilizando tecnología de punta. | Mediano plazo | Muy Positivo |
| Implementación de tecnología de fluorescencia de rayos X. | Gracias a la tecnología de fluorescencia de rayos X (XRF), Hudbay Constancia está trabajando en un proyecto para mejorar sus capacidades de clasificación de mineral diferenciando rápidamente entre mineral valioso y roca estéril. La mina puede evaluar rápidamente los grados y dirigir el material al molino, a la pila o al vertedero gracias a la información en tiempo real que ofrecen los datos de escaneado. | Mediano plazo | Muy Positivo |
| Implementación de tecnología de drones en la operación. | Para hacer un seguimiento de los animales y las especies vegetales como parte de su compromiso de preservar la biodiversidad, el equipo de Hudbay Constancia utiliza drones equipados con cámaras y radios bidireccionales para vigilar su propiedad. También se aseguran de saber quién entra y sale del perímetro por razones de seguridad. | Corto Plazo | Positivo |
| Constancia pretende avanzar en las principales métricas de eficiencia operacional. | Mediante la utilización de tecnologías de vanguardia, como la clasificación del mineral basada en sensores y las mejoras de los diagramas de flujo de las moliendas, Hudbay Constancia pretende avanzar en las principales métricas de eficiencia. | Mediano plazo | Positivo |

Nota. Adaptado del levantamiento de información y entrevistas.

Aspecto Ecológico – Ambiental

Lo más resaltante dentro del análisis Ecológico Ambiental son los siguientes factores:

- Escasez de recursos hídricos de la región: La flexibilidad operativa puede verse limitada por la disponibilidad de recursos hídricos de la región.
- Constancia se adhiere a las leyes y reglamentos locales, y mantener un sistema de gestión ambiental según la norma ISO 14001: Todas las operaciones de Hudbay y los sitios de exploración están obligados a minimizar los efectos

negativos sobre el medio ambiente, se adhieren a las leyes y reglamentos locales, y mantener (o lograr dentro de dos años desde el inicio de la producción) un sistema de gestión ambiental que está certificado según la norma internacional ISO 14001.

- Impacto en la biodiversidad durante toda la vida útil de la mina: Hudbay
Constancia es consciente de que las operaciones que lleva a cabo pueden tener un impacto en la biodiversidad, y las partes interesadas tienen derecho a esperar que la empresa preserve la biodiversidad y conserve ecosistemas sanos durante toda la vida útil de la mina.
- Constancia establece anualmente indicadores clave de rendimiento que incluyen calidad medioambiental y gestión del medio ambiente: La unidad de negocio de Perú establece anualmente indicadores clave de rendimiento (KPI) para tres categorías: sostenibilidad, calidad medioambiental y gestión del medio ambiente. En 2021, la unidad de negocio superó no sólo su objetivo global, sino también sus objetivos para cada subindicador.
- Constancia cumplió plenamente todas las normas de calidad medioambiental en 2021, según la verificación del OEFA: El yacimiento cumplió plenamente todas las normas de calidad medioambiental en 2021, según la verificación del OEFA. Además, llevó a cabo una supervisión adicional en el yacimiento satélite de Pampacancha, donde tampoco observó problemas de cumplimiento. Teniendo en cuenta el clima político y social de Perú y la creciente atención que las partes interesadas prestan al comportamiento medioambiental de la empresa, este resultado es especialmente significativo.

Tabla 12*Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Ecológico-Ambiental*

| Factores Ecológico-Ambiental | Detalle | Plazo | Impacto |
|--|---|---------------|--------------|
| Escasez de recursos hídricos de la región. | La flexibilidad operativa puede verse limitada por la disponibilidad de recursos hídricos de la región. | Mediano plazo | Muy Negativo |
| Se tienen en marcha planes de gestión medioambiental. | La empresa ha puesto en marcha planes de gestión medioambiental y comprueba continuamente la calidad del aire, el agua y el suelo. | Mediano plazo | Positivo |
| Constancia implementa planes de acción para prevenir, reducir o controlar los efectos potencialmente perjudiciales. | Hudbay Constancia utiliza estudios de referencia sobre el impacto medioambiental y social para evaluar los riesgos, desarrollar planes de acción para prevenir, reducir o controlar los efectos potencialmente perjudiciales, implantar sistemas adecuados de seguimiento y gestión, y llevar a cabo de forma responsable el cierre de la mina y la recuperación del terreno. | Largo Plazo | Positivo |
| Todas las operaciones de Hudbay deben contar con la certificación ISO 45001. | Todas las operaciones de Hudbay deben contar con la certificación ISO 45001, una norma reconocida internacionalmente para sistemas de gestión de la salud y la seguridad en el trabajo, y la certificación debe mantenerse mientras dure la operación. | Mediano plazo | Positivo |
| Constancia se adhiere a las leyes y reglamentos locales, y mantiene un sistema de gestión ambiental según la norma ISO 14001. | Todas las operaciones de Hudbay y los sitios de exploración están obligados a minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente, se adhieren a las leyes y reglamentos locales, y mantener (o lograr dentro de dos años desde el inicio de la producción) un sistema de gestión ambiental que está certificado según la norma internacional ISO 14001. | Largo Plazo | Muy Positivo |
| Impacto en la biodiversidad durante toda la vida útil de la mina. | Hudbay Constancia es consciente de que las operaciones que lleva a cabo pueden tener un impacto en la biodiversidad, y las partes interesadas tienen derecho a esperar que la empresa preserve la biodiversidad y conserve ecosistemas sanos durante toda la vida útil de la mina. | Largo Plazo | Muy Positivo |
| Constancia establece anualmente indicadores clave de rendimiento que incluyen calidad medioambiental y gestión del medio ambiente. | La unidad de negocio de Perú establece anualmente indicadores clave de rendimiento (KPI) para tres categorías: sostenibilidad, calidad medioambiental y gestión del medio ambiente. En 2021, la unidad de negocio superó no sólo su objetivo global, sino también sus objetivos para cada subindicador. | Corto Plazo | Muy Positivo |

| Factores Ecológico-Ambiental | Detalle | Plazo | Impacto |
|---|--|---------------|--------------|
| OEFA del Ministerio de Medio Ambiente verifica el cumplimiento de Constancia cada año | Las inspecciones y auditorías son dos indicadores clave del rendimiento de la gestión medioambiental. El organismo de vigilancia medioambiental (OEFA) del Ministerio de Medio Ambiente pasa unas semanas en Constancia cada año para comprobar el cumplimiento de todos los requisitos y normas medioambientales. | Corto Plazo | Positivo |
| Constancia cumplió plenamente todas las normas de calidad medioambiental en 2021, según la verificación del OEFA. | El yacimiento cumplió plenamente todas las normas de calidad medioambiental en 2021, según la verificación del OEFA. Además, llevó a cabo una supervisión adicional en el yacimiento satélite de Pampacancha, donde tampoco observó problemas de cumplimiento. Teniendo en cuenta el clima político y social de Perú y la creciente atención que las partes interesadas prestan al comportamiento medioambiental de la empresa, este resultado es especialmente significativo. | Corto Plazo | Muy Positivo |
| Constancia recibió dos estrellas del Ministerio de Medio Ambiente en 2021 por informar y certificar el carbono de Constancia para los años 2019 y 2020. | Para disponer de una forma estandarizada de medir, informar y verificar las emisiones de GEI, el Ministerio de Medio Ambiente de Perú ha creado una herramienta de Huella de Carbono y un programa de certificación. La herramienta incluye cuatro niveles de reconocimiento, cada uno representado por una clasificación por estrellas: una estrella por estimar las emisiones de GEI, dos estrellas por verificar formalmente las estimaciones de GEI, tres estrellas por poner en práctica un plan de acción de mitigación que reduzcan las emisiones, y cuatro estrellas por lograr emisiones netas cero a través de créditos de carbono de proyectos nacionales. Hudbay recibió dos estrellas del Ministerio de Medio Ambiente en 2021 por informar y certificar el carbono de Constancia para los años 2019 y 2020. La consultora AENOR realizó la verificación. | Mediano plazo | Positivo |
| El Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL) impone restricciones a la eliminación de residuos de cargas a granel que hayan sido clasificadas como "nocivas para el medio marino" (HME) en virtud de la enmienda al Anexo V del convenio MARPOL. La OMI especifica los criterios de clasificación de peligrosidad de las cargas a granel. Para determinar la clasificación MARPOL de los concentrados de cobre producidos por Constancia, Hudbay contrató al Instituto Europeo del Cobre (IEC). Todos los concentrados de cobre de Hudbay no son HME, según este estudio y otros. | Todos los concentrados de cobre de Hudbay no son HME, según este estudio. | Corto Plazo | Positivo |

Nota. Adaptado del levantamiento de información y entrevistas.

Aspecto Legal

Lo más resaltante dentro del análisis Legal son los siguientes factores:

- Las leyes y reglamentos peruanos son complejos y se actualizan con frecuencia: Las leyes y reglamentos peruanos pueden ser complicados y se actualizan con frecuencia. Hudbay Constancia está obligada a cumplir las leyes laborales, medioambientales y de seguridad minera.

- Constancia debe cumplir numerosas leyes y reglamentos y sus riesgos y oportunidades van más allá de los factores financieros y operativos: Hudbay debe cumplir numerosas leyes y reglamentos porque explora y opera en muchos países diferentes. El alcance y la complejidad de sus riesgos y oportunidades van más allá de los factores financieros y operativos e incluyen cuestiones geopolíticas, sociales y medioambientales.
- En Constancia todos los empleados reciben formación sobre el Código de Conducta Empresarial: Todos los empleados con direcciones de correo electrónico de Hudbay y los miembros de su consejo de administración reciben formación sobre el Código de Conducta Empresarial de la empresa y las políticas relacionadas como parte del programa de cumplimiento, gestionado por Hudbay Constancia.
- En Constancia todos los empleados reciben formación sobre la Ley de Prácticas Corruptas: Como parte de la formación sobre el Código de Conducta Empresarial, todos los empleados reciben instrucción sobre la Ley Canadiense de Corrupción de funcionarios Públicos Extranjeros (CFPOA) y la Ley de Prácticas Corruptas en el Extranjero de EE. UU. (FCPA). Esta formación se adapta a determinados grupos o funciones según lo considere oportuno la empresa.
- En Constancia se ofrece formación sobre cumplimiento anticorrupción: En Hudbay Perú se ofrece formación específica sobre cumplimiento anticorrupción, centrada en los temas más importantes para la región.

Tabla 13*Análisis PESTEL para Mina Constancia – Aspecto Legal*

| Factores Legales | Detalle | Plazo | Impacto |
|--|--|---------------|----------|
| Las leyes y reglamentos peruanos son complejos y se actualizan con frecuencia. | Las leyes y reglamentos peruanos pueden ser complicados y se actualizan con frecuencia. Hudbay Constancia está obligada a cumplir las leyes laborales, medioambientales y de seguridad minera. | Mediano plazo | Negativo |
| Constancia debe cumplir numerosas leyes y reglamentos y sus riesgos y oportunidades van más allá de los factores financieros y operativos. | Hudbay debe cumplir numerosas leyes y reglamentos porque explora y opera en muchos países diferentes. El alcance y la complejidad de sus riesgos y oportunidades van más allá de los factores financieros y operativos e incluyen cuestiones geopolíticas, sociales y medioambientales. | Mediano plazo | Negativo |
| En Constancia todos los empleados reciben formación sobre el Código de Conducta Empresarial. | Todos los empleados con direcciones de correo electrónico de Hudbay y los miembros de su consejo de administración reciben formación sobre el Código de Conducta Empresarial de la empresa y las políticas relacionadas como parte del programa de cumplimiento, gestionado por Hudbay Constancia. | Corto Plazo | Positivo |
| En Constancia todos los empleados reciben formación sobre la Ley de Prácticas Corruptas. | Como parte de la formación sobre el Código de Conducta Empresarial, todos los empleados reciben instrucción sobre la Ley Canadiense de Corrupción de funcionarios Públicos Extranjeros (CFPOA) y la Ley de Prácticas Corruptas en el Extranjero de EE.UU. (FCPA). Esta formación se adapta a determinados grupos o funciones según lo considere oportuno la empresa. | Corto Plazo | Positivo |
| En Constancia se ofrece formación sobre cumplimiento anticorrupción. | En Hudbay Perú se ofrece formación específica sobre cumplimiento anticorrupción, centrada en los temas más importantes para la región. | Corto Plazo | Positivo |
| Los riesgos de soborno y corrupción siguen siendo más frecuentes en Perú. | La Compañía determina y evalúa cada año los riesgos de soborno y corrupción que se aplican a sus unidades de negocio y oficina corporativa. Debido a los desafíos para garantizar el cumplimiento de los contratistas y agentes (y tal vez de los empleados a medida que la Compañía se expande), así como a la aplicación más estricta de las leyes anticorrupción, estos riesgos siguen siendo más frecuentes en Perú. | Mediano plazo | Negativo |
| Doce incidentes fueron reportados al servicio de denuncia de prácticas ilegales de terceros hasta 2021. | Doce incidentes fueron reportados al servicio de denuncia de prácticas ilegales de terceros hasta 2021, y cada uno fue examinado, resuelto y, si fue necesario, se tomaron medidas correctivas. Ninguno de estos incidentes implicó acusaciones graves de fraude o violaciones del código, pero hubo algunas denuncias sobre prácticas comerciales poco éticas o comportamientos inapropiados que violaron las políticas y procedimientos pertinentes. | Corto Plazo | Negativo |

Nota. Adaptado del levantamiento de información y entrevistas.

El siguiente artefacto es el análisis FODA (SWOT) de la unidad minera Constancia que ha sido desarrollado en base a las respuestas dadas por los *key-user* de negocio de la mina en las entrevistas con las áreas de Planeamiento, Control Mina, Mantenimiento Mina y

Geología. El análisis se presenta a continuación en dos formatos, el primero es un formato tradicional usado en la planificación estratégica de las organizaciones y el segundo es un formato sugerido por la metodología *Roadmapping* de Cambridge para un análisis más detallado donde se entrelazan fortalezas y debilidades con oportunidades y amenazas para el negocio. El análisis FODA sirve como input fundamental para el diseño del *Roadmap* ya que plantea un análisis tanto interno como externo y evalúa el presente y el futuro de la organización de tal forma que el *Roadmap* puede trazar el camino a recorrer tanto a corto, mediano y largo plazo para el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la mina Constancia.

Matriz FODA para Mina Constancia

Lo más resaltante en las fortalezas de la unidad minera Constancia son la gran base de reservas minerales y el equipo de profesionales abiertos a la implementación de tecnología que pueda mejorar los procesos de explotación que ya que al tener reservas aún por explotar en el nuevo tajo de Pampacancha se asegura el alargamiento de la vida útil de la operación así como mayores utilidades por lo que es necesario poder planificar la forma de optimizar recursos con el objetivo de incrementar las utilidades y la implementación de tecnología se vuelve crucial para éste objetivo y debido a que los profesionales están abiertos a la implementación tecnológica será más sencillo lograr que los proyectos tengan éxito . Lo más resaltante en las debilidades de mina Constancia es son altos costos operativos asociados al proceso de explotación y los datos no certeros generados en el proceso de explotación debido a que la explotación depende en gran medida los insumos utilizados para la explotación y si éstos incrementan su valor la utilidad es menor y, además, si los datos asociados al proceso de explotación no son los adecuados dificulta la toma de decisiones tanto tácticas como estratégicas. Lo más resaltante en las oportunidades de mina Constancia es la optimización en

el consumo de insumos utilizados en el proceso de explotación y la integración y democratización de los datos de sus diversos sistemas debido a que hay una gran oportunidad de incrementar la utilidad al disminuir el consumo de insumos para explotación cuyo valor monetario es bastante elevado y mediante los datos se pueden establecer estrategias que ayuden a una mejor toma de decisiones estratégicas. Finalmente, lo más resaltante en las amenazas para la mina Constancia es el incremento en los costos de combustible, repuestos y explosivos que son fundamentales para el día a día en la explotación del yacimiento (ver Figura 41 y Figura 42).

Figura 41

FODA para Mina Constancia – Proceso de Explotación

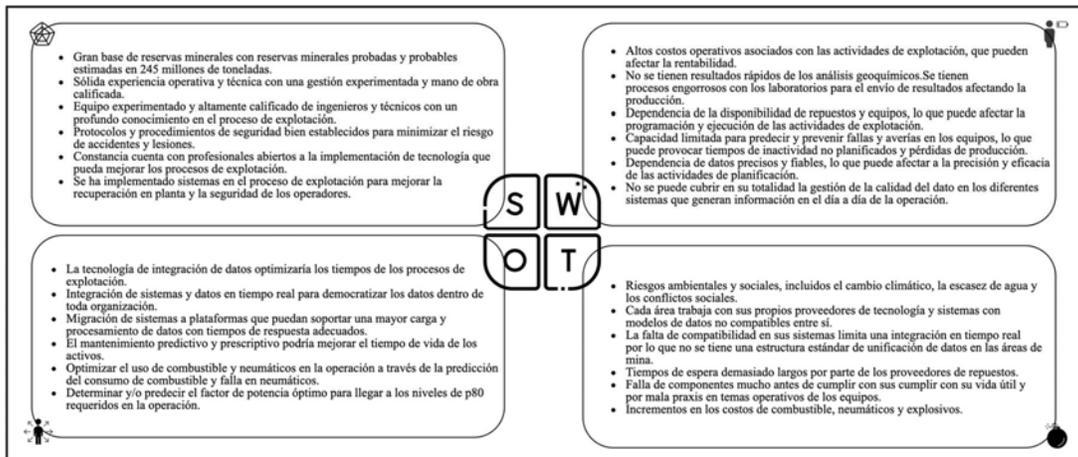
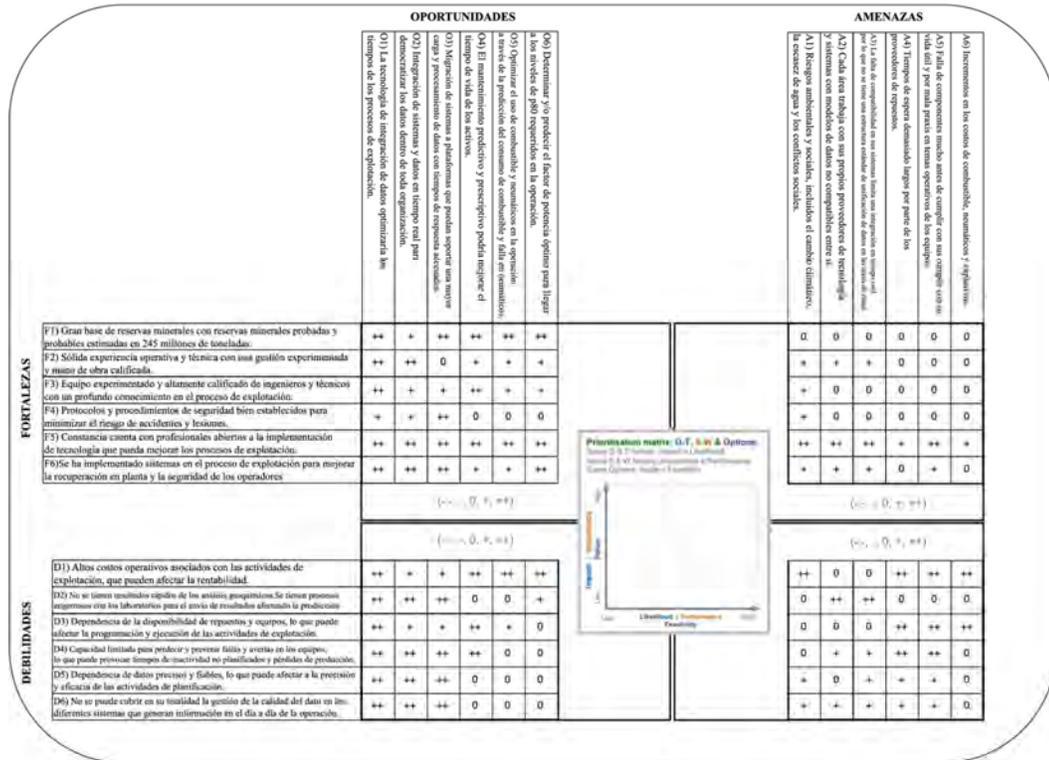


Figura 42

FODA para Mina Constancia en Formato Roadmapping Cambridge – Proceso de Explotación.



Nota. Adaptado de “Cambridge Roadmapping” por R. Phaal, 2022 (<https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>).

El formato FODA de Cambridge Roadmapping permite relacionar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para la organización. En los siguientes párrafos se detalla lo más relevante en cada uno de estos cruces:

Fortalezas versus oportunidades, la gran base de reservas minerales como el nuevo tajo de Pampacancha se puede aprovechar mejor si se implementa tecnología como integración de sistemas y datos en tiempo real para una mejor planificación y uso de recursos en la estrategia de explotación, así como el uso de analítica predictiva y prescriptiva aplicada en la optimización de recursos.

Fortalezas versus amenazas, los profesionales mineros abiertos a la implementación de nuevas tecnologías para mejorar el proceso de explotación pueden ayudar a una rápida y eficaz implementación de herramientas que contrarresten a los incrementos en los costos de insumos operativos y a una mejor gestión de los activos relacionados a repuestos para maquinaria.

Debilidades versus oportunidades, los altos costos operativos, la alta demora para la transferencia de datos entre las áreas de negocio y la dependencia de proveedores para la obtención de repuestos y equipos puede convertirse en oportunidad con la implementación de un sistema integrado de datos y un gobierno adecuado de datos en la organización que permitan implementar proyectos de analítica avanzada como la predicción del factor de potencia para la voladura y la predicción de la falla de componentes para una adecuada planificación de la compra de repuestos.

Debilidades versus amenazas, la alta demora en la transferencia de datos entre áreas operativas, la falla de activos mecánicos antes de cumplido su tiempo de vida, los datos no precisos generados por actividades manuales en las áreas y los altos costos operativos puede verse aún más comprometido con los incrementos en los costos operativos y la escasez de repuestos o alta demora en la consecución de estos además de la falta de gobierno de los sistemas y datos en las áreas de negocio.

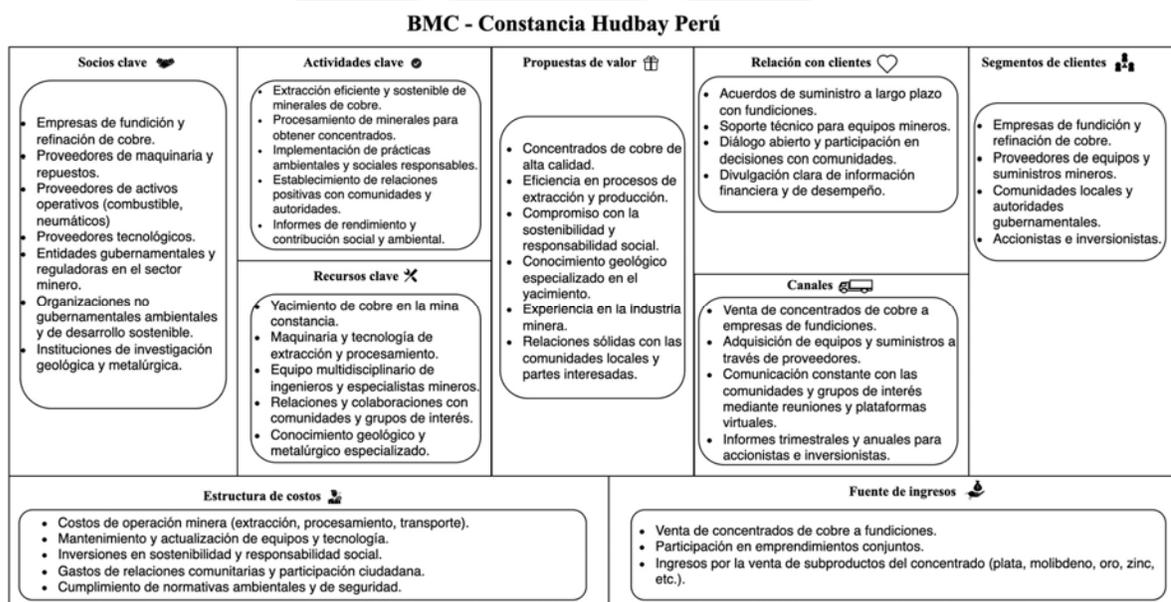
El siguiente artefacto es el análisis Business Model Canvas que permite tener una visión clara del modelo de negocio de la mina Constancia a través de sus nueve apartados o bloques. El análisis Business Model Canvas sirve también como input para el diseño del *Roadmap* ya que ayuda a identificar las necesidades de los clientes del negocio y las necesidades a nivel global definiendo como llega el producto y la propuesta de valor a los clientes finales.

Business Model Canvas para Mina Constancia

A continuación, se presenta el Business Model Canvas (BMC) desarrollado para el proceso de explotación (ver Figura 43). Lo que se puede resaltar a nivel de segmento de clientes son las empresas de fundición y refinación de cobre que son los principales compradores del concentrado, a nivel de relación con los clientes son los acuerdos de suministro a largo plazo que permite generar estrategias de explotación acordes a la demanda, a nivel de canales se puede resaltar la comunicación constante con las comunidades y grupos de interés, a nivel de propuestas de valor la más importante es el concentrado de cobre de alta calidad para los clientes y la eficiencia en los procesos de extracción y producción, a nivel de actividades clave la extracción eficiente y sostenible del mineral, a nivel recursos clave la maquinaria y tecnología de extracción procesamiento del mineral, a nivel de socios clave son los proveedores de maquinaria y repuestos y los proveedores de activos operativos como combustible y neumáticos, a nivel estructura de costos los más destacados son los costos de operación y los de mantenimiento de equipos y tecnología.

Figura 43

Business Model Canvas para el Proceso de Explotación



A continuación, se muestra un cuadro resumen de los artefactos desarrollados como PESTEL (ver Tabla 14), FODA (ver Tabla 15) y BMC (ver Tabla 16) donde se detalla de qué manera los factores analizados en cada uno de estos tienen una implicancia directa con el proceso de explotación que es materia de análisis en la presente investigación para mina Constancia. A partir de este cuadro resumen se inicia la generación de las necesidades de negocio y Business Drivers de la dimensión superior del diagrama del diseño de *Roadmap* tecnológico.



Tabla 14*Cuadro Resumen del Artefacto PESTEL*

| Factor directamente relacionado al proceso de explotación | Herramienta/Artefacto de origen | Implicancia en el proceso de explotación (Business Drivers) |
|---|---------------------------------|---|
| Las recientes fluctuaciones de los precios de las materias primas podrían influir en la rentabilidad de la explotación minera. | PESTEL/BMC | Optimizar el uso de combustible, explosivos y neumáticos en la operación. |
| Los disturbios o la inestabilidad política en la zona y el sur del país donde se encuentra la mina podrían suponer riesgos para las operaciones y el personal. | PESTEL | Generar un plan de acción operativo en caso de disturbios dentro del área de explotación. |
| A medida que las leyes más altas de Pampacancha entran en el plan minero, Constancia en 2021 refleja un aumento de la producción de cobre y oro entre 2022 y 2025. Las reservas de mayor ley de la ampliación del tajo Constancia Norte, que prolongaron el perfil de mayor ley hasta 2028, también se incluyen en el plan. Como resultado, los contenidos de cobre y oro de las reservas aumentaron aproximadamente un 11% y un 12%. | PESTEL | Cumplir con los objetivos anuales de la empresa con respecto a las leyes de mineral. Además, se requiere tener un control en tiempo real de todo el proceso de explotación. |
| La licencia social para explotar la mina puede verse afectada por las actitudes de la comunidad local hacia la minería. | PESTEL | Planificación preventiva de las estrategias de minado para el cumplimiento de los indicadores planificados y exigidos. |
| Hudbay Constancia tiene la iniciativa de aumentar la productividad y minimizar los costes utilizando tecnología punta. | PESTEL | Integrar los sistemas y datos en tiempo real para asegurar la certeza y/o una alta probabilidad de enviar el mineral al destino correcto en un tiempo oportuno. |
| Hudbay Constancia es consciente de que las operaciones que lleva a cabo pueden tener un impacto en la biodiversidad, y las partes interesadas tienen derecho a esperar que la empresa preserve la biodiversidad y conserve ecosistemas sanos durante toda la vida útil de la mina. | PESTEL | Se necesita tener la información generada por el proceso de explotación en un repositorio centralizado que ayude a generar estrategias que reduzcan el impacto en la biodiversidad. |
| Las leyes y reglamentos peruanos pueden ser complicados y se actualizan con frecuencia. Hudbay Constancia está obligada a cumplir las leyes laborales, medioambientales y de seguridad minera. | PESTEL | Mejorar la eficiencia y seguridad de las actividades del proceso de explotación y asegurar que el proceso de explotación tenga cero incidentes de seguridad ocupacional. |

Tabla 15*Cuadro Resumen del Artefacto FODA*

| Factor directamente relacionado al proceso de explotación | Herramienta/Artefacto de origen | Implicancia en el proceso de explotación (Business Drivers) |
|---|---------------------------------|---|
| Constancia cuenta con profesionales abiertos a la implementación de tecnología que pueda mejorar los procesos de explotación. | FODA/BMC | Implementación de la cultura de innovación y mejora continua en todos los niveles de la organización. |
| La tecnología de integración de datos optimizaría los tiempos de los procesos de explotación. | FODA | Se requiere tomar decisiones como una organización " <i>Data-Driven</i> ". |
| El mantenimiento predictivo y prescriptivo podría mejorar el tiempo de vida de los activos. | FODA | Anticipar las fallas de componentes importantes en los equipos mediante analítica de datos. |
| Optimizar el uso de combustible y neumáticos en la operación a través de la predicción del consumo de combustible y falla en neumáticos. | FODA | Se necesitan aplicaciones de tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático para optimizar el proceso de carguío y acarreo. |
| Determinar y/o predecir el factor de potencia óptimo para llegar a los niveles de p80 requeridos en la operación. | FODA | Determinar y/o predecir el factor de potencia óptimo para llegar a los niveles de p80 requeridos en la operación. |
| Altos costos operativos asociados con las actividades de explotación, que pueden afectar la rentabilidad. | FODA/BMC | Optimizar el uso de combustible, explosivos y neumáticos en la operación. |
| Capacidad limitada para predecir y prevenir fallas y averías en los equipos, lo que puede provocar tiempos de inactividad no planificados y pérdidas de producción. | FODA | Anticipar las fallas de componentes importantes en los equipos mediante analítica de datos y evitar que los repuestos fallen antes de cumplir con su vida útil. |
| Dependencia de datos precisos y fiables, lo que puede afectar a la precisión y eficacia de las actividades de planificación. | FODA | Se necesita democratizar los datos dentro de toda organización. Se requiere una reportabilidad integrada de todo el proceso de explotación con información de todas las áreas involucradas. |
| Cada área trabaja con sus propios proveedores de tecnología y sistemas con modelos de datos no compatibles entre sí. | FODA | Se necesita un gobierno y gestión de los datos generados en el proceso de explotación. Se necesita una estructura estándar de unificación de datos en todas las áreas de mina. |
| Falla de componentes mucho antes de cumplir con sus cumplir con su vida útil y por mala praxis en temas operativos de los equipos. | FODA | Se deben reducir los tiempos de espera demasiado largos por parte de los proveedores de repuestos. |

Tabla 16*Cuadro Resumen del Artefacto BMC*

| Factor directamente relacionado al proceso de explotación | Herramienta/Artefacto de origen | Implicancia en el proceso de explotación (Business Drivers) |
|---|---------------------------------|---|
| Constancia cuenta con profesionales abiertos a la implementación de tecnología que pueda mejorar los procesos de explotación. | FODA/BMC | Implementación de la cultura de innovación y mejora continua en todos los niveles de la organización. |
| Producción de Concentrados de cobre de alta calidad. | BMC | Se requiere capturar y monitorear datos operacionales en tiempo real para generar tendencias y/o patrones que ayuden en la toma de decisiones operativas. Se requieren modelos de analítica que optimicen la recuperación de mineral en planta. |
| Eficiencia en procesos de extracción y producción y compromiso con la sostenibilidad y responsabilidad social. | BMC | Realizar Simulaciones de escenarios de explotación para optimizar los recursos empleados. Cumplir con el <i>throuput</i> del molino y con los porcentajes de finos que la planta demanda. |

El segundo objetivo de la investigación es el diseño del *Roadmap* tecnológico para el proceso de explotación en mina Constancia. Este diseño tiene como inputs los artefactos vistos en el primer objetivo a los que se añadirán dos artefactos complementarios que brindan un mejor panorama de la relación entre procesos, tecnología, sistemas y objetivos de la mina Constancia.

A continuación, se desarrollarán dos artefactos (*Linking Grids & Innovation Matrix*) para luego presentar el diseño de *Roadmap* para la mina Constancia. Los artefactos mencionados son también sugeridos por la metodología de *Roadmapping* de Cambridge y se ha utilizado sus plantillas para su generación.

Linking Grids para el Proceso de Explotación

La herramienta Linking Grids por lo general es poco conocida, sin embargo, es bastante sencilla, potente y flexible, brinda una gran capacidad analítica al mezclar información cuantitativa y cualitativa resultando bastante útil para trazar y analizar relaciones (sinergias). La herramienta se relaciona con el *Roadmap* al vincular tecnologías, productos y objetivos organizacionales coincidiendo con las tres capas de del *Roadmap* que son: Por qué, qué y cómo”. El tiempo no es una dimensión visible en los Linking Grids por lo que se puede ampliar incluyendo tecnologías, productos y objetivos potenciales hacia futuro como se tiene a continuación en un análisis por cinco principales áreas que soportan el proceso de explotación en mina Constanca.

Linking Grids para el Área de Geología

Objetivos:

- O1: Realizar la correcta identificación de los materiales a nivel metalúrgico y geoquímico para el beneficio en la planta de procesos.
- O2: Definir de forma precisa la geoquímica de los materiales que se mueven en la explotación.
- O3: Enviar a planeamiento en tiempos oportunos las características geoquímicas de los materiales para un correcto planeamiento, explotación y manejo de desmonte según la normativa nacional.
- O4: Mejorar la precisión (Información confiable) de los modelos a corto, mediano y largo plazo.
- O5: Mejorar la recuperación en planta.

Sistemas:

- S1: MineStones.
- S2: DataShed.

- S3: MinePlan Torque.
- S4: MinePlan Planner.
- S5: DB Crusher.
- Sn1 (Propuesto): Sistema de reportabilidad integrado en tiempo real.
- Sn2 (Propuesto): Sistema IoT integrado.
- Sn2 (Propuesto): Sistema de Medición del desplazamiento de la voladura.

Procesos:

- P1: Aseguramiento de la calidad del material enviado a planta.
- P2: Análisis geoquímicos e interpretación geológica.
- P3: Definición de los modelos geológicos de corto plazo.
- P4: Registro y Muestreo geológico, Análisis geoquímico y custodia de muestras.
- Pn1 (Propuesto): Reporte de proceso con información de todas las áreas de explotación mina.
- Pn2 (Propuesto): Control en tiempo real de todo el proceso de explotación.

Tecnología:

- T1: Base de datos relacionales.
- T2: Sistemas cliente-servidor.
- T3: Modelado de topografía y figuras 3D.
- Tn1: Datalake House.
- Tn2 (Propuesto): Bases de datos de series temporales.
- Tn3 (Propuesto): Modelos analíticos de predicción de desplazamientos y leyes.
- Tn4 (Propuesto): Sensores IoT en el proceso de explotación.

Figura 44

Linking Grids para el Área de Geología

| | | | | | | | | Productos/Sistemas | | | | | | | | |
|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|---|
| | | | | | | | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | Sn1 | Sn2 | Sn3 | |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; text-align: center;">LINKING GRIDS - ÁREA DE GEOLOGÍA</div> | | | | | | | | O1 | X | X | X | X | | X | X | |
| | | | | | | | | O2 | X | | X | | | | | X |
| | | | | | | | | O3 | | | X | X | | X | | |
| | | | | | | | | O4 | X | X | | | | X | X | X |
| | | | | | | | | O5 | | X | | | X | X | X | X |
| | | | | | | | | Procesos | | | | | | | | |
| Tecnologías | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T1 | T2 | T3 | Tn1 | Tn2 | Tn3 | Tn4 | | | | | | | | | | |
| X | X | X | X | | X | | PR1 | | X | X | | X | X | X | | |
| X | X | | X | | X | X | PR2 | X | X | | | X | X | | | |
| X | X | X | | | X | | PR3 | X | | X | | X | X | X | | |
| X | X | | X | | | X | PR4 | X | X | | | | X | | | |
| X | | | X | X | | X | Pn1 | | X | | | X | X | | | |
| X | | | X | X | | X | Pn2 | | | | X | X | X | X | | |

El diagrama presenta cómo interactúan los principales procesos del área de Geología con relación a los sistemas y tecnologías utilizados además de ver de qué manera estos sistemas y productos soportan los objetivos del área con relación al proceso de explotación. Adicionalmente se han agregado procesos nuevos tal como el control en tiempo real del proceso de explotación y el reporte integrado a las áreas interesadas en base a nueva tecnología como sensores IoT y modelos analíticos, además de sistemas como el de reportabilidad integrado en tiempo real y el sistema medición del desplazamiento de la voladura que fueron sugeridos en las entrevistas con los dueños de proceso del área.

Linking Grids para el Área de Mantenimiento

Objetivos:

- O1: Entregar una disponibilidad mecánica de equipos de acuerdo con lo que operaciones mina requiere para producir lo planificado.
- O2: Planificar de forma estratégica los mantenimientos de equipos para ofrecer la disponibilidad mecánica requerida para la explotación.
- O3: Optimizar el presupuesto de recursos para asegurar la disponibilidad mecánica requerida.
- O4: Planificar de forma estratégica la compra de repuestos.
- O5: Anticipar las fallas de componentes importantes en los equipos.

Sistemas:

- S1: AMT.
- S2: MEMS.
- S3: H4M.
- S4: Caída de “Gets” en cuchara de palas.
- S5: Inclínómetros y telemetría de palas.
- Sn1 (Propuesto): Sistema de predicción de falla de componentes.
- Sn2 (Propuesto): Plataforma integrada de datos para reportabilidad.

Procesos:

- P1: Planeamiento de trabajos de mantenimiento.
- P2: Mantenimientos mayores (Programados).
- P3: Mantenimientos correctivos.
- P4: Requerimiento de repuestos.

- Pn1 (Propuesto): Reportar en tiempo real el estado mecánico de los equipos a las áreas interesadas.
- Pn2 (Propuesto): Planificar de forma anticipada el cambio de repuestos y la compra con los proveedores.

Tecnología:

- T1: Base de datos relacionales.
- T2: Sistemas cliente-servidor.
- T3: Sensores de telemetría IoT de equipos.
- T4: Bases de datos de series temporales.
- Tn1 (Propuesto): Datalake House.
- Tn2 (Propuesto): Modelos analíticos de predicción de fallas de componentes.

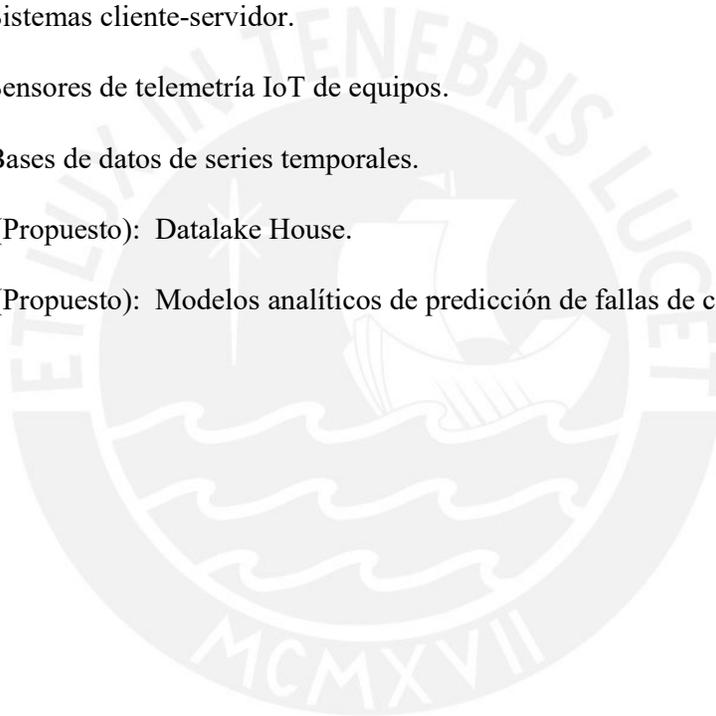
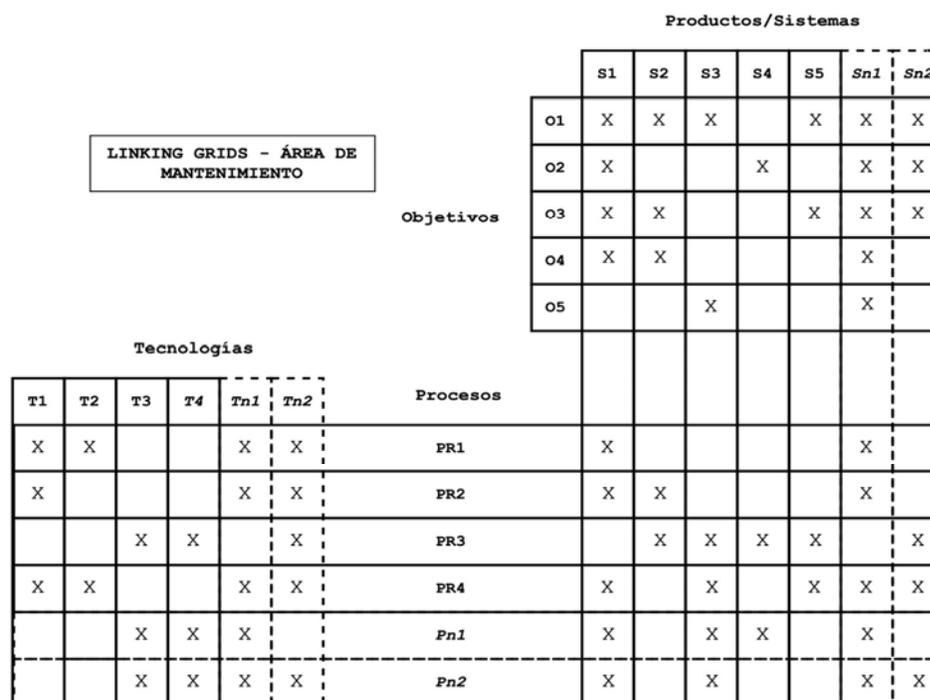


Figura 45*Linking Grids para el Área de Mantenimiento*

El diagrama de Linking Grids para el área de Mantenimiento Mina muestra cómo interactúan los principales procesos del área con relación a los sistemas y tecnologías utilizados además de ver de qué manera estos sistemas y productos soportan los objetivos del área con relación al proceso de explotación. Adicionalmente se han agregado procesos nuevos tal como el reportar en tiempo real el estado mecánico de los equipos a las áreas de interés y la planificación anticipada de la compra de repuestos a los proveedores en base a nueva tecnología como una plataforma Datalake House y modelos analíticos de predicción falla de componentes, además de sistemas como el de predicción de falla de componentes y la plataforma integrada de datos para reportabilidad que fueron sugeridos en las entrevistas con los dueños de proceso del área.

Linking Grids para el Área de Control Mina

Objetivos:

- O1: Controlar y optimizar los indicadores de producción.
- O2: Gestionar y administrar los costos CAPEX y OPEX de la explotación
- O3: Monitorear las operaciones de explotación en tiempo real para poder detectar errores, modificaciones en los planes o posibles oportunidades de mejora que permitan que la producción y la productividad sean iguales o superiores a las previstas.
- O4: Garantizar la integridad y seguridad de los operarios a través de los sistemas de seguridad implementados en la operación.
- O5: Generar datos útiles que sirven de input para las áreas de Geología, Planeamiento, Mantenimiento y Planta, entre otros.

Sistemas:

- S1: C4M (Sistema de gestión de flotas).
- S2: Ore *Sorting* (Sistema de detección de leyes en tiempo real).
- S3: Sistema de control de fatiga.
- S4: PI System – *Vision*.
- S5: R4M (Sistema de reportes para BI).
- Sn1 (Propuesto): Sistema de predicción de avance de minado y producción en tiempo real.
- Sn2 (Propuesto): Sistema integrado de datos para reportabilidad a las áreas interesadas.
- Sn3 (Propuesto): Asistente virtual para la gestión de flota gigante en el proceso de explotación.

Procesos:

- P1: Control de seguridad a través de herramientas tecnológicas.
- P2: Control y Optimización de la flota de carguío, acarreo y equipos auxiliares.
- P3: Control y seguimiento de la fatiga de los operadores de equipos mineros.

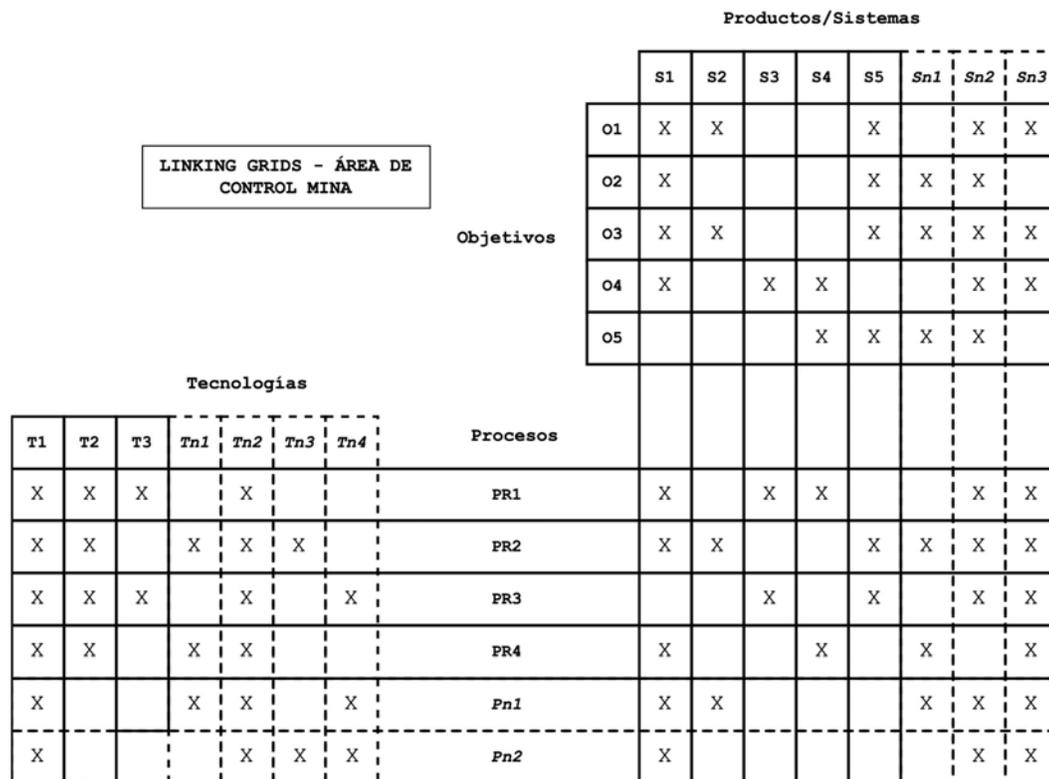
- P4: Control del avance de minado.
- Pn1 (Propuesto): Planificación preventiva de las estrategias de minado para el cumplimiento de los indicadores planificados y exigidos por la planta.
- Pn2 (Propuesto): Control de la flota con ayuda de un asistente virtual (IA) que pueda prever los posibles escenarios operativos para una adecuada y oportuna toma de decisiones.

Tecnología:

- T1: Base de datos relacionales.
- T2: Sistemas cliente-servidor.
- T3: Modelos de analítica de imágenes.
- Tn1 (Propuesto): Modelos analíticos operativos.
- Tn2 (Propuesto): Datalake House.
- Tn3 (Propuesto): IA + LLM (grandes modelos de lenguaje).
- Tn4 (Propuesto): Pipelines de integración de datos.

Figura 46

Linking Grids para el Área de Control Mina



El diagrama de Linking Grids para el área de Control Mina muestra cómo interactúan los principales procesos del área con relación a los sistemas y tecnologías utilizados además de ver de qué manera estos sistemas y productos soportan los objetivos del área con relación al proceso de explotación. Adicionalmente se han agregado procesos nuevos tal como la planificación preventiva de las estrategias de minado y el control de la flota con ayuda de un asistente virtual (IA) que pueda prever los posibles escenarios operativos en base a nueva tecnología como IA más grandes modelos de lenguaje y modelos analíticos operativos (ML), además de sistemas como el de predicción de avance de minado y producción en tiempo real y el asistente virtual para la gestión de flota gigante en el proceso de explotación que fueron sugeridos en las entrevistas con los dueños de proceso del área.

Linking Grids para el Área de Planeamiento

Objetivos:

- O1: Cumplir con los objetivos anuales de la empresa con respecto a las leyes de mineral.
- O2: Realizar seguimiento y cumplir con los planes semanal, mensual y anual.
- O3: Optimizar la explotación y procesamiento de mineral considerando escenarios futuros y los objetivos de la operación.
- O4: Optimizar los límites del tajo y realizar el cálculo de reservas.
- O5: Cumplir con el throuput del molino y con los porcentajes de finos que la planta demanda.

Sistemas:

- S1: *Minesight* Planner y Torque.
- S2: *Drill to mill*.
- S3: MinePlan Blast.
- S4: *Deswik*.
- S5: Sistema de drones para levantamiento topográfico.
- Sn1 (Propuesto): Sistema de gemelos digitales para simulación de escenarios.
- Sn2 (Propuesto): Sistema de generación de topografía administrado por IA.

Procesos:

- P1: Optimización del límite del pit y cálculo de reservas y balance de material.
- P2: Cumplimiento del porcentaje de finos requerido por planta.
- P3: Planeamiento de minado a corto, mediano y largo plazo.
- P4: Levantamiento y reconciliación de la topografía, diseños de mallas y perfiles de acarreo.

- Pn1 (Propuesto): Levantamiento y reconciliación de la topografía automatizada con IA.
- Pn2 (Propuesto): Simulación de escenarios de explotación con sistema de gemelos digitales.

Tecnología:

- T1: Base de datos relacionales.
- T2: Sistemas cliente-servidor.
- T3: Modelado de topografía y figuras 3D.
- Tn1 (Propuesto): Modelos analíticos de procesamiento de imágenes para topografía.
- Tn2 (Propuesto): Datalake House.
- Tn3 (Propuesto): Modelos analíticos para la determinación de planes de minado.
- Tn4 (Propuesto): Gemelos digitales.

Figura 47

Linking Grids para el Área de Planeamiento

| | | | | | | | | Productos/Sistemas | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|--|--------------------|----|----|-----|----------|-----|-----|---|-----|-----|
| | | | | | | | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | Sn1 | Sn2 | | | |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">LINKING GRIDS - ÁREA DE PLANEAMIENTO</div> <p>Objetivos</p> | | | | | | | | O1 | X | | X | X | | X | | | |
| | | | | | | | | O2 | X | X | | | X | X | X | | |
| | | | | | | | | O3 | | X | | X | | X | | | |
| | | | | | | | | O4 | X | | X | X | | X | X | | |
| | | | | | | | | O5 | | X | X | | | X | | | |
| | | | | | | | | Tecnologías | | | | Procesos | | | | | |
| | | | | | | | | T1 | T2 | T3 | Tn1 | | | | | Tn2 | Tn3 |
| X | X | X | X | | X | | | PR1 | X | | X | X | | X | X | | |
| X | | | | X | | X | | PR2 | | X | X | | | X | | | |
| X | X | X | | | X | X | | PR3 | X | | X | X | | X | X | | |
| | | X | X | | | X | | PR4 | X | | | X | X | | X | | |
| | | X | X | X | | X | | Pn1 | X | | | X | | X | | | |
| X | | | | X | X | X | | Pn2 | X | X | | | X | | X | | |

El diagrama de Linking Grids para el área de Planeamiento Mina muestra cómo interactúan los principales procesos del área con relación a los sistemas y tecnologías utilizados además de ver de qué manera estos sistemas y productos soportan los objetivos del área con relación al proceso de explotación. Adicionalmente se han agregado procesos nuevos tal como el levantamiento y reconciliación de la topografía automatizado con IA y la simulación de escenarios de explotación con sistema de gemelos digitales en base a nueva tecnología como modelos analíticos de procesamiento de imágenes para topografía y gemelos digitales, además de sistemas como el de drones para levantamiento topográfico y el sistema de gemelos digitales para simulación de escenarios que fueron sugeridos en las entrevistas con los dueños de proceso del área.

Linking Grids para el Área de Perforación y Voladura

Objetivos:

- O1: Dotar a la planta metalúrgica de una granulometría de mineral ideal para que el tiempo empleado en la trituración del mineral sea el menor posible.
- O2: Optimizar el consumo de energía en el proceso de voladura mediante un diseño de voladura adecuado.
- O3: Realizar una correcta planificación de la compra de consumibles para la óptima ejecución de actividades.
- O4: Ejecutar el plan de perforaciones de acuerdo con el diseño de mallas generado por el área de Planeamiento.
- O5: Ejecutar la cantidad de voladuras conforme al avance de minado planificado por el área de Planeamiento.

Sistemas:

- S1: Surface Manager (Dureza de la roca).
- S2: Tagnex (recorrido de mineral).

- S3: *O-Pitblast* (Voladura).
- S4: C4M – Perforación.
- Sn1 (Propuesto): Sistema de gestión de flotas para camiones fábrica.
- Sn2 (Propuesto): Sistema de determinación y predicción de factor potencia óptimo.

Procesos:

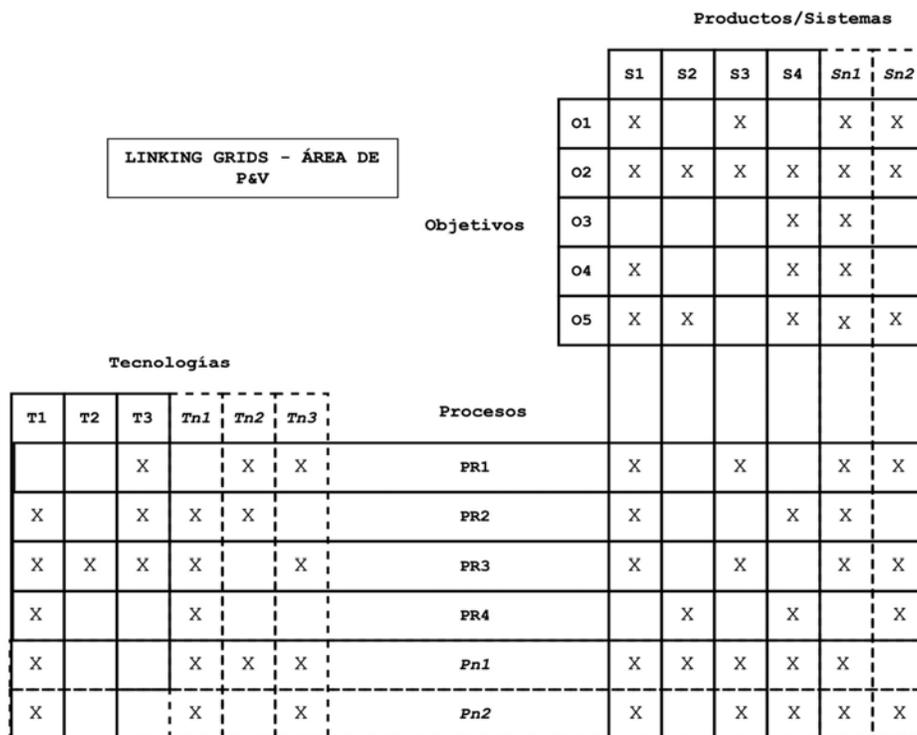
- P1: Determinación de los parámetros de voladura.
- P2: Determinación de la dureza de la roca.
- P3: Determinación del diseño (plano) de carga.
- P4: Determinación del tiempo de recorrido del mineral.
- Pn1 (Propuesto): Generación de reportes en tiempo real de la ejecución de voladuras.
- Pn2 (Propuesto): Determinación del factor de potencia óptimo asistido por IA.

Tecnología:

- T1: Base de datos relacionales.
- T2: Sistemas cliente-servidor.
- T3: Modelado de topografía y figuras 3D.
- Tn1 (Propuesto): Datalake House.
- Tn2 (Propuesto): Integración de telemetría con camiones fábrica.
- Tn3 (Propuesto): Modelos analíticos para la predicción del factor de potencia.

Figura 48

Linking Grids para el Área de Perforación y Voladura



El diagrama de Linking Grids para el área de Perforación y Voladura muestra cómo interactúan los principales procesos del área con relación a los sistemas y tecnologías utilizados además de ver de qué manera estos sistemas y productos soportan los objetivos del área con relación al proceso de explotación. Adicionalmente se han agregado procesos nuevos tal como la generación de reportes en tiempo real de la ejecución de voladuras y la determinación del factor de potencia óptimo asistido por IA en base a nueva tecnología como la integración de telemetría con camiones fábrica y modelos analíticos para la predicción del factor de potencia, además de sistemas como el de gestión de flotas para camiones fábrica y el sistema de determinación y predicción de factor potencia óptimo para simulación de escenarios que fueron sugeridos en las entrevistas con los dueños de proceso del área.

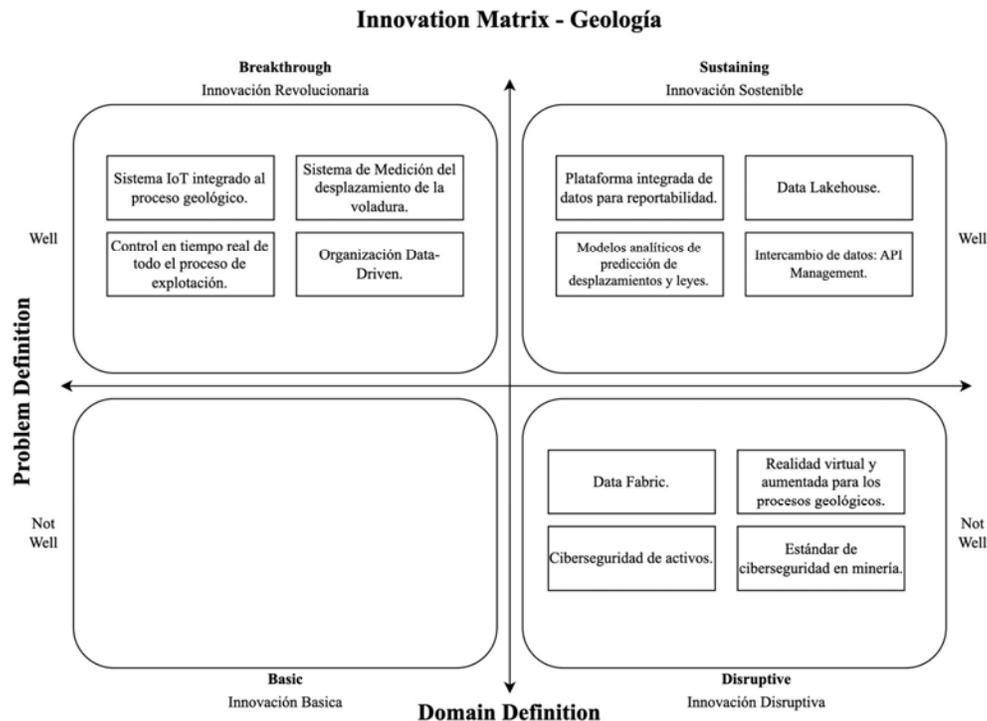
Matriz de Innovación para el Proceso de Explotación

La Matriz de Innovación permite a las organizaciones de todos los tamaños hacer una gestión y priorización de iniciativas mediante herramientas de visualización que recopilan ideas y permiten decidir cuáles son las más relevantes en función a los objetivos de la organización. Para el caso de la presente investigación las ideas fueron recopiladas mediante las entrevistas realizadas a los dueños de los procesos de explotación dentro de la mina Constanca. La Matriz de Innovación es un excelente input para el diseño del *Roadmap* ya que da una perspectiva de los posibles nuevos productos y servicios que necesita la empresa minera además de ayudar a discernir si es necesario una aplicación completamente nueva o si se puede añadir o eliminar funciones para mejorar una ya existente creando un sistema de gestión de la innovación para proyectos corto y mediano plazo. A continuación, se presentan diagramas de matriz de innovación generados con ideas e iniciativas de los dueños de negocio del proceso de explotación y con tendencias de tecnología aplicadas a minería. Los diagramas tienen cuatro cuadrantes y representan a cuatro tipos de innovación, el primer cuadrante es de innovación revolucionaria o también llamada radical es aquella que impacta en la industria, es cuando una organización despliega un producto o sistema que puede sustituir por completo a las tecnologías existentes, el segundo cuadrante es de innovación sostenible que mejora los productos y sistemas actuales y les añade capacidades nuevas, el tercer cuadrante es de innovación básica que representa a una iniciativa que no tiene suficientes datos de investigación que la respalden y el cuarto cuadrante que representa a una innovación disruptiva de la cual se dice cambia el funcionamiento de un mercado existente ya que genera un producto o sistema alternativo que es más accesible. Los diagramas están enfocados en las principales áreas que soportan el proceso de explotación.

Matriz de Innovación para el Área de geología

Figura 49

Matriz de Innovación para el Área de Geología



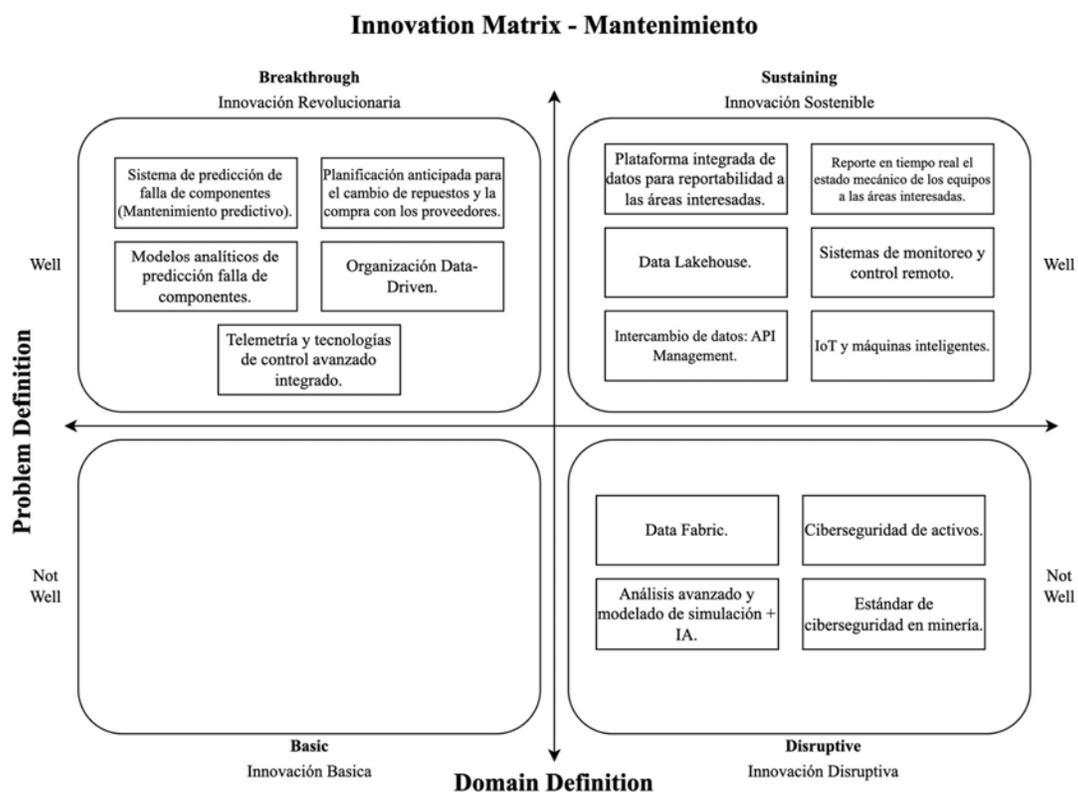
El diagrama de Matriz de innovación para el área de Geología muestra en el primer cuadrante iniciativas revolucionarias como el sistema de desplazamiento de voladura que puede cambiar la forma en cómo se generan los polígonos y bloques de minado además del cambio que puede representar en sus procesos el tener un control en tiempo real del proceso de explotación, en el segundo cuadrante se muestran iniciativas sostenibles que representan mejora en los sistemas actuales como la plataforma *Data Lakehouse* y la plataforma de *API's* que podría reemplazar la generación manual de reportes que se tiene actualmente en el área, en el tercer cuadrante no se tiene ninguna iniciativa básica y en el cuarto cuadrante se muestran iniciativas disruptivas que pueden cambiar el funcionamiento del mercado como la plataforma *Data Fabric* o el sistema de realidad aumentada aplicado para los procesos geológicos que pueden cambiar la forma en cómo se

desarrolla el proceso de explotación al permitir a los usuarios generar reportes y estadísticas de forma automática facilitando el autoconsumo de datos y el manejo de proceso de forma remota sin la necesidad de estar presentes en la operación con realidad aumentada.

Matriz de Innovación para el Área de Mantenimiento Mina

Figura 50

Matriz de Innovación para el Área de Mantenimiento



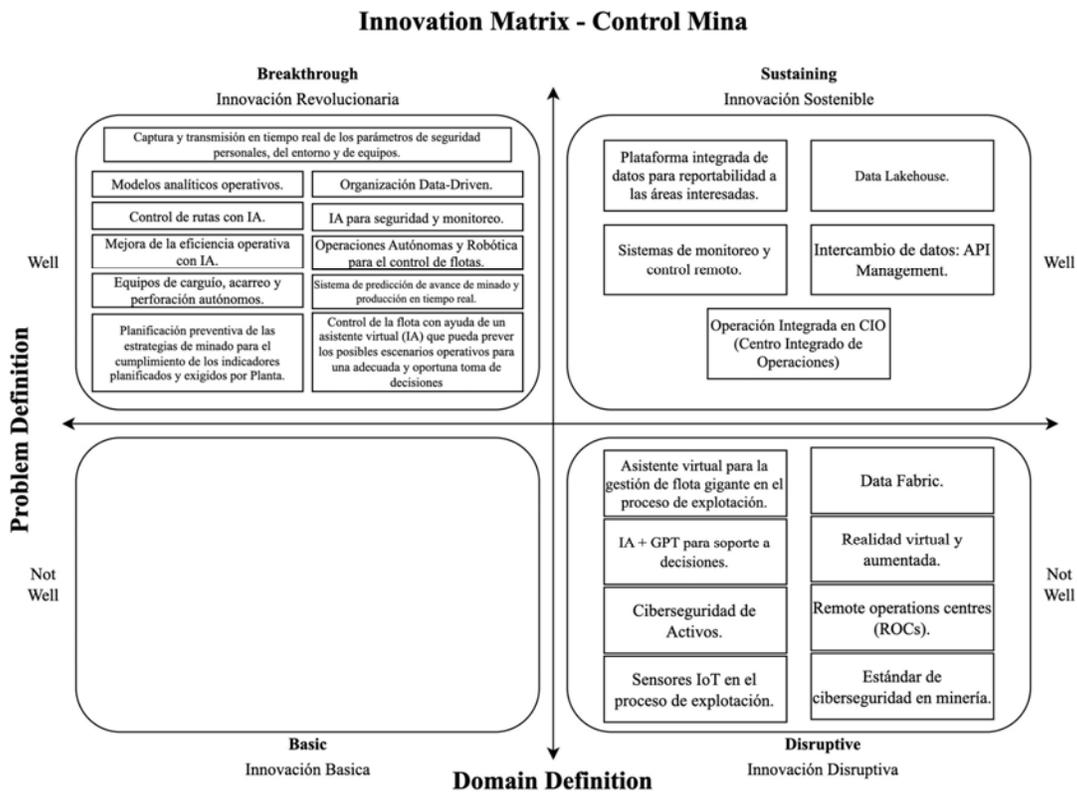
El diagrama de Matriz de innovación para el área de Mantenimiento Mina muestra en el primer cuadrante iniciativas revolucionarias como el modelo analítico de predicción de falla de componentes que puede cambiar la forma en cómo se genera la logística para la compra de repuestos que es uno de los principales problemas dentro del área que afecta directamente al proceso de explotación por la disponibilidad de los equipos mineros, en el segundo cuadrante se

muestran iniciativas sostenibles que representan mejora en los sistemas actuales como el sistema IoT para monitoreo y control remoto que podría reemplazar el método manual que actualmente se usa para descargar la información de telemetría (VIMS) de los equipos mineros y la generación de reportes de forma no oportuna, en el tercer cuadrante no se tiene ninguna iniciativa básica y en el cuarto cuadrante se muestran iniciativas disruptivas que pueden cambiar el funcionamiento del mercado como la plataforma Data Fabric aplicado para los procesos mecánicos que pueden cambiar la forma en cómo se desarrolla el proceso de explotación al permitir a los usuarios generar reportes y estadísticas sobre la condición mecánica de los equipos en tiempo real de forma automática facilitando el autoconsumo de datos (Democratización de los datos).

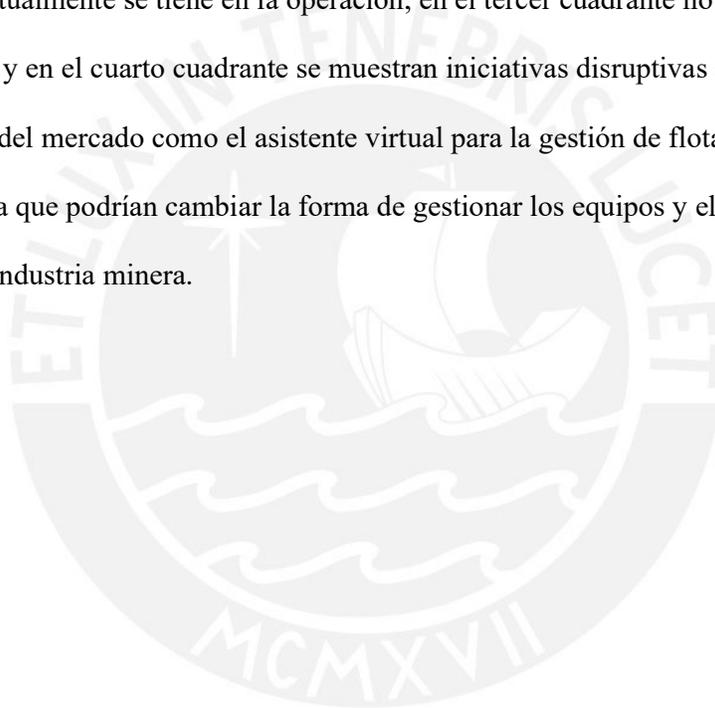
Matriz de Innovación para el Área de Control Mina

Figura 51

Matriz de Innovación para el Área de Control Mina



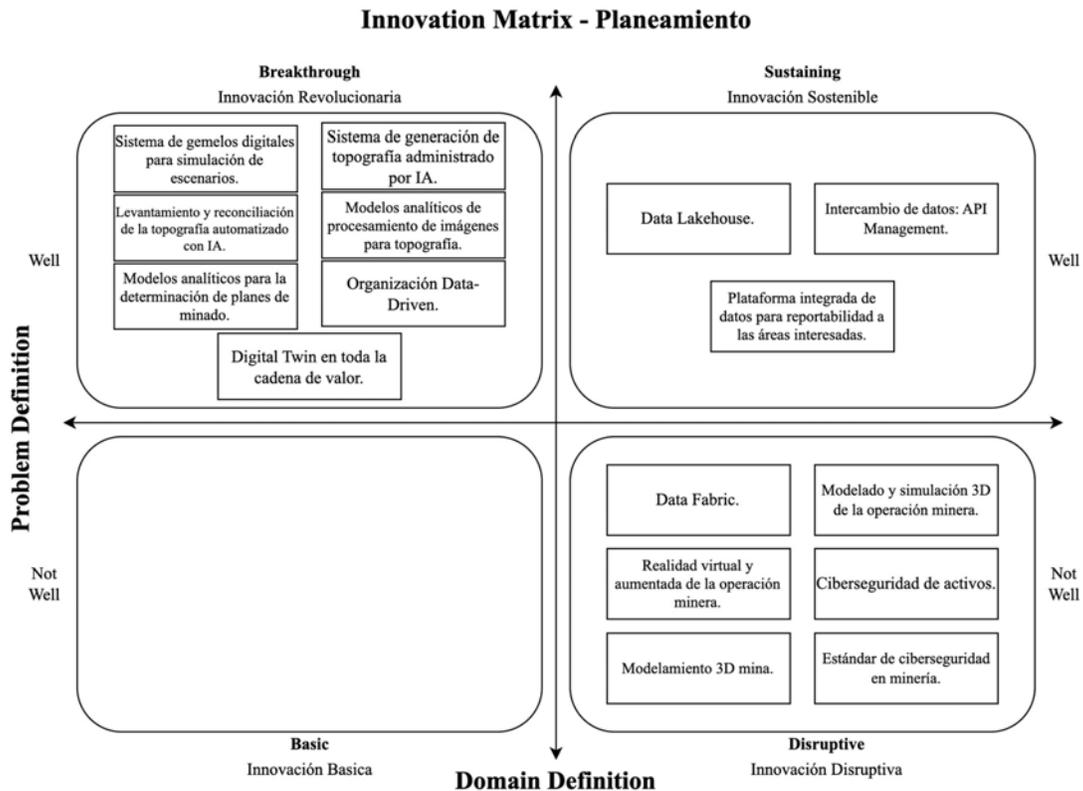
El diagrama de Matriz de innovación para el área de Control Mina muestra en el primer cuadrante iniciativas revolucionarias como la operación autónoma de equipos de carguío, acarreo y perforación que puede cambiar la forma en cómo se desarrolla la actividad de movimiento de tierras que es una de las actividades que más recursos utiliza el proceso de explotación, en el segundo cuadrante se muestran iniciativas sostenibles que representan mejora en los procesos actuales como el CIO (Centro Integrado de Operaciones) que podría reemplazar centro de despacho que actualmente se tiene en la operación, en el tercer cuadrante no se tiene ninguna iniciativa básica y en el cuarto cuadrante se muestran iniciativas disruptivas que pueden cambiar el funcionamiento del mercado como el asistente virtual para la gestión de flotas además del sistemas de IA Generativa que podrían cambiar la forma de gestionar los equipos y el movimiento de minerales en la industria minera.



Matriz de Innovación para el Área de Planeamiento

Figura 52

Matriz de Innovación para el Área de Planeamiento



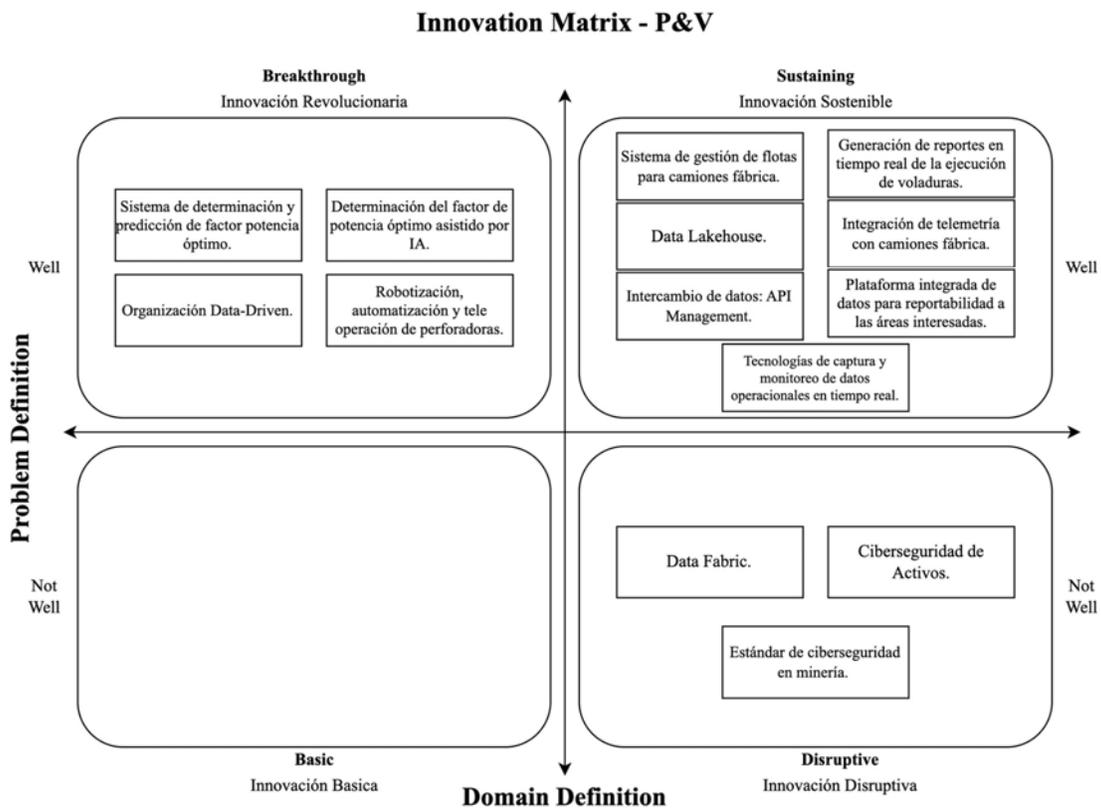
El diagrama de Matriz de innovación para el área de Planeamiento muestra en el primer cuadrante iniciativas revolucionarias como el sistema de gemelos digitales que puede cambiar la forma en cómo se desarrolla la actividad de planeamiento al tener una plataforma que les permita hacer un planeamiento a corto, mediano y largo plazo de forma óptima, en el segundo cuadrante se muestran iniciativas sostenibles que representan mejora en los procesos actuales como la plataforma Data Lakehouse y la plataforma de API's que podría reemplazar la generación manual de reportes que se tiene actualmente en el área, en el tercer cuadrante no se tiene ninguna iniciativa básica y en el cuarto cuadrante se muestran iniciativas disruptivas que pueden cambiar el funcionamiento del mercado como la plataforma Data Fabric aplicado para los procesos de

planificación minera que pueden cambiar la forma en cómo se desarrolla el proceso al permitir tener a disposición toda la información histórica y en tiempo real del proceso de explotación.

Matriz de Innovación para el Área de Perforación y Voladura

Figura 53

Matriz de Innovación para el Área de Perforación y Voladura



El diagrama de Matriz de innovación para el área de Perforación y Voladura muestra en el primer cuadrante iniciativas revolucionarias como la determinación del factor potencia óptimo para la voladura asistido por IA que puede cambiar la forma en cómo se desarrolla el diseño y planeamiento de voladuras generando que se obtenga una granulometría ideal para los procesos siguientes como el carguío, acarreo y chancado primario, en el segundo cuadrante se muestran iniciativas sostenibles que representan mejora en los procesos actuales como la integración de telemetría con camiones fábrica que podría reemplazar la forma de operar éstos equipos y mejorar

la producción y productividad en el proceso de carga de taladros, en el tercer cuadrante no se tiene ninguna iniciativa básica y en el cuarto cuadrante se muestran iniciativas disruptivas que pueden cambiar el funcionamiento del mercado como la plataforma Data Fabric aplicado para los procesos de perforación y voladura que pueden cambiar la forma en cómo se desarrolla el proceso al permitir tener a disposición toda la información del proceso de explotación en tiempo real.

Roadmap para el Proceso de Explotación

A continuación, se presenta el diseño de *Roadmap* para el proceso de explotación en la mina Constancia, para su elaboración se han tenido en cuenta toda la documentación obtenida de la operación minera además de las entrevistas que se tuvo con los dueños de los procesos y los artefactos generados a partir de esta información.

La duración de un *Roadmap* tecnológico para la mina de Constancia depende de una serie de variables, como la visión, los objetivos, las estrategias, las acciones y la comunicación del proyecto. No hay una regla fija que determine el tiempo óptimo para un *Roadmap* tecnológico, pero se aconseja que sea lo bastante flexible para adaptarse a los cambios del entorno y lo bastante concreta para orientar las decisiones y los recursos.

Dependiendo de la complejidad y el alcance del proyecto minero, la duración puede oscilar entre unos meses y varios años, según algunas referencias de hojas de ruta tecnológicas recogidas durante la presente investigación. Como afirman Villarino et al. (2015), el *Roadmap* de Digitalización para la Minería 4.0 se basa en una planificación que llega hasta 2035, la hoja de ruta tecnológica para la innovación propuesta por Greberg et al. (2022), sugieren un horizonte temporal de hasta 2030.

Dada la ambiciosa naturaleza del proyecto minero de Constancia con su ampliación del tajo Pampacancha y la necesidad de implantar numerosas innovaciones tecnológicas de vanguardia en la industria minera, un calendario para la hoja de ruta tecnológica de entre 6 y

8 años podría ser apropiado. No obstante, este plazo no es más que una estimación que podría ajustarse en función de las necesidades y los resultados del proyecto. Para determinar los plazos a corto, medio y largo plazo del *Roadmap* tecnológico de la presente investigación, se utilizó los criterios de juicio de expertos cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla (ver Tabla 17).

Tabla 17

Validación de Plazos por Experto

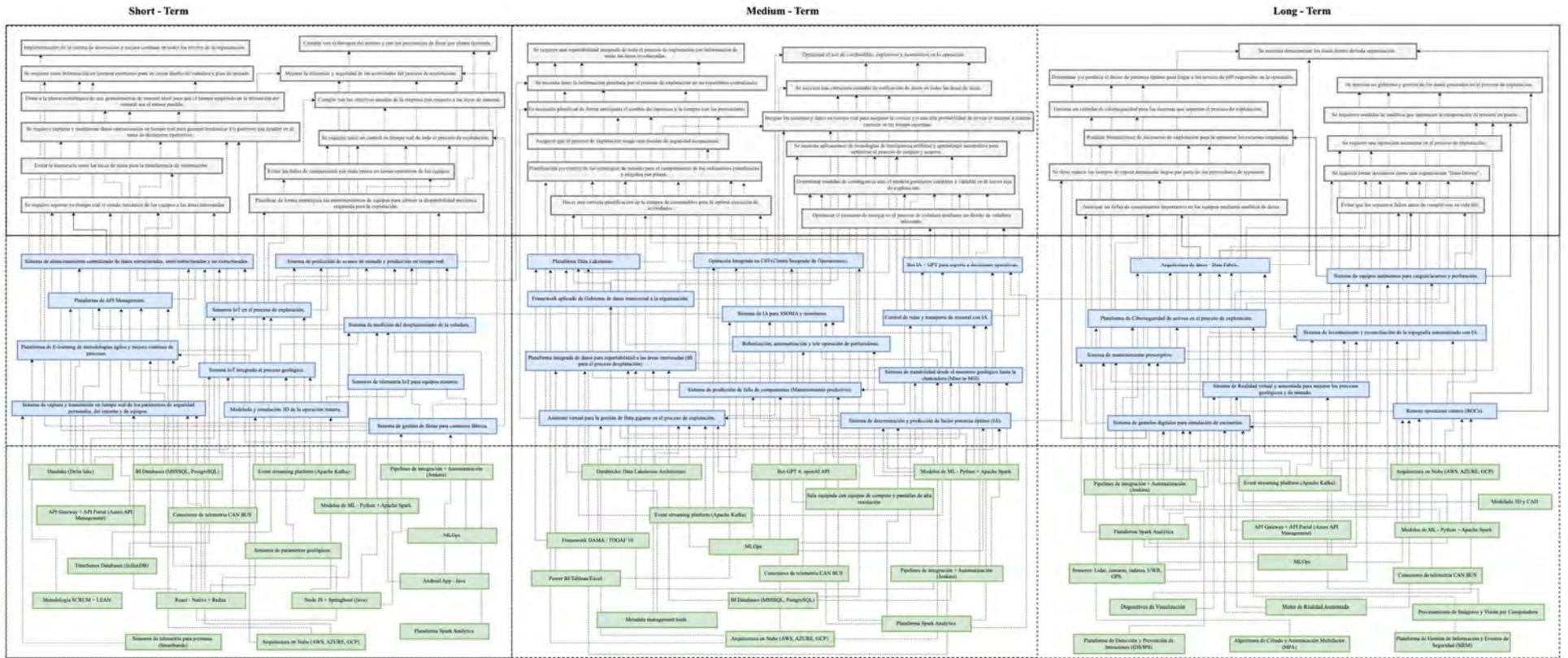
| Expertos | Corto Plazo (Años) | Mediano Plazo (Años) | Largo Plazo (Años) |
|------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Experto 01 | 1 | 4 | 6 |
| Experto 02 | 3 | 5 | 8 |
| Experto 03 | 2 | 5 | 7 |
| Experto 04 | 2 | 4 | 6 |
| Experto 05 | 3 | 5 | 7 |
| Promedio | 2.2 | 4.6 | 6.8 |

Con los resultados de juicio de expertos obtenidos y las referencias de *Roadmap* encontradas se proyectó el *Roadmap* a corto plazo en dos años (hasta 2025), a mediano plazo en cinco años (hasta 2028) y largo plazo en 7 años (2030) partiendo desde el año 2024.

El *Roadmap* tecnológico presenta tres etapas en la dimensión de tiempo tanto para objetivos estratégicos que están colocados en la sección superior del diagrama como en los productos y sistemas en sección intermedia, la tecnología y recursos en la sección inferior. Las tres capas están interconectadas y relacionadas indicando que tecnología y recursos soportan los sistemas con productos propuestos y cómo estos están alineados a los objetivos estratégicos del proceso de explotación de la mina Constancia (ver Figura 54).

Figura 54

Propuesta de Roadmap para el Proceso de Explotación en la Mina Constanza



Para una mejor visualización del *Roadmap* se presentará por las tres secciones de la dimensión de tiempo (corto, mediano y largo plazo). Para corto plazo se tiene los siguientes objetivos estratégicos (*Business Drivers*), sistemas, productos y servicios (*Systems, Products & Services*) y tecnología y recursos (*Technology & Resources*).

Business Drivers

- Implementación de la cultura de innovación y mejora continua en todos los niveles de la organización.
- Se requiere tener información en tiempos oportunos para un mejor diseño de voladura y plan de minado.
- Cumplir con el *throughput* del molino y con los porcentajes de finos que la planta demanda.
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las actividades del proceso de explotación.
- Cumplir con los objetivos anuales de la empresa con respecto a las leyes de mineral.
- Se requiere tener un control en tiempo real de todo el proceso de explotación.
- Dotar a la planta metalúrgica de una granulometría de mineral ideal para que el tiempo empleado en la trituración del mineral sea el menor posible.
- Se requiere capturar y monitorear datos operacionales en tiempo real para generar tendencias y/o patrones que ayuden en la toma de decisiones operativas.
- Evitar la burocracia entre las áreas de mina para la transferencia de información.

- Evitar las fallas de componentes por mala praxis en temas operativos de los equipos.
- Planificar de forma estratégica los mantenimientos de equipos para ofrecer la disponibilidad mecánica requerida para la explotación.
- Se requiere reportar en tiempo real el estado mecánico de los equipos a las áreas interesadas.

Systems, Products & Services

- Sistema de almacenamiento centralizado de datos estructurados, semiestructurados y no estructurados.
- Sistema de predicción de avance de minado y producción en tiempo real.
- Modelado y simulación 3D de la operación minera.
- Plataforma de API Management.
- Sistema de medición del desplazamiento de la voladura.
- Plataforma de E-learning de metodologías ágiles y mejora continua de procesos.
- Sistema de captura y transmisión en tiempo real de los parámetros de seguridad personales, del entorno y de equipos.
- Sensores de telemetría IoT para equipos mineros.
- Sistema de gestión de flotas para camiones fábrica.
- Sensores IoT en el proceso de explotación.
- Sistema IoT integrado al proceso geológico.

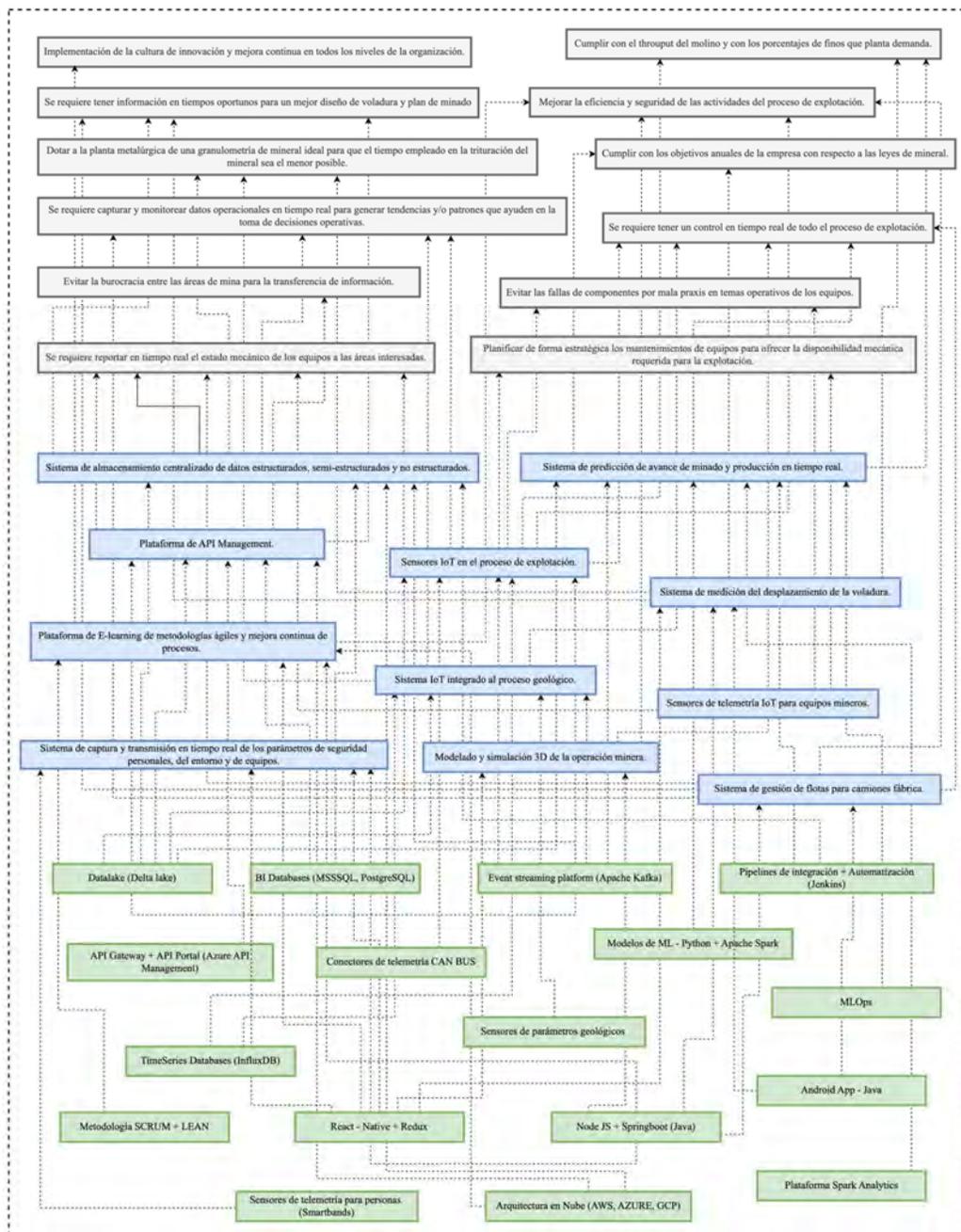
Technology & Resources

- Datalake (Delta Lake).
- Pipelines de integración + Automatización (Jenkins).

- *MLOps*.
- Android App - Java.
- Plataforma *Spark Analytics*.
- Arquitectura en Nube (AWS, AZURE, GCP).
- Sensores de telemetría para personas. (*Smartbands*)
- Conectores de telemetría CAN BUS.
- *TimeSeries Databases (InfluxDB)*.
- Event streaming platform (Apache Kafka).
- Sensores de parámetros geológicos.
- Modelos de ML - Python + Apache Spark.
- BI Databases (MSSQL, PostgreSQL).
- Metodología SCRUM + LEAN.
- Node JS + *Springboot* (Java).
- API Gateway + API Portal (Azure API Management).
- *React* - Native + *Redux*.

Figura 55

Diseño de Roadmap a Corto Plazo



Para mediano plazo se tiene los siguientes objetivos estratégicos (*Business Drivers*), sistemas, productos y servicios (*Systems, Products & Services*) y tecnología y recursos (*Technology & Resources*).

Business Drivers

- Se requiere una reportabilidad integrada de todo el proceso de explotación con información de todas las áreas involucradas.
- Se necesita tener la información generada por el proceso de explotación en un repositorio centralizado.
- Es necesario planificar de forma anticipada el cambio de repuestos y la compra con los proveedores.
- Asegurar que el proceso de explotación tenga cero incidentes de seguridad ocupacional.
- Planificación preventiva de las estrategias de minado para el cumplimiento de los indicadores planificados y exigidos por planta.
- Realizar una correcta planificación de la compra de consumibles para la óptima ejecución de actividades.
- Optimizar el uso de combustible, explosivos y neumáticos en la operación.
- Se necesita una estructura estándar de unificación de datos en todas las áreas de mina.
- Integrar los sistemas y datos en tiempo real para asegurar la certeza y/o una alta probabilidad de enviar el mineral al destino correcto en un tiempo oportuno.
- Se necesitan aplicaciones de tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático para optimizar el proceso de carguío y acarreo.
- Determinar medidas de contingencia ante el modelo geológico complejo y variable en el nuevo tajo de explotación.

- Optimizar el consumo de energía en el proceso de voladura mediante un diseño de voladura adecuado.

Systems, Products & Services

- Plataforma Data Lakehouse.
- *Framework* aplicado de Gobierno de datos transversal a la organización.
- Plataforma integrada de datos para reportabilidad a las áreas interesadas (BI para el proceso de explotación).
- Asistente virtual para la gestión de flota gigante en el proceso de explotación.
- Control de rutas y transporte de mineral con IA.
- Sistema de predicción de falla de componentes (Mantenimiento predictivo).
- Operación Integrada en CIO (Centro Integrado de Operaciones).
- Bot IA + GPT para soporte a decisiones operativas.
- Sistema de IA para SSOMA y monitoreo.
- Robotización, automatización y tele operación de perforadoras.
- Sistema de trazabilidad desde el muestreo geológico hasta la chancadora (Mine to Mill).
- Sistema de determinación y predicción de factor potencia óptimo (IA).

Technology & Resources

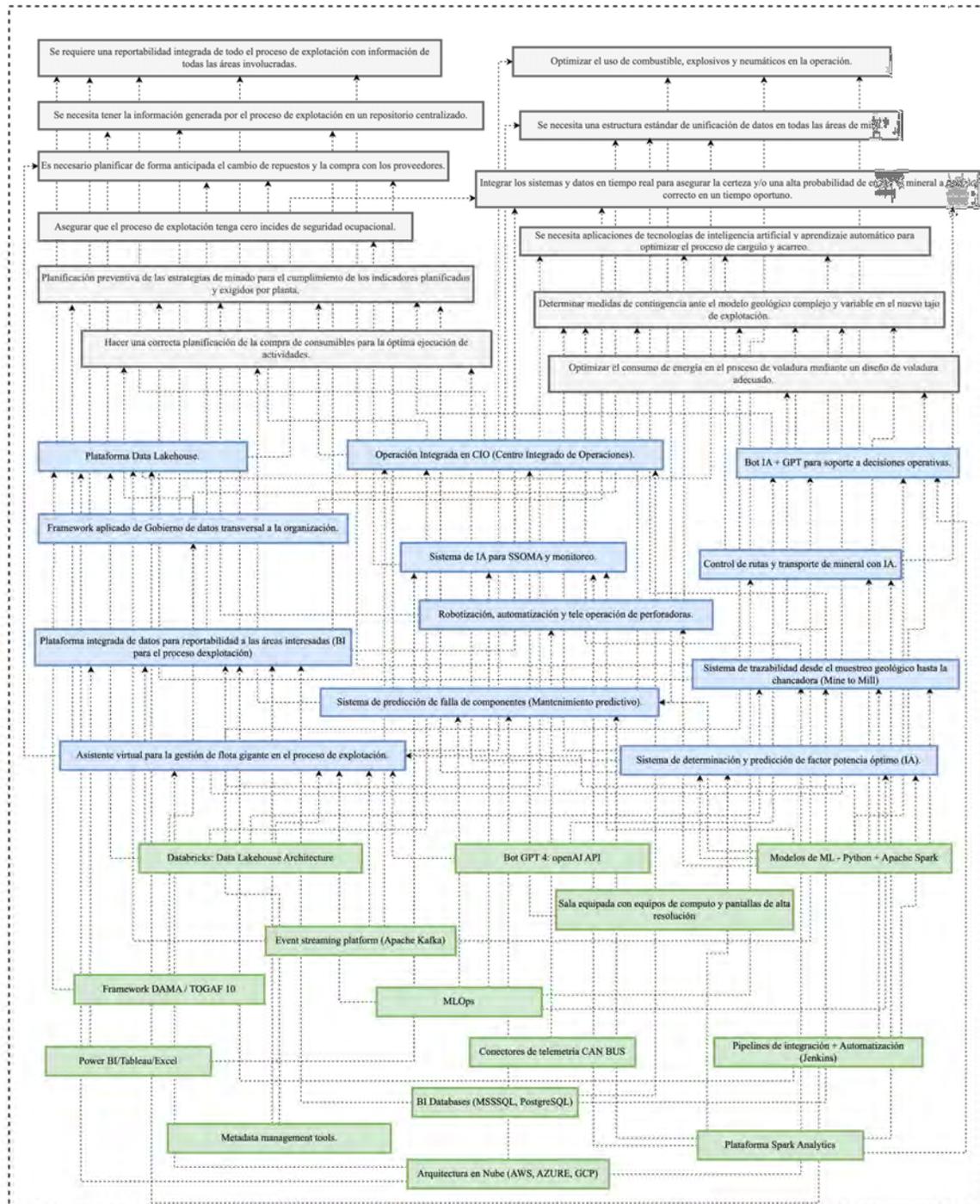
- *Databricks: Data Lakehouse Architecture.*
- Bot GPT 4: *openAI* API.
- Event streaming platform (Apache Kafka).
- Modelos de ML - Python + Apache Spark.
- *Metadata management tools.*
- BI Databases (MSSQL, PostgreSQL).

- Pipelines de integración + Automatización (Jenkins).
- *Framework DAMA / TOGAF 10.*
- Sala equipada con equipos de cómputo y pantallas de alta resolución.
- *Power BI/Tableau/Excel.*
- *MLOps.*
- Conectores de telemetría *CAN BUS.*
- Arquitectura en Nube (*AWS, AZURE, GCP.*)
- Plataforma *Spark Analytics.*



Figura 56

Diseño de Roadmap a Mediano Plazo



Para largo plazo se tiene los siguientes objetivos estratégicos (*Business Drivers*), sistemas, productos y servicios (*Systems, Products & Services*) y tecnología y recursos (*Technology & Resources*).

Business Drivers

- Se necesita democratizar los datos dentro de toda organización.
- Determinar y/o predecir el factor de potencia óptimo para llegar a los niveles de p80 requeridos en la operación.
- Se necesita un gobierno y gestión de los datos generados en el proceso de explotación.
- Generar un estándar de ciberseguridad para los sistemas que soportan el proceso de explotación.
- Se requieren modelos de analítica que optimicen la recuperación de mineral en planta.
- Realizar Simulaciones de escenarios de explotación para optimizar los recursos empleados.
- Se requiere una operación autónoma en el proceso de explotación.
- Se deben reducir los tiempos de espera demasiado largos por parte de los proveedores de repuestos.
- Se requiere tomar decisiones como una organización "Data-Driven".
- Anticipar las fallas de componentes importantes en los equipos mediante analítica de datos.
- Evitar que los repuestos fallen antes de cumplir con su vida útil.

Systems, Products & Services

- Arquitectura de datos - Data Fabric.
- Plataforma de ciberseguridad de activos en el proceso de explotación.
- Sistema de mantenimiento prescriptivo.
- Sistema de gemelos digitales para simulación de escenarios.
- Sistema de equipos autónomos para carguío/acarreo y perforación.
- Sistema de levantamiento y reconciliación de la topografía automatizado con IA.
- Sistema de Realidad virtual y aumentada para mejorar los procesos geológicos y de minado.
- *Remote operations centres (ROCs)*.

Technology & Resources

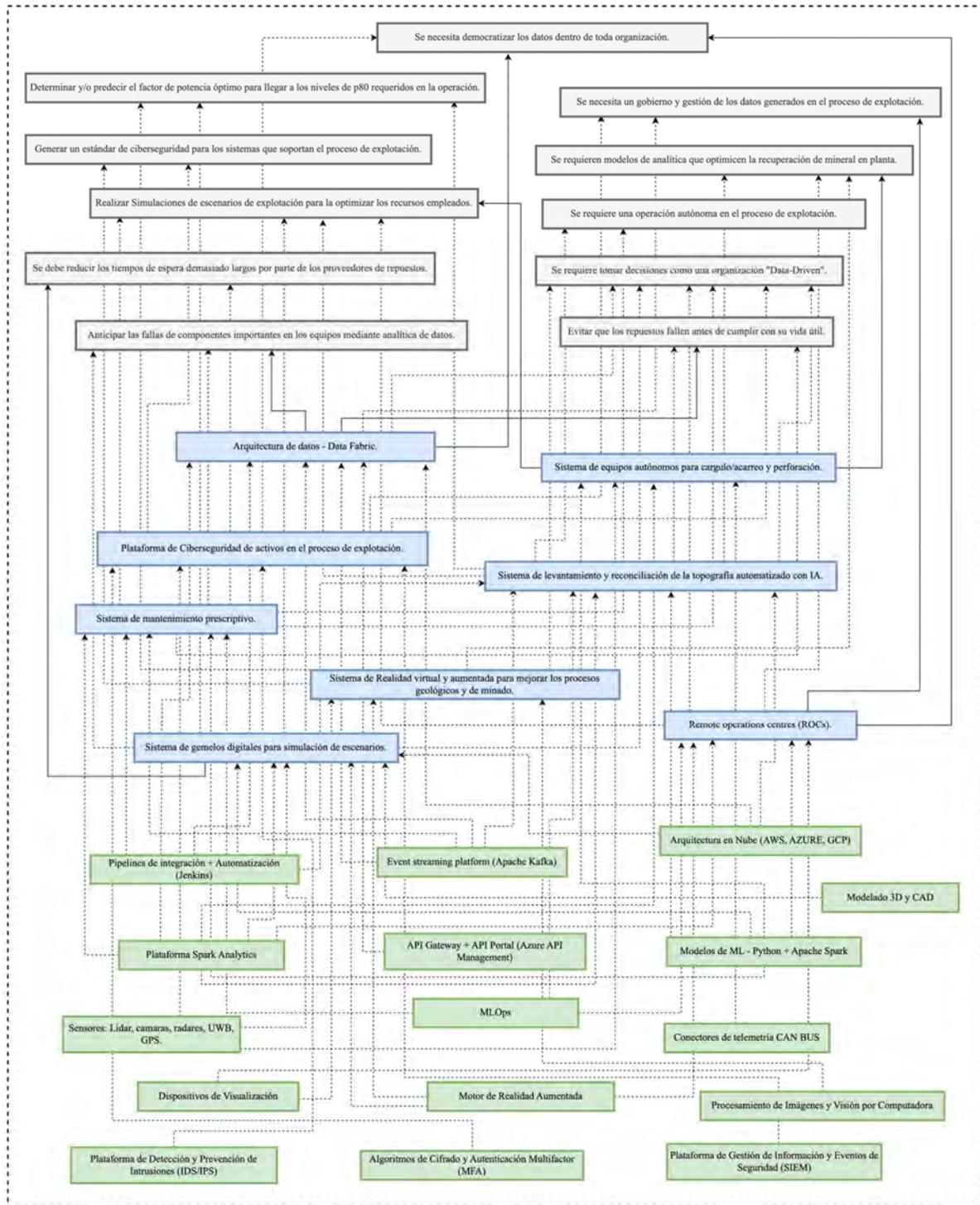
- Pipelines de integración + Automatización (Jenkins).
- Plataforma Spark Analytics.
- Sensores: *Lidar*, cámaras, radares, UWB, GPS.
- Dispositivos de Visualización.
- Plataforma de Detección y Prevención de Intrusiones (IDS/IPS).
- Event streaming platform (Apache Kafka).
- API Gateway + API Portal (Azure API Management).
- MLOps.
- Motor de Realidad Aumentada.
- Algoritmos de Cifrado y Autenticación Multifactor (MFA).
- Arquitectura en Nube (AWS, AZURE, GCP).
- Modelado 3D y CAD.

- Modelos de ML - Python + Apache Spark.
- Conectores de telemetría CAN BUS.
- Procesamiento de Imágenes y Visión por Computadora.
- Plataforma de Gestión de Información y Eventos de Seguridad (SIEM).



Figura 57

Diseño de Roadmap a Largo Plazo



Planificación de Cartera de Proyectos para Implementación en mina Constancia

El tercer objetivo de la investigación es plantear una cartera de proyectos a partir del diseño de *Roadmap* planteado y generar una planificación desde el año 2024 hacia el año 2030. Para poder desarrollar el cronograma (diagrama de Gantt) es necesario hacer una valoración de cada proyecto de la cartera desprendida del *Roadmap*, para ello se utiliza un método de puntuación para evaluar y seleccionar los proyectos tecnológicos y de innovación de tal forma que se tendrá una priorización que ayudará a plantear el cronograma de implementación de proyectos.

La cartera de proyectos tecnológicos y de innovación se ha obtenido de la sección sistemas, productos y servicios del *Roadmap* planteado y está representada en el siguiente cuadro dividido en corto, mediano y largo plazo (ver Tabla 18).

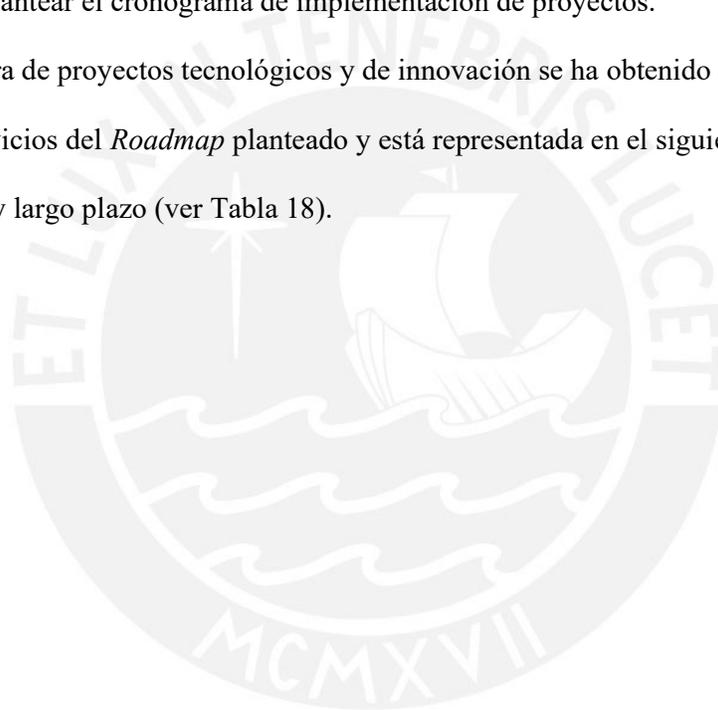


Tabla 18*Cartera de Proyectos Tecnológicos y de Innovación*

| N° de Proyecto | Proyecto | Plazo |
|----------------|--|---------|
| P1 | Sistema de predicción de avance de minado y producción en tiempo real. | Corto |
| P2 | Sistema de almacenamiento centralizado de datos estructurados, semiestructurados y no estructurados. | Corto |
| P3 | Plataforma de API Management. | Corto |
| P4 | Sensores IoT en el proceso de explotación. | Corto |
| P5 | Plataforma de E-learning de metodologías ágiles y mejora continua de procesos. | Corto |
| P6 | Sistema de captura y transmisión en tiempo real de los parámetros de seguridad personales, del entorno y de equipos. | Corto |
| P7 | Sistema IoT integrado al proceso geológico. | Corto |
| P8 | Modelado y simulación 3D de la operación minera. | Corto |
| P9 | Sistema de Medición del desplazamiento de la voladura. | Corto |
| P10 | Sensores de telemetría IoT para equipos mineros. | Corto |
| P11 | Sistema de gestión de flotas para camiones fábrica. | Corto |
| P12 | Plataforma Data Lakehouse. | Mediano |
| P13 | <i>Framework</i> aplicado de Gobierno de datos transversal a la organización. | Mediano |
| P14 | Plataforma integrada de datos para reportabilidad a las áreas interesadas (BI para el proceso de explotación) | Mediano |
| P15 | Asistente virtual para la gestión de flota gigante en el proceso de explotación. | Mediano |
| P16 | Sistema de predicción de falla de componentes (Mantenimiento predictivo). | Mediano |
| P17 | Operación Integrada en CIO (Centro Integrado de Operaciones). | Mediano |
| P18 | Sistema de IA para SSOMA y monitoreo. | Mediano |
| P19 | Robotización, automatización y tele operación de perforadoras. | Mediano |
| P20 | Sistema de determinación y predicción de factor potencia óptimo (IA). | Mediano |
| P21 | Sistema de trazabilidad desde el muestreo geológico hasta la chancadora (Mine to Mill) | Mediano |
| P22 | Control de rutas y transporte de mineral con IA. | Mediano |
| P23 | Bot IA + GPT para soporte a decisiones operativas. | Mediano |
| P24 | Sistema de equipos autónomos para carguío/acarreo y perforación. | Largo |
| P25 | Arquitectura de datos - Data Fabric. | Largo |
| P26 | Plataforma de ciberseguridad de activos en el proceso de explotación. | Largo |
| P27 | Sistema de mantenimiento prescriptivo. | Largo |
| P28 | Sistema de gemelos digitales para simulación de escenarios. | Largo |
| P29 | Sistema de Realidad virtual y aumentada para mejorar los procesos geológicos y de minado. | Largo |
| P30 | Sistema de levantamiento y reconciliación de la topografía automatizado con IA. | Largo |
| P31 | Remote operations centres (ROC). | Largo |

Nota. Adaptado del diseño de Roadmap propuesto con planificación desde el año 2024 hacia

el año 2030

A partir de esta lista de proyectos tecnológicos y de innovación se desarrollará el método de puntuación para evaluar y seleccionar los proyectos, para ello se ha requerido el juicio experto de cinco especialistas en proyectos tecnológicos para minería. El método de evaluación consiste en asignar una puntuación de cero a diez en relación con la Viabilidad y Oportunidad (valor para el negocio) de cada proyecto. Para la asignación de la puntuación de Viabilidad se ha pedido que cada experto evalúe los siguientes factores, sostenibilidad de la ventaja competitiva, desafíos técnicos, conocimiento del mercado, capacidades técnicas, capacidad de la empresa para financiar los proyectos, adaptación estratégica mientras que para la Oportunidad se ha pedido evaluar los siguientes factores, oportunidades de sinergia, beneficios para el cliente, reducción de costos y potencial hacia futuro. Los factores mencionados para las puntuaciones de Oportunidad y Viabilidad de los proyectos son sugeridos en la metodología de *Roadmapping* de Cambridge.

Luego de la puntuación asignada por los expertos a los proyectos se eligen los mayores y menores puntajes de cada uno para generar tanto puntuaciones máximas y mínimas para Oportunidad y Viabilidad de cada proyecto y de esta forma poder generar un producto y un promedio de puntuado. A continuación, se muestran los cuadros resumen para los proyectos a corto plazo (ver Tabla 19), mediano plazo (ver tabla 20) y largo plazo (ver Tabla 21).

Tabla 19

Cuadro Resumen de Puntuación - Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Corto Plazo

| Proyecto | Experto 01 Op | Experto 01 Viab | Experto 02 Op | Experto 02 Viab | Experto 03 Op | Experto 03 Viab | Experto 04 Op | Experto 04 Viab | Experto 05 Op | Experto 05 Viab | Op (Max) | Op (Min) | Viab (Max) | Viab (Min) | OxV (Max) | OxV (Min) | Promedio |
|----------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------|
| P1 | 10 | 2 | 5 | 4 | 9 | 9 | 8 | 6 | 8 | 7 | 10 | 5 | 9 | 2 | 90 | 10 | 50 |
| P2 | 10 | 8 | 9 | 7 | 9 | 8 | 7 | 8 | 9 | 8 | 10 | 7 | 8 | 7 | 80 | 49 | 64,5 |
| P3 | 5 | 9 | 6 | 8 | 7 | 9 | 8 | 9 | 8 | 6 | 8 | 5 | 9 | 6 | 72 | 30 | 51 |
| P4 | 8 | 8 | 6 | 3 | 6 | 6 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 6 | 8 | 3 | 64 | 18 | 41 |
| P5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 10 | 8 | 9 | 5 | 5 | 8 | 5 | 10 | 5 | 80 | 25 | 52,5 |
| P6 | 10 | 8 | 7 | 8 | 5 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 | 10 | 5 | 8 | 7 | 80 | 35 | 57,5 |
| P7 | 10 | 10 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 7 | 10 | 5 | 10 | 6 | 100 | 30 | 65 |
| P8 | 8 | 6 | 9 | 7 | 7 | 5 | 7 | 6 | 8 | 6 | 9 | 7 | 7 | 5 | 63 | 35 | 49 |
| P9 | 9 | 3 | 9 | 8 | 9 | 6 | 9 | 7 | 7 | 7 | 9 | 7 | 8 | 3 | 72 | 21 | 46,5 |
| P10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 8 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 10 | 7 | 10 | 6 | 100 | 42 | 71 |
| P11 | 9 | 7 | 10 | 9 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 10 | 7 | 9 | 7 | 90 | 49 | 69,5 |

Nota. Adaptado de la lista de proyectos tecnológicos y de innovación

Tabla 20

Cuadro Resumen de Puntuación - Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Mediano Plazo

| Proyecto | Experto 01 Op | Experto 01 Viab | Experto 02 Op | Experto 02 Viab | Experto 03 Op | Experto 03 Viab | Experto 04 Op | Experto 04 Viab | Experto 05 Op | Experto 05 Viab | Op (Max) | Op (Min) | Viab (Max) | Viab (Min) | OxV (Max) | OxV (Min) | Promedio |
|----------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------|
| P12 | 9 | 6 | 7 | 3 | 9 | 8 | 8 | 7 | 8 | 6 | 9 | 7 | 8 | 3 | 72 | 21 | 46,5 |
| P13 | 8 | 3 | 6 | 5 | 9 | 7 | 8 | 7 | 6 | 5 | 9 | 6 | 7 | 3 | 63 | 18 | 40,5 |
| P14 | 9 | 4 | 8 | 10 | 9 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 | 9 | 7 | 10 | 4 | 90 | 28 | 59 |
| P15 | 9 | 8 | 10 | 9 | 10 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 | 10 | 7 | 9 | 7 | 90 | 49 | 69,5 |
| P16 | 9 | 7 | 10 | 8 | 9 | 9 | 10 | 6 | 9 | 7 | 10 | 9 | 9 | 6 | 90 | 54 | 72 |
| P17 | 10 | 9 | 9 | 10 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | 10 | 7 | 10 | 6 | 100 | 42 | 71 |
| P18 | 9 | 6 | 8 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 9 | 7 | 9 | 7 | 9 | 6 | 81 | 42 | 61,5 |
| P19 | 9 | 9 | 7 | 5 | 6 | 7 | 9 | 7 | 7 | 6 | 9 | 6 | 9 | 5 | 81 | 30 | 55,5 |
| P20 | 9 | 6 | 10 | 9 | 9 | 6 | 9 | 6 | 9 | 7 | 10 | 9 | 9 | 6 | 90 | 54 | 72 |
| P21 | 9 | 8 | 9 | 6 | 8 | 7 | 9 | 7 | 8 | 6 | 9 | 8 | 8 | 6 | 72 | 48 | 60 |
| P22 | 10 | 7 | 5 | 2 | 6 | 6 | 9 | 6 | 7 | 7 | 10 | 5 | 7 | 2 | 70 | 10 | 40 |
| P23 | 9 | 8 | 9 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 9 | 6 | 8 | 6 | 72 | 36 | 54 |

Nota. Adaptado de la lista de proyectos tecnológicos y de innovación

Tabla 21

Cuadro Resumen de Puntuación - Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Largo Plazo

| Proyecto | Experto 01 Op | Experto 01 Viab | Experto 02 Op | Experto 02 Viab | Experto 03 Op | Experto 03 Viab | Experto 04 Op | Experto 04 Viab | Experto 05 Op | Experto 05 Viab | Op (Max) | Op (Min) | Viab (Max) | Viab (Min) | OxV (Max) | OxV (Min) | Promedio |
|----------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------|
| P24 | 9 | 8 | 8 | 2 | 9 | 6 | 9 | 6 | 9 | 8 | 9 | 8 | 8 | 2 | 72 | 16 | 44 |
| P25 | 9 | 4 | 5 | 3 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 9 | 5 | 7 | 3 | 63 | 15 | 39 |
| P26 | 6 | 2 | 8 | 5 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 | 6 | 7 | 2 | 56 | 12 | 34 |
| P27 | 8 | 4 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 9 | 8 | 9 | 7 | 8 | 4 | 72 | 28 | 50 |
| P28 | 9 | 8 | 9 | 5 | 8 | 5 | 8 | 6 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 | 5 | 72 | 40 | 56 |
| P29 | 9 | 9 | 9 | 5 | 8 | 6 | 8 | 6 | 7 | 6 | 9 | 7 | 9 | 5 | 81 | 35 | 58 |
| P30 | 9 | 7 | 9 | 7 | 9 | 6 | 9 | 6 | 8 | 7 | 9 | 8 | 7 | 6 | 63 | 48 | 55,5 |
| P31 | 10 | 7 | 7 | 4 | 10 | 5 | 9 | 7 | 6 | 5 | 10 | 6 | 7 | 4 | 70 | 24 | 47 |

Nota. Adaptado de la lista de proyectos tecnológicos y de innovación

Los proyectos tecnológicos y de innovación se muestran en los gráficos siguientes para una visualización más clara de la puntuación, así como información sobre el grado de incertidumbre asociado a cada proyecto. Esto permite comparar los proyectos y, en particular, destacar a qué dimensión Viabilidad y Oportunidad hay que prestar más atención. Para comparar las propuestas, hay que tener en cuenta que la Oportunidad es una aproximación al valor potencial de la idea, mientras que la Viabilidad denota la inversión potencial necesaria para hacerla realidad. Dado que la suma de las dos puntuaciones, Oportunidad x Viabilidad, proporciona realmente una estimación general del posible rendimiento de la inversión (ROI) del proyecto, es concebible combinar ambas en una única cifra global de mérito.

$$Oportunidad \times Viabilidad \approx Oportunidad / Dificultad \approx Valor / Inversión \approx ROI$$

A continuación, se muestran los gráficos Viabilidad versus Oportunidad para los proyectos tecnológicos y de innovación para corto plazo (ver Figura 58), mediano plazo (ver Figura 59) y largo plazo (ver Figura 60).

Figura 58

Diagrama Scoring Ranges, Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Corto Plazo

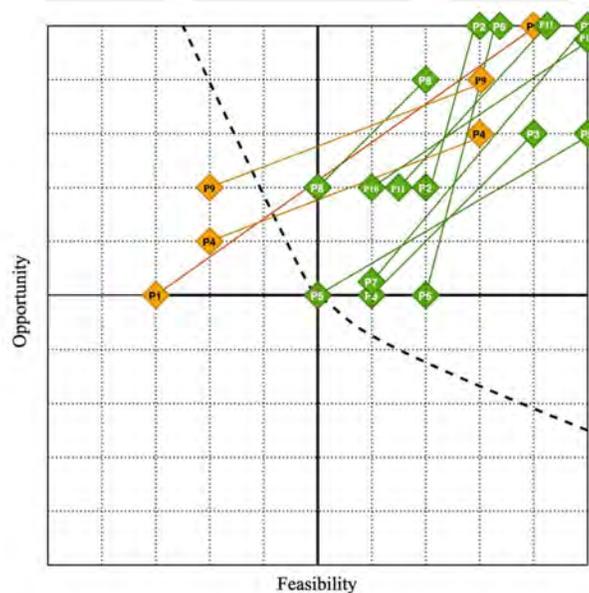


Figura 59

Diagrama Scoring Ranges, Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Mediano Plazo

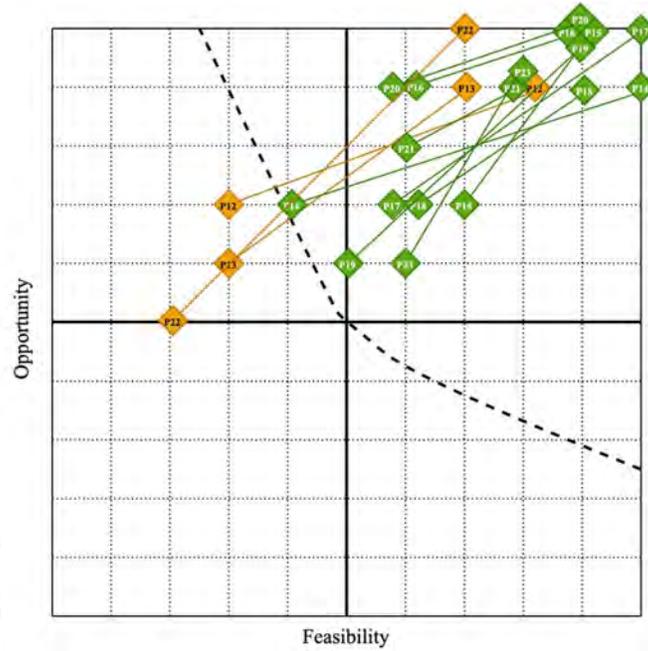
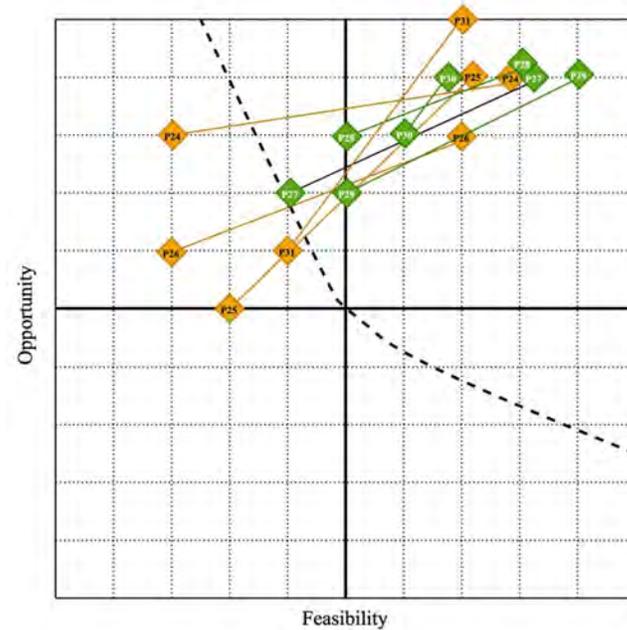
**Figura 60**

Diagrama Scoring Ranges, Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Largo Plazo



Las puntuaciones de Oportunidad (O) y Viabilidad (F) son bastante lúdicar, pero el producto es un enfoque práctico y útil para comparar proyectos en su conjunto. Esta comparación se muestra en las siguientes figuras, que muestran el producto O x F de los proyectos en forma de barras verticales a corto, medio y largo plazo. El punto en el que los proyectos se consideran aceptables e insatisfactorios, en una escala de 0 a 10, es cuando reciben una puntuación O x F de 36 (línea discontinua). Totalmente por debajo de la línea (rojo) se rechaza, mientras que totalmente por encima de la línea (verde) es probable que se acepte. Antes de poder emitir juicios más seguros, los proyectos que están por encima de la línea (naranja) pueden requerir una investigación adicional para reducir su margen de incertidumbre. La puntuación detallada pondrá de relieve las principales áreas de incertidumbre. Es fundamental señalar que el gráfico muestra los límites de confianza de cada proyecto, lo que significa que, en el caso de las iniciativas en fase inicial, es igualmente probable que el resultado se sitúe dentro de esos límites (ver Figura 61, Figura 62 y Figura 63).

Figura 61

Diagrama de Barras Alternativo Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Corto Plazo

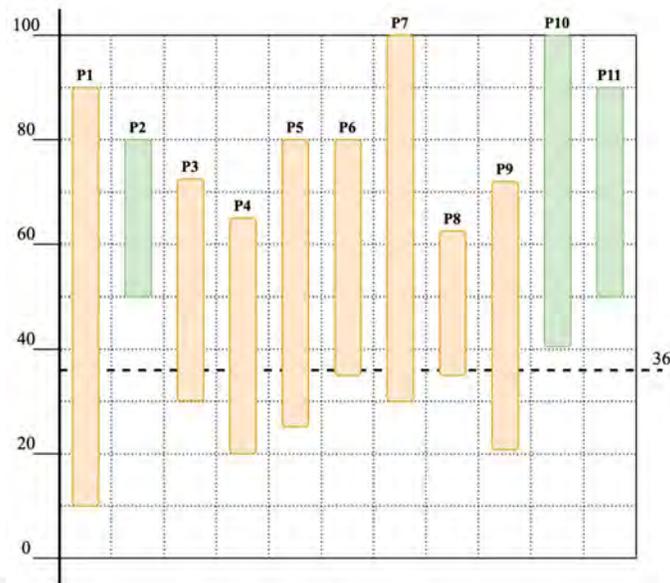
**Figura 62**

Diagrama de Barras Alternativo Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Mediano Plazo

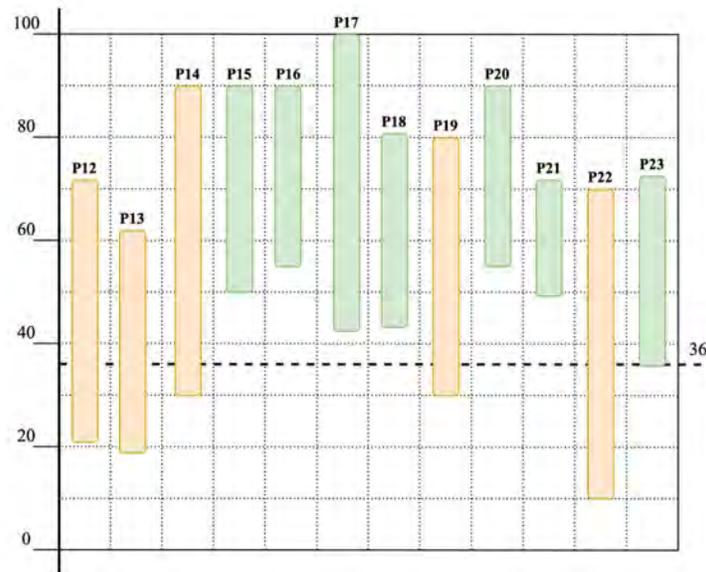
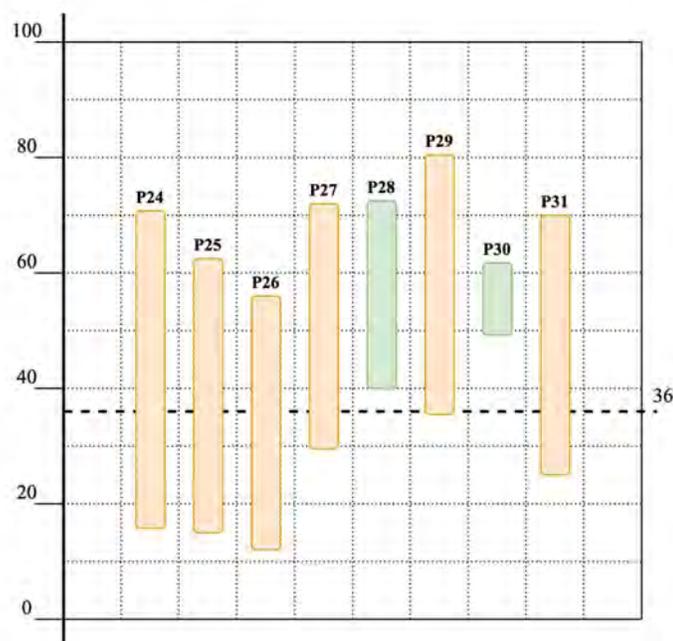


Figura 63

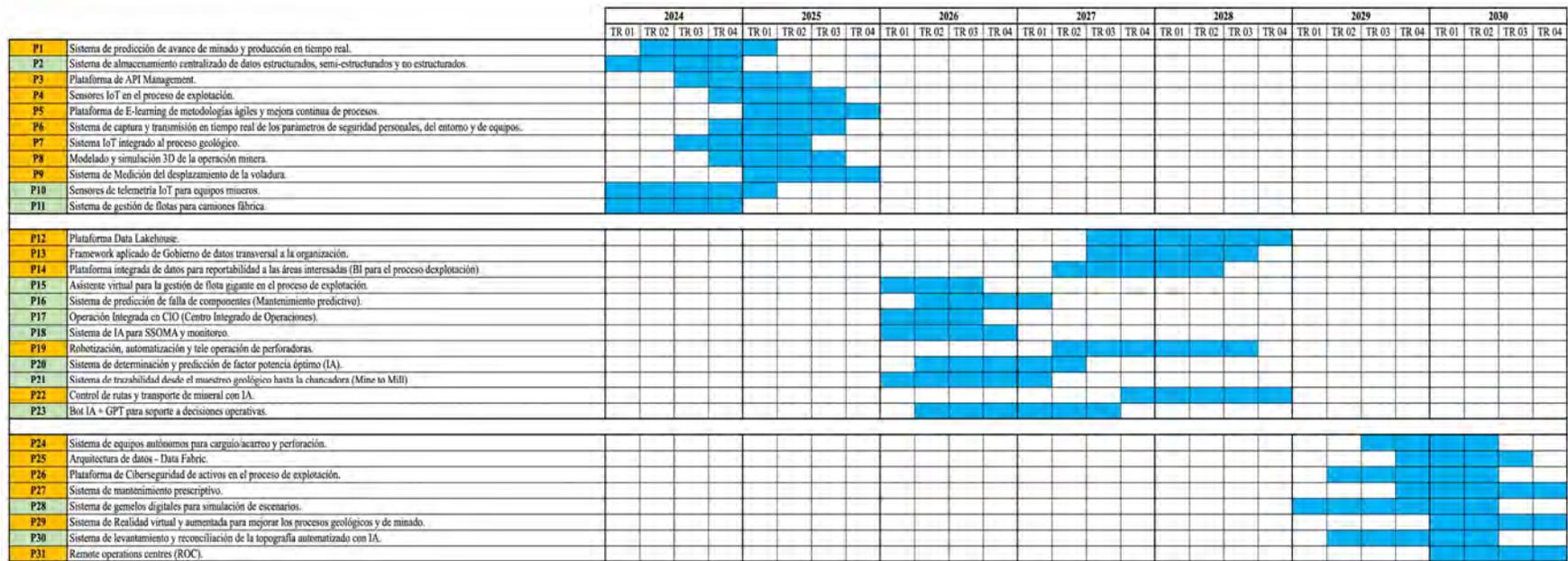
Diagrama de Barras Alternativo Oportunidad (O) - Viabilidad (F) - Proyectos a Largo Plazo



Luego de todo el análisis hecho en cada uno de los proyectos es factible poder establecer un cronograma (diagrama de Gantt) para los proyectos tecnológicos y de innovación a implementar teniendo en consideración la oportunidad y viabilidad de cada proyecto y el grado de incertidumbre. En el siguiente diagrama se detalla el cronograma de los proyectos en base al diseño de *Roadmap* planteado y están divididos en tres etapas. Los proyectos con mejor puntuación y menor grado de incertidumbre se desarrollarán primero (proyectos en verde) y luego los proyectos con menor grado de incertidumbre, oportunidad y viabilidad (ver Figura 64).

Figura 64

Diagrama de Gantt para los Proyectos Tecnológicos y de Innovación en Mina Constanca



Para lograr la factibilidad de los proyectos tecnológicos y de innovación a implementar dentro del *Roadmap* propuesto, la inversión tecnológica juega un papel muy crucial. La inversión tecnológica tiene como principal objetivo aumentar la productividad, reducir costos operativos, cumplir con regulaciones ambientales y mejorar la seguridad de los trabajadores.

De acuerdo a un estudio realizado por Gartner (2022) en donde las empresas a nivel mundial proyectan un crecimiento mayor al 5.1% en inversión tecnológica a partir del año 2022, se toma como base la utilidad neta reportada en los estados financieros consolidados para la Operación Constancia en Perú en los últimos 5 años (ver Apéndice E), y se calcula el 5% sobre la dicha utilidad para poder determinar así el porcentaje estimado de inversión tecnológica anual y posteriormente analizar el factor de variación porcentual por año.

Se observa un resultado de variación negativa alrededor del 50% en el año 2019 frente al año anterior esperando tener mejores resultados en los próximos años, sin embargo, el año 2020 resultó ser un año desafiante por la coyuntura social de la pandemia reportando pérdidas mayores al 100% con respecto al año anterior, y a partir del año 2021 y 2022 se visualiza un crecimiento exponencial evidenciado por la reactivación económica y social. Finalmente, se calcula unos 6.7 millones de dólares al año como resultado del promedio en inversión tecnológica de los años transcurridos en mención (ver Tabla 22).

Tabla 22

Variación Porcentual de los Últimos 5 Años (Expresado en Miles de Dólares)

| Concepto/Años | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Utilidad Neta | 223,314 | 114,883 | -18,839 | 187,244 | 168,197 |
| Inversión Tecnológica (5% sobre Utilidad Neta) | 11,166 | 5,744 | -942 | 9,362 | 8,410 |
| Variación porcentual (año actual/año anterior) | 0% | -49% | -116% | 1,094% | -10% |

Con el resultado del presupuesto estimado anual destinado a la inversión tecnológica, al realizar una proyección financiera para los próximos 7 años dentro del horizonte de corto, mediano y largo plazo del *Roadmap* propuesto, se obtiene un valor aproximado de 47.2 millones de dólares de inversión hasta el año 2030 (ver Tabla 23).

Tabla 23

Proyección Estimada de Inversión Tecnológica por Plazo para los Próximos 7 años

(Expresado en Miles de Dólares)

| Concepto/Años | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Plazo | Corto | Corto | Mediano | Mediano | Mediano | Largo | Largo |
| Inversión | 6,748 | 13,496 | 20,244 | 26,992 | 33,740 | 40,488 | 47,236 |

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. Actualmente en los proyectos mineros no se tiene un alineamiento claro de la estrategia corporativa con la estrategia de tecnologías de información y la unidad minera. Constanza no es ajena a esta situación, por lo cual una herramienta como el *Roadmapping* Cambridge resulta bastante valiosa para poder sincronizar los objetivos de negocio tanto actuales como los de mediano y largo plazo con los proyectos tecnológicos y de innovación que lleven a la organización a alcanzar su visión empresarial.
2. La metodología *Roadmapping* Cambridge ha resultado bastante versátil y didáctica para el planteamiento del *Roadmap* para el proceso de explotación ya que genera una sinergia con herramientas y artefactos que son muy utilizados en planeamiento estratégico empresarial como el análisis PESTEL o la matriz FODA e incluso permite la inclusión de nuevas herramientas como es el caso de Business Model Canvas siendo estos artefactos inputs que facilitan el planteamiento del diseño de *Roadmap*.
3. En el desarrollo del primer objetivo ha permitido conocer a detalle la situación actual a través de las cinco principales áreas que soportan el proceso de explotación en mina. Constanza tanto a nivel de procesos y tecnologías que se usan en la actualidad y de forma complementaria se ha desarrollado el análisis PESTEL, matriz FODA y BMC para un análisis a profundidad de los factores tanto internos como externos que tienen influencia en la organización, todo esto sirve de línea base para el posterior diseño del *Roadmap* para el proceso de explotación.
4. En el segundo objetivo se planteó ya el diseño del *Roadmap* para el proceso de explotación, pero antes de ellos se desarrollaron dos artefactos adicionales recomendados por la metodología de *Roadmapping* de Cambridge. Estos artefactos se han desarrollado

con la información generada en el primer objetivo y adicionalmente con la valiosa información obtenida en las entrevistas con los principales actores dentro del proceso de explotación.

5. El *Roadmap* planteado está acorde con el lineamiento de la metodología presentando los objetivos de negocio, sistemas, productos, servicios y tecnología y recursos en tres líneas de tiempo (corto, mediano y largo plazo) generando un alineamiento entre los objetivos de negocio (recopilados de los artefactos desarrollados y entrevistas) con los sistemas y tecnología necesarios para su cumplimiento.
6. A partir del diseño del *Roadmap* se ha desprendido una cartera de proyectos a implementar en corto, mediano y largo plazo desde el año 2024 hasta el año 2030. Para poder hacer una planificación adecuada con esta lista de proyectos, se ha evaluado cada uno con juicio de expertos orientado hacia la oportunidad y factibilidad para tener una mejor visión de que proyectos tienen mayor incertidumbre y cuáles son los indicados para su inmediata implementación.
7. El tercer objetivo de plantear un cronograma a partir del portafolio de proyectos tecnológicos y de innovación, se ha desarrollado luego del análisis de oportunidad y factibilidad de cada proyecto, generando como producto final un diagrama de Gantt con los proyectos a corto plazo en dos años (hasta 2025), a mediano plazo en cinco años (hasta 2028) y largo plazo en 7 años (2030) partiendo desde el año 2024.

Recomendaciones

1. El *Roadmap* es una herramienta dinámica y necesita estar en una constante actualización y retroalimentación por lo que se recomienda hacer una actualización de los *Roadmap* desarrollados en las organizaciones de forma periódica o cuando se generan cambios significativos a nivel organizacional.
2. Se recomienda incluir más artefactos input para la generación de futuros *Roadmap* tanto para mina Constancia como para otros proyectos mineros que deseen implementar esta herramienta de gestión. Entre los artefactos que se podrían incluir están las cinco fuerzas de Porter, matriz de escenarios, *balance scorecard* entre otros.
3. Se recomienda desarrollar un *Roadmap* Tecnológico transversal de todo el proyecto minero Constancia, involucrando a todos los dueños de procesos además de gerente y ejecutivos del corporativo, todo esto a nivel de sesiones presenciales denominadas T-Plan que se recomienda hacerlas de forma presencial según el *framework* de *Roadmapping* de Cambridge.
4. Se recomienda desarrollar trabajos de investigación similares aplicados a proyectos mineros con diferentes características como minas de oro o de carbón, incluso resultaría muy lúdico aplicarlo a proyectos de minería subterránea donde la tecnología a aplicar tendría que adaptarse al entorno complejo de dichas operaciones.

Capítulo VI. Referencias

- Abele, T., Freese, J., & Laube, T. (2002). *Produkt- und Produktionstechnologie-Roadmaps für das strategische Technologiemanagement*. (P. D. Das innovative Unternehmen: Produkte, Ed.) Wiesbaden: Gabler.
- Agencia Nacional de Minería. (2022). *ANM*. Obtenido de Etapa de Exploración: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/exploracion.pdf>
- Albiol Rodríguez, J. (2015). Un model d'innovació empresarial basat en la metodologia de fulls de ruta. *Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Projectes d'Enginyeria*.
- Albiol Rodríguez, J., & Lloveras Maciá, J. (2009). Proyectos de Innovación a través de Roadmaps. *Departamento de Proyectos de Ingeniería Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Alvarez, L. (2020). *Dimensionamiento del Carguío y Transporte en Minería (DCT)*. Obtenido de Nube Minera: <https://nubeminera.cl/curso/dimensionamiento-del-carguio-y-transporte-en-mineria-dct/>
- Báez, F. (setiembre de 2015). *OMPI REVISTA*. Obtenido de https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2015/05/article_0006.html
- Bazán, R., & Pino, L. (2021). Propuesta de utilización de cámara de aire de doble iniciación en el proceso de voladura de roca tipo toba cristal para reducir el P80 a 12" e incrementar la productividad de la pala PH 4100A en una mina a tajo abierto. Universidad Continental.
- Bernal, C. (2010). Metodología de la Investigación. *Tercera edición*. Colombia: Pearson Educación.
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. *Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas*. doi:<https://doi.org/10.20868/UPM.book.21848>
- Berritzen, G., & Innobasque. (2011). Roadmapping: Una herramienta para definir estrategias de I+D+i de éxito. 32.
- Bustamante Rúa, O., Gaviria Cartagena, A. C., & Restrepo Baena, O. J. (Febrero de 2007). Concentración de Minerales. Medellín, Colombia: Instituto de Monerales CIMEX.
- Cano Mucha, J., & Aguirre Aduato, A. (2019). *Estudio de vibraciones para la selección de explosivo Óptimo en la Unidad Operativa Selene - Compañía Minera Ares S.A.C. Filial de Hochschild*.
- Cruz, E. (10 de junio de 2022). *RumboMinero*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/peru/importante-plan-de-extraccion-unificado/>

- Dammert, A., & Molinelli, F. (2007). *OSINERGMIN*. Obtenido de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf
- Durán, M. M. (2012). El estudio de caso en la investigación cualitativa. *3*(1), 121-134. doi:doi.org/10.22458/rna.v3i1.477
- EIRMA. (1997). *Technology roadmapping: Delivering business vision*. Paris.
- EIRMA. (1998). *Technological Roadmapping. Delivering Business Vision*. Paris: European Industrial Research Management Association.
- El Mercurio. (22 de Julio de 2020). Lanzas hoja de ruta para avanzar en digitalización de industria minera.
- El Peruano. (2021). Decreto Supremo que aprueba la Hoja de Ruta Tecnológica para los Proveedores Tecnológicos de la Minería y crea Comisión Multisectorial de naturaleza temporal.
- Fincheira, V., Moreno, S., Morel, J., Lindhorst, C., Araneda, H., Richard, D., . . . Rojas, G. (2018). *Impacto de las nuevas Tecnologías en las Competencias Requeridas por la Industria Minera*. Santiago: Alder Comunicaciones.
- Garcia, M., & Bray, O. (1997). Fundamentals of technology roadmapping. *Sandia National Laboratories*. doi:https://doi.org/10.2172/471364
- Gartner. (Enero de 2022). *Gartner*. Obtenido de <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-01-18-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-five-point-1-percent-in-2022>
- GeoInnova. (16 de mayo de 2016). *Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente*. Obtenido de Asociación Geoinnova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/>
- Gleeson, D. (24 de January de 2022). *International Mining*. Obtenido de Hudbay's Constancia continuous improvement quest leads to MineSense XRF trial: <https://im-mining.com/2022/01/24/hudbays-constancia-continuous-improvement-quest-leads-minesense-xrf-trial/>
- Gölbaşı, O., & Dagdelen, K. (2017). Equipment Replacement Analysis of Manual Trucks with Autonomous Truck Technology in Open Pit Mines. 19-9 – 19-20. Golden, Colorado, USA.
- Gomez, E. (2019). Aplicación de Modelo Predictivo de Daño (cross hole) para Determinar la vibración Pico Partícula Máxima (vppc) Producida por Voladura y Controlar la Estabilidad de Talud, Mina Constancia. Moquegua, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA.
- Greberg, J., Nilsson, K., Wanhainen, C., Bauer, T., Bergkvist, L., Lindkvist, A., & Johansson, D. (2022). *A competitive and sustainable mineral and mining industry*. Printshop Länskopia i Norrbotten.

- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill Education.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). McGRAW-HILL.
- Herrera, J. (2006). *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. doi:doi:10.20868/UPM.book.10485
- Huamani, N. (2018). Estandarización de la distancia de descargas de camiones mineros en botaderos de desmonte mina, mediante análisis de estabilidad de taludes unidad minera Constancia. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Hudbay Minerals. (2022). *Hudbay*. Obtenido de <https://hudbayminerals.com/peru/default.aspx?LanguageId=1>
- Ilevbare, I. (2014). *An investigation into the treatment of uncertainty and risk in roadmapping: a framework and a practical process*. University of Cambridge.
- Kalenov, O., & Kukushkin, S. (2021). Digital Transformation of Mining Enterprises. *E3S Web of Conferences*(278), 01015. doi:doi.org/10.1051/e3sconf/202127801015
- Kostoff, R., & Schaller, R. (2001). Science and Technology Roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48, 132-143. doi:dx.doi.org/10.1109/17.922473
- Lanfer, S. (2012). *Technology-Roadmapping in a Project-Driven Organization*. University of Twente. Masters Thesis, School of Management and Governance (SMG).
- López-Franco, A. (2013). *Roadmaps o ruta de itinerario como herramienta de planeación tecnológica*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Departamento de Economía, Administración y Mercadología, Tlaquepaque.
- Malan, S. (Octubre de 2021). *How to Advance Sustainable Mining*. Obtenido de IISD: <https://www.iisd.org/system/files/2021-10/still-one-earth-sustainable-mining.pdf>
- Mamani, G. (2022). *Correlación de la Resistencia de la Roca y la Velocidad de Perforación en Proyectos de Voladura – Hudbay Perú s.a.c. – Unidad Minera Constancia*”. Arequipa: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.
- Miles, I. (2009). *Practice on Roadmapping*. Prague, Technology Center of the Academy of Sciences ASCR.
- Ministerio de Energía y Minas. (2018). *El desarrollo de una Mina*. Obtenido de <https://mem.gob.do/wp-content/uploads/2018/06/Folleto-de-Mineria-2.pdf>
- Ministerio de Minería. (noviembre de 2002). *Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas*. Obtenido de http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/ProduccionLimpia/ampl_residuos_solidos.pdf

- Moniri-Morad, A., Pourgol-Mohammad, M., Aghababaei, H., & Sattarvand, J. (2019). A methodology for truck allocation problems considering dynamic circumstances in open pit mines, case study of the Sungun copper mine. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 57-65. doi:10.17794/rgn.2019.4.6
- Montaño, J., Rincón, J., Vargas, W., & Alvarado, H. (Junio de 2021). Incremento del desempeño del sistema de perforación y voladura en la explotación minera el Lucero. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, 19(1), 70-74.
- Moya, X., Neriz, L., & Ramis, F. (January de 2002). Propuesta de evaluación para proyectos de innovación tecnológica. 6(3), 49. ABI/INFORM Global.
- Osses Aguayo, I., Nehring, M., & Wali Ullah, G. (2021). Optimising Productivity and Safety of the Open Pit Loading and Haulage System with a Surge Loader. *Mining*, 1, 167–179. doi:https://doi.org/10.3390/mining1020011
- Pearson, R., Costley, A., Phaal, R., & Nuttall, W. (2020). Technology Roadmapping for mission-led agile hardware. *Technological Forecasting & Social Change*, 158(2020), 120064. doi:https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120415
- Phaal, R. (2022). *Cambridge Roadmapping*. Obtenido de <https://www.cambridgeroadmapping.net/roadmapping>
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). Characterisation of Technology Roadmaps: Purpose and Format. *Technology Management for Global Economic Growth*, 2(2), 367 - 374. doi:10.1109/PICMET.2001.952036
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2003). Technology Roadmapping-developing a practical approach for linking resources to strategic goals. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 217(9), 1183-1195.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmappin-A planning framework for evolution and revolution. *Technological forecasting and social change*, 71(1-2), 5-26. doi:DOI:10.1016/S0040-1625(03)00072-6
- Rojas Linares, E. (2021). Enfoque predictivo para la optimización del tamaño de fragmentación en base a técnicas de perforación y voladura de rocas. Lima, Perú.
- Romero, A. (2021). *Evaluación de equipos de carguío y transporte de mineral para el cálculo óptimo del número de camiones*, Minera San Cristóbal S.A.A. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10345/1/IV_FIN_110_T E_Romero_Huaranga_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10345/1/IV_FIN_110_T_E_Romero_Huaranga_2021.pdf)
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6a ed.). México D.F: Mcgraw-Hill/Interamericana Editores.
- Shvedina, S. (2020). Digital transformation of mining enterprises contributes to the rational use of resources. 408(1), 012064.

- Siebelink, R., Hofman, E., Halman, J., & Nee, I. (Agosto de 2021). Roadmapping: (Missed) opportunities to overcome strategic challenges. *Business Horizons*, 64(4), 501-512. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.02.014>
- Spelman, M., Davidson, G., Weinelt, B., Joseph, L., & Siyam, R. (2017). *Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry*. World Economic Forum.
- Tamayo Pacheco, J. F., Salvador Jácome, J., & Vásquez Cordano, A. L. (2017). La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país. Lima, Perú: Osinergmin.
- Tiempo Minero. (7 de julio de 2020). *Camiper*. Obtenido de Reinicio de operaciones mineras en Perú avanza al 90%: <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/reinicio-de-operaciones-mineras-en-peru-avanza-al-90/>
- Vargas, X. (2011). ¿Cómo hacer investigación cualitativa? Una guía práctica para saber qué es la investigación en general y cómo hacerla, con énfasis en las etapas de la investigación cualitativa. Jalisco, México: ETXETA. Obtenido de <http://www.paginaspersonales.unam.mx>
- Villarino, J., Kulka, M., & Lucchini, F. (2015). *Roadmap: Digitalización para una Minería 4.0*. Fundación Chile.
- Zúñiga Estay, M. H. (2021). Evaluación económica camiones autónomos vs convencionales. Santiago, Chile.

Apéndice A: Carta de Autorización de la Operación Minera

AUTORIZACION DE USO DE INFORMACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN GERENCIA DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN

HUDBAY

Yo: Paulo Sergio Alcazar Valdivia
Identificado con DNI N°: 70498419, en mi calidad de Superintendente de Productividad y Gestión Mina
del área de: Productividad y Gestión Mina
de la empresa: HUDBAY PERÚ S.A.C. con RUC N°: 20511165181

OTORGO LA AUTORIZACIÓN

A los señores Lester Juan De Dios Villar Zamora identificado con DNI N° 46874633, Luis Alberto Hancoccallo Saico identificado con DNI N° 46900775, Max Andrés Ruiz Minaya identificado con DNI N° 44656399, maestrantes de especialidad **Gerencia de tecnologías de Información** en la escuela de negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para que utilicen la siguiente información:

- Documentación de procesos, sistemas y tecnología del proceso de explotación.
- Entrevistas con los key-users de las áreas de Planeamiento, Geología, Control mina, Mantenimiento y Perforación y Voladura.
- Información general sobre la operación

Con la finalidad de que puedan desarrollar y presentar su Tesis y de esta manera optar el grado académico de **Magíster en Gerencia de Tecnologías de Información**.

Así mismo se establece que dicha información solo es para fines académicos en la referida institución no pudiendo ser compartida con terceros.



HUDBAY PERU S.A.C.
Paulo S. Alcazar Valdivia
Superintendente de Productividad y
Gestión Mina

Firma y sello del representante
de la empresa

Fecha: 12/06/23
DNI: 70498419
N° Teléfono: 952319317

Apéndice B: Validación de los Instrumentos

CARTA DE PRESENTACIÓN

Sr. Mg. Ing. Alejandro José Ortiz Monteza

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de expertos

Nos es grato comunicarme con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiantes del Programa de Maestría en Gerencia de Tecnologías de Información por la Pontificia Universidad Católica del Perú, requiero validar el instrumento con el cual recogeré la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

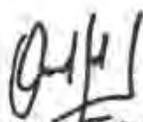
El título del proyecto de investigación es: **Roadmap tecnológico para el proceso de explotación de la unidad minera Constancia** y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas de Tecnología de Información.

El expediente de validación, que hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



Hancoccallo Saico,
Luis Alberto

DNI: 46900775



Ruiz Minaya, Max
Andrés

DNI: 44656399



Villar Zamora, Lester
Juan De Dios

DNI: 46874633

CARTA DE PRESENTACIÓN

Sr. Mg. Ing.: LUIS ALEXIS BUSTIOS ORELLANA

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de expertos

Nos es grato comunicarme con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiantes del Programa de Maestría en Gerencia de Tecnologías de Información por la Pontificia Universidad Católica del Perú, requiero validar el instrumento con el cual recogeré la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

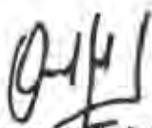
El título del proyecto de investigación es: **Roadmap tecnológico para el proceso de explotación de la unidad minera Constancia** y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas de Tecnología de Información.

El expediente de validación, que hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



Hancoccallo Saico,

Luis Alberto

DNI: 46900775



Ruiz Minaya, Max

Andrés

DNI: 44656399



Villar Zamora, Lester

Juan De Dios

DNI: 46874633

CARTA DE PRESENTACIÓN

Sr. Mg. Ing.: JOSE LUIS RENTERIA PIEROLA

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de expertos

Nos es grato comunicarme con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiantes del Programa de Maestría en Gerencia de Tecnologías de Información por la Pontificia Universidad Católica del Perú, requiero validar el instrumento con el cual recogeré la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

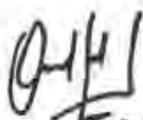
El título del proyecto de investigación es: **Roadmap tecnológico para el proceso de explotación de la unidad minera Constancia** y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas de Tecnología de Información.

El expediente de validación, que hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



Hancoccallo Salco,
Luis Alberto

DNI: 46900775



Ruiz Minaya, Max
Andrés

DNI: 44656399



Villar Zamora, Lester
Juan De Dios

DNI: 46874633

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable: Roadmap

Un "Roadmap" es una representación visual y planificada de un conjunto de objetivos, hitos y pasos a seguir para alcanzar un objetivo específico. En términos simples, es una guía estratégica que muestra el camino a seguir para lograr un resultado deseado. Los Roadmaps son utilizados en diversos contextos, como negocios, tecnología, proyectos y planificación estratégica, para comunicar de manera clara y concisa cómo se desarrollará un proceso a lo largo del tiempo.

Dimensión 1: Función y estrategia del área operativa

Implica asegurarse de que las actividades operativas cotidianas en las áreas dentro del proceso de explotación estén alineadas con los objetivos y la visión estratégica de la mina, y que se ejecuten de manera eficiente y efectiva para lograr resultados satisfactorios a corto, mediano y largo plazo.

Dimensión 2: Procesos

Centrado en cómo las áreas se organizan, gestionan y mejoran sus actividades para lograr sus objetivos. Los procesos eficientes y bien diseñados son esenciales para el éxito operativo y estratégico de una organización.

Dimensión 3: Sistemas

La dimensión de Sistemas se centra en cómo la tecnología se integra en las áreas para con el proceso de explotación de la unidad minera para mejorar la eficiencia, la toma de decisiones y la gestión de datos. Los sistemas bien implementados y administrados pueden tener un impacto significativo en la productividad y el éxito general de la organización.

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO PARA OBTENER
INFORMACIÓN RELACIONADA AL OBJETIVO DE ESTUDIO**

| Núm. | Dimensiones / Ítem | Claridad ¹ | Coherencia ² | Relevancia ³ | OBSERVACIONES |
|--|--|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|
| | | 1=Si | 1=Si | 1=Útil | |
| | | 0=No | 0=No | 0=innecesaria | |
| Dimensión: Función y estrategia del área operativa | | | | | |
| 1 | ¿Cuál es el propósito u objetivo del área con relación al proceso de explotación? | 1 | 1 | 1 | |
| 2 | ¿Podría comentar los desafíos del área con relación a los objetivos a mediano y largo plazo? | 1 | 1 | 1 | |
| 3 | ¿Los objetivos que se plantean siempre son alcanzados? ¿Por qué si y porque no? | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión: Procesos | | | | | |
| 4 | ¿Cuáles son los principales procesos dentro del área? | 1 | 1 | 1 | |
| 5 | ¿Cómo se desarrollan los principales procesos mencionados dentro del área y cómo influyen dentro del proceso de explotación? | 1 | 1 | 1 | |
| 6 | ¿Cuáles son los principales cuellos de botella o puntos de dolor en el desarrollo de sus actividades? ¿Podría brindarnos un mayor detalle de los puntos mencionados? | 1 | 1 | 1 | |
| 7 | ¿Con qué otras áreas se relacionan y de qué forma?, además ¿Qué información requieren de las áreas con las que se relacionan? | 1 | 1 | 1 | |
| 8 | Desde su perspectiva, ¿Cómo visualiza a largo plazo el desarrollo de actividades dentro de su área? | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión: Sistemas | | | | | |
| 9 | Dentro de su área: ¿Podría explicarnos cómo funcionan los principales sistemas en relación con el proceso de explotación? ¿podría brindarnos mayor detalle? | 1 | 1 | 1 | |
| 10 | En su opinión, ¿Cómo la tecnología o qué tipo de tecnología podría ser utilizado para afrontar los desafíos mencionados “(en la pregunta 2 de los objetivos)” o eliminar las barreras en el logro de los objetivos del área? | 1 | 1 | 1 | |
| 11 | ¿Podría comentar si conoce algunas tecnologías que pueden ser implementadas para mejorar la eficiencia y productividad en el área? | 1 | 1 | 1 | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Suficiente

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del experto validador: Ortiz Monteza, Alejandro José

Especialidad del validador: MBA. Ingeniero de Minas

¹Claridad: La pregunta se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.

²Coherencia: La pregunta tiene relación lógica con la investigación.

³Relevancia: La pregunta es esencial o importante, es decir, debe ser incluido.

Nota: Se dice suficiencia cuando las preguntas planteadas son suficientes para medir la dimensión.

9 de noviembre del 2022


 Firma del Experto Informante
 DNI: 42515460

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO PARA OBTENER
INFORMACIÓN RELACIONADA AL OBJETIVO DE ESTUDIO**

| Núm. | Dimensiones / Ítem | Claridad ¹ | Coherencia ² | Relevancia ³ | OBSERVACIONES |
|--|--|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|
| | | 1=Si | 1=Si | 1=Útil | |
| | | 0=No | 0=No | 0=innecesaria | |
| Dimensión: Función y estrategia del área operativa | | | | | |
| 1 | ¿Cuál es el propósito u objetivo del área con relación al proceso de explotación? | 1 | 1 | 1 | |
| 2 | ¿Podría comentar los desafíos del área con relación a los objetivos a mediano y largo plazo? | 1 | 1 | 1 | |
| 3 | ¿Los objetivos que se plantean siempre son alcanzados? ¿Por qué sí y porque no? | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión: Procesos | | | | | |
| 4 | ¿Cuáles son los principales procesos dentro del área? | 1 | 1 | 1 | |
| 5 | ¿Cómo se desarrollan los principales procesos mencionados dentro del área y cómo influyen dentro del proceso de explotación? | 1 | 1 | 1 | |
| 6 | ¿Cuáles son los principales cuellos de botella o puntos de dolor en el desarrollo de sus actividades? ¿Podría brindarnos un mayor detalle de los puntos mencionados? | 1 | 1 | 1 | |
| 7 | ¿Con qué otras áreas se relacionan y de qué forma?, además ¿Qué información requieren de las áreas con las que se relacionan? | 1 | 1 | 1 | |
| 8 | Desde su perspectiva, ¿Cómo visualiza a largo plazo el desarrollo de actividades dentro de su área? | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión: Sistemas | | | | | |
| 9 | Dentro de su área: ¿Podría explicarnos cómo funcionan los principales sistemas en relación con el proceso de explotación? ¿podría brindarnos mayor detalle? | 1 | 1 | 1 | |
| 10 | En su opinión, ¿Cómo la tecnología o qué tipo de tecnología podría ser utilizado para afrontar los desafíos mencionados "(en la pregunta 2 de los objetivos)" o eliminar las barreras en el logro de los objetivos del área? | 1 | 1 | 1 | |
| 11 | ¿Podría comentar si conoce algunas tecnologías que pueden ser implementadas para mejorar la eficiencia y productividad en el área? | 1 | 1 | 1 | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del experto validador: BUSTIOS ORELLANA, LUIS ALEXIS

Especialidad del validador: MBA, INGENIERO MECÁNICO

¹Claridad: La pregunta se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.

²Coherencia: La pregunta tiene relación lógica con la investigación.

³Relevancia: La pregunta es esencial o importante, es decir, debe ser incluido.

Nota: Se dice suficiencia cuando las preguntas planteadas son suficientes para medir la dimensión.

9 de noviembre del 2022

IPESASA.C.

.....
ING. ALEXIS BUSTIOS ORELLANA
Superintendente de Emisión, ITC-1

Firma del Experto Informante

DNI: 40220011

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO PARA OBTENER
INFORMACIÓN RELACIONADA AL OBJETIVO DE ESTUDIO**

| Núm. | Dimensiones / Ítem | Claridad ¹ | Coherencia ² | Relevancia ³ | OBSERVACIONES |
|--|--|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|
| | | 1=Si | 1=Si | 1=Útil | |
| | | 0=No | 0=No | 0=innecesaria | |
| Dimensión: Función y estrategia del área operativa | | | | | |
| 1 | ¿Cuál es el propósito u objetivo del área con relación al proceso de explotación? | 1 | 1 | 1 | |
| 2 | ¿Podría comentar los desafíos del área con relación a los objetivos a mediano y largo plazo? | 1 | 1 | 1 | |
| 3 | ¿Los objetivos que se plantean siempre son alcanzados? ¿Por qué sí y porque no? | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión: Procesos | | | | | |
| 4 | ¿Cuáles son los principales procesos dentro del área? | 1 | 1 | 1 | |
| 5 | ¿Cómo se desarrollan los principales procesos mencionados dentro del área y cómo influyen dentro del proceso de explotación? | 1 | 1 | 1 | |
| 6 | ¿Cuáles son los principales cuellos de botella o puntos de dolor en el desarrollo de sus actividades? ¿Podría brindarnos un mayor detalle de los puntos mencionados? | 1 | 1 | 1 | |
| 7 | ¿Con qué otras áreas se relacionan y de qué forma?, además ¿Qué información requieren de las áreas con las que se relacionan? | 1 | 1 | 1 | |
| 8 | Desde su perspectiva, ¿Cómo visualiza a largo plazo el desarrollo de actividades dentro de su área? | 1 | 1 | 1 | |
| Dimensión: Sistemas | | | | | |
| 9 | Dentro de su área: ¿Podría explicarnos cómo funcionan los principales sistemas en relación con el proceso de explotación? ¿podría brindarnos mayor detalle? | 1 | 1 | 1 | |
| 10 | En su opinión, ¿Cómo la tecnología o qué tipo de tecnología podría ser utilizado para afrontar los desafíos mencionados "(en la pregunta 2 de los objetivos)" o eliminar las barreras en el logro de los objetivos del área? | 1 | 1 | 1 | |
| 11 | ¿Podría comentar si conoce algunas tecnologías que pueden ser implementadas para mejorar la eficiencia y productividad en el área? | 1 | 1 | 1 | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir () No aplicable ()

Apellidos y nombres del experto validador: Mtr Ing. JOSE LUIS RENTERIA PIEROLA

Especialidad del validador: Ingeniero de Sistemas - Ciberseguridad y Gestión de la Información

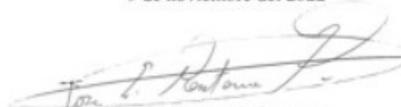
¹Claridad: La pregunta se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.

²Coherencia: La pregunta tiene relación lógica con la investigación.

³Relevancia: La pregunta es esencial o importante, es decir, debe ser incluido.

Nota: Se dice suficiencia cuando las preguntas planteadas son suficientes para medir la dimensión.

9 de noviembre del 2022


 Firma del Experto Informante.
 DNI: .07972706.....

Apéndice C: Ficha Técnica de Entrevista

| | |
|----------------------------------|---|
| Técnica: | Entrevista a profundidad a expertos |
| Tipo de entrevista: | Semi estructurada abierta |
| Nro. Preguntas de la entrevista: | 11 preguntas |
| Tiempo de aplicación: | 1 hora |
| Secuencia de entrevista: | Un participante a la vez |
| Participantes: | Superintendentes, Jefes e Ingenieros Senior de: |
| | Área de Geología |
| | Área de Control Mina |
| | Área de Mantenimiento Mina |
| | Área de Planeamiento |
| Moderador: | Área de Perforación y Voladura |
| | Lester Juan de Dios Villar Zamora (Se determinó como moderador debido a que posee mayor experiencia en la aplicación de entrevistas) |
| | Analistas de la entrevista: |
| | Max Andrés Ruiz Minaya |
| | Luis Alberto Hancoccallo Saico |
| Plataforma: | MS Teams |
| Herramientas de análisis: | FODA |
| | PESTEL |
| | BUSINESS MODEL CANVAS (BMC) |
| | LINKING GRIDS |
| | INNOVATION MATRIX |
| Software de análisis: | Ms Word, Ms Excel |
| | Drawio (Google) |
| | Bizagi |
| | Nvivo 12 Plus |

Apéndice D: Frecuencia de Palabras en Entrevista

| N° | Palabra | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) |
|----|----------------|----------|--------|--------------------------|
| 1 | información | 11 | 74 | 0.82 |
| 2 | objetivos | 9 | 66 | 0.73 |
| 3 | sistema | 7 | 57 | 0.63 |
| 4 | tecnología | 10 | 49 | 0.54 |
| 5 | mantenimiento | 13 | 46 | 0.51 |
| 6 | equipos | 7 | 45 | 0.50 |
| 7 | tiempo | 6 | 45 | 0.50 |
| 8 | datos | 5 | 36 | 0.40 |
| 9 | proyecto | 8 | 27 | 0.30 |
| 10 | explotación | 11 | 26 | 0.29 |
| 11 | planeamiento | 12 | 23 | 0.26 |
| 12 | costos | 6 | 22 | 0.24 |
| 13 | geología | 8 | 21 | 0.23 |
| 14 | control | 7 | 19 | 0.21 |
| 15 | producción | 10 | 19 | 0.21 |
| 16 | gestión | 7 | 18 | 0.20 |
| 17 | operaciones | 11 | 16 | 0.18 |
| 18 | disponibilidad | 14 | 15 | 0.17 |
| 19 | integración | 11 | 15 | 0.17 |
| 20 | perforación | 11 | 15 | 0.17 |
| 21 | voladura | 8 | 15 | 0.17 |
| 22 | operación | 9 | 13 | 0.14 |
| 23 | optimización | 12 | 13 | 0.14 |
| 24 | acarreo | 7 | 12 | 0.13 |
| 25 | desarrollo | 10 | 12 | 0.13 |
| 26 | software | 8 | 11 | 0.12 |
| 27 | estrategia | 10 | 11 | 0.12 |
| 28 | geológico | 9 | 10 | 0.11 |
| 29 | propósito | 9 | 10 | 0.11 |
| 30 | seguridad | 9 | 10 | 0.11 |



Apéndice E: Estados Financieros Consolidados de la Operación Constancia

Estados Financieros Consolidados de la Operación Constancia Perú del 31/12/2018 al 31/12/2022 (expresado en miles de dólares)

| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ingresos | 805,044 | 700,018 | 476,719 | 761,544 | 828,150 |
| Costos | | | | | |
| Costos de Operación Minera | 353,199 | 356,183 | 300,087 | 360,183 | 419,535 |
| Depreciación y Amortización | 211,152 | 209,126 | 184,275 | 194,408 | 211,043 |
| Utilidad Bruta | 240,693 | 134,709 | -7,643 | 206,953 | 197,572 |
| Gastos Operativos | | | | | |
| Gastos de Exploración y Evaluación | 5,640 | 5,804 | 6,295 | 9,218 | 13,359 |
| Otros gastos de Operación | 11,739 | 14,022 | 4,901 | 10,491 | 16,016 |
| Utilidad Operacional | 223,314 | 114,883 | -18,839 | 187,244 | 168,197 |
| Utilidad Neta | 223,314 | 114,883 | -18,839 | 187,244 | 168,197 |

Adaptado de "Five-Year Financial Data" por Hudbay Minerals Inc., 2023 (<https://hudbayminerals.com/investors/financial-reporting/default.aspx>).