



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de Mejora en Tecnología Avanzada para la Seguridad y Continuidad Operacional en Minera Anglo American, División Las Tórtolas.

Proyecto para optar el título de Ingeniero Industrial

Profesor Guía: Eduardo Reyes Vera
Alumnos: Daniela Marlen Ortiz Cortés
Luis Felipe Sánchez Godoy



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

© Luis Felipe Sánchez Godoy – Daniela Marlen Ortiz Cortés

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica del documento.

Santiago de Chile 2025



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

AGRADECIMIENTOS

Desde siempre, enfrenté con temor la posibilidad de cursar una carrera universitaria, mi base educativa no fue la más sólida y esto generaba en mí una profunda incertidumbre sobre si sería capaz de completar este proceso con éxito. Además, estudiar ingeniería parecía un sueño inalcanzable debido a las limitaciones económicas que enfrentaba. Sin embargo, comprendí que, aunque la vida esté llena de obstáculos, los verdaderos límites los establece uno mismo.

Hace aproximadamente tres años, tomé una de las decisiones más desafiantes pero también más trascendentales de mi vida. Impulsado por el deseo de superación y la firme determinación de construir un futuro más prometedor, opté por renunciar a mi antiguo empleo, las exigencias propias de trabajar en minería hacían imposible compatibilizar el trabajo con los estudios. De igual modo, asumí el sacrificio de vender mi vehículo para poder financiar mi educación. Sin duda, fue un acto de fe, una apuesta por un camino que, aunque entonces parecía incierto, estaba lleno de promesas y oportunidades que hoy se están haciendo realidad.

Hoy, al alcanzar este momento tan significativo, solo puedo expresar mi más profundo agradecimiento primeramente a Dios, pues fue quien me ayudó y dio la sabiduría e inteligencia para culminar este importante proceso formativo. En segundo lugar, a mi familia, a mi novia, a mis compañeros y por supuesto a mis profesores por compartir sus conocimientos y alentarme a crecer, y a cada persona que de alguna manera contribuyó a que este sueño se convirtiera en realidad. Este logro no solo es el reflejo de mi esfuerzo y sacrificio, sino también del respaldo y la confianza que me brindaron a lo largo de esta etapa.

Luis Felipe Sánchez.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

AGRADECIMIENTOS

Si bien nunca estuvo dentro de mis planes buscar una ingeniería, esta llegó a mi de una forma inesperada, como una decisión algo loca, incierta, y con muchas dificultades en un comienzo. Día a día, me dejé llevar y encantar con esta nueva experiencia que ha sido sin duda una de las más desafiantes y hermosas que he vivido, ya que una vez más he podido superar los obstáculos, a su vez en el camino se cruzaron diferentes personas que hicieron el paso a paso más grato, y aún más lleno de aprendizaje.

Nada de lo que estoy viviendo hoy en día hubiese sido posible sin el constante amor y contención de mis padres Marcia e Iván, quienes son maravillosos y siempre nos enseñaron a superarnos y ser cada día mejor como personas, siendo gente de bien y por sobre todo respetando a cada ser que nos rodea.

Alcanzar este tremendo momento, también es posible gracias a mis grandes amigos y partners laborales ya que siempre estaba esa palabra de aliento cuando el cansancio se hacía presente, celebrando cada victoria como si fuera propia y ayudando a equilibrar trabajo y estudios, muchas veces aliviando un poquito más mi carga en los días de solemnes, talleres y controles.

Finalmente mi chiquitita, a mi Fernandita le dedico gran parte de todo lo que hago, mi hermana pequeña es quien ha estado desde el primer momento en que tomé la decisión de volver a estudiar, es la que me acompaña día a día en mis locuras, es quien me apapachaba aquellos días en que el camino se ponía más difícil y a su vez la que celebraba conmigo cada triunfo, y por supuesto quien próximamente al igual que yo estará recibiendo su título.

Hoy se finaliza este proyecto donde aprendimos de cada profesor, de cada compañero y sin duda agradezco enormemente a Feli, mi partner en proyecto de título por su tremenda paciencia, amistad y confianza hacia mi persona, no nos equivocamos al elegirnos querido amigo, ahora se viene el éxito!.

Daniela Ortiz Cortés.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES DEL PROYECTO	11
2.1.- Descripción del Problema	11
2.2.- Propuesta Solución	13
2.3.- Alcances y limitaciones del Proyecto	14
2.4.- Objetivos del Proyecto	18
2.4.1.- <i>Objetivo General</i>	18
2.4.2.- <i>Objetivos Específicos</i>	18
2.5.- Marco Teórico	20
2.5.1.- <i>Análisis</i>	20
2.5.2.- <i>Formulación de Propuestas</i>	20
2.5.3.- <i>Análisis Económico</i>	21
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	22
3.1.- Descripción de la Empresa	22
3.1.1.- <i>Antecedentes Generales de la Empresa</i>	22
3.1.2.- <i>Descripción de la Organización</i>	24
3.1.3.- <i>Estructura Interna</i>	27
3.2.- <i>Procesos actuales de la Empresa</i>	28
3.3.- Descripción del Problema	30
3.3.1.- <i>Diagrama de Ishikawa</i>	40
3.4.- Clasificación de riesgos o criticidad	42
3.5.- Resumen de Criticidad	45
3.5.1.- <i>Robo de materiales, equipos y activos fijos. Destrucción de oficinas pertenecientes tanto a contratistas como a Anglo American Chile.</i>	
3.5.2.- <i>Falta de monitoreo adecuado y carencia en los sistemas de detección temprana en la continuidad operacional.</i>	



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

RESUMEN

Anglo American es una de las empresas del rubro minero líder a nivel mundial, contando con amplias operaciones en el país, proporcionando muchos de los metales y minerales que son altamente necesarios para el desarrollo de diferentes sectores.

En Chile, las divisiones de Anglo American se dedican a la producción de concentrado de cobre, cátodos de cobre y productos secundarios asociados, tales como molibdeno y plata. Dentro de los objetivos de la empresa, se encuentran desarrollar operaciones mineras duraderas, rentables, social y ambientalmente responsable, siendo justamente estos objetivos los que nos han motivado a realizar un proyecto de mejora, dado que aún existen ciertas inconsistencias para poder lograr dicha visión de empresa.

El proyecto de mejora que se trabajará a lo largo de este documento se centra en mejorar la seguridad y eficiencia operativa de la minera, específicamente en División Las Tórtolas, dado que, según los estudios, se ha podido identificar una tremenda oportunidad de mejorar dichas condiciones, puesto que la operación se ha visto interrumpida, dado los acontecimientos de robos, incendios y manifestaciones que afectan tanto a las personas que trabajan en la faena como al entorno de esta.

La propuesta de solución que se ha visualizado comprende en el uso de tecnología de última generación, la cual entregará información en tiempo real, permitiendo de esta manera prever acciones de desastres, ya sean provocados por manifestaciones o bien por mantención, generando optimización en las operaciones, reduciendo costos y cumpliendo con las regulaciones ambientales vigentes en el país.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ABSTRACT

Anglo American is one of the world's leading mining companies, with extensive operations in our country, providing many of the metals and minerals that are highly necessary for the development of different sectors.

In Chile, Anglo American's divisions are dedicated to the production of copper concentrate, copper cathodes and associated secondary products, such as molybdenum and silver.

Among the company's objectives are to develop sustainable, profitable, socially and environmentally responsible mining operations, and these objectives are precisely what have motivated us to carry out an improvement project, given that there are still certain inconsistencies in achieving this company vision.

The improvement project that will be worked on throughout this document focuses on improving the safety and operational efficiency of the mine, specifically in the Las Tórtolas Division, given that according to the studies, a tremendous opportunity has been identified to improve these conditions, since the operation has been interrupted due to thefts, fires and demonstrations that affect both the people who work at the site and its surroundings.

The proposed solution that has been visualized includes the use of cutting-edge technology, which will provide information in real time, thus allowing disaster actions to be anticipated, whether caused by demonstrations or by maintenance, generating optimization in operations, reducing costs and complying with the environmental regulations in force in the country.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los Atacameños, establecidos en los valles cordilleranos de las actuales regiones de Tarapacá y Antofagasta, fueron la primera civilización en Chile en desarrollar actividades de extracción mineral. Este pueblo originario destacó por la explotación temprana del cobre, especialmente en la zona donde hoy se encuentra la División Chuquibambilla de Codelco, una de las minas de cobre más grandes y emblemáticas del mundo. Desde tiempos precolombinos, Chile ya contaba con las mayores reservas de cobre a nivel global, distribuidas a lo largo de la Cordillera de los Andes, lo que subraya su relevancia histórica como potencia minera.

Durante el siglo XIX y principios del XX, esta riqueza mineral atrajo el interés de geólogos e ingenieros estadounidenses, quienes realizaron exploraciones en busca de nuevos yacimientos con fines de explotación. Este creciente interés incentivó la llegada de corporaciones norteamericanas, cuyo rol fue crucial en la industrialización de la minería chilena. Su participación permitió no solo la identificación de yacimientos estratégicos, sino también la introducción de tecnologías avanzadas que transformaron las prácticas de extracción y procesamiento del cobre.

Con el paso del tiempo, la estabilidad política y económica del país facilitó la creación de un entorno favorable para la inversión extranjera, promovido mediante concesiones, regulaciones específicas y políticas orientadas al desarrollo minero. Este marco incentivó la modernización de las operaciones mineras y potenció la exploración y explotación de recursos. La incorporación de nuevas tecnologías permitió una transformación radical en los procesos productivos, ampliando la extracción no solo de cobre, sino también de subproductos como molibdeno, plata y oro, consolidando a la minería como el motor económico del país.

El crecimiento de la demanda internacional de cobre, impulsado por la electrificación y la industrialización en mercados globales, fortaleció aún más esta actividad. La expansión de la producción minera no solo consolidó a Chile como líder mundial en la industria, sino que también impulsó el desarrollo de infraestructura estratégica. La construcción y modernización de ferrocarriles, carreteras y puertos permitieron un transporte eficiente desde las remotas zonas de extracción hasta los mercados internacionales. Este proceso marcó un antes y un después en la historia económica, social y cultural del país, posicionando al sector minero como un pilar fundamental del desarrollo nacional.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Es importante señalar que el impacto de la minería en la economía chilena ha sido innegable, constituyendo un pilar fundamental en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) del país. No obstante, es crucial señalar que el avance económico promovido por este sector no debe entenderse exclusivamente como un proceso de producción ininterrumpida. A lo largo del tiempo, la industria minera ha experimentado un proceso de regulación progresivo, dado que, en décadas pasadas, las normativas ambientales y preventivas eran deficientes. Hoy en día, con la existencia de organismos como Sernageomin, la Superintendencia del Medio Ambiente y otras entidades reguladoras, las compañías mineras se han visto obligadas a cumplir con estrictos lineamientos orientados a reducir el impacto ambiental de sus actividades. Esta transformación ha sido clave para asegurar una minería más responsable y sostenible, alineada con los estándares medioambientales y de seguridad vigentes.

Dicho lo anterior, es posible afirmar que la minería ha experimentado una transformación y adaptación constante ante una serie de cambios que no solo han sido regulatorios, sino también tecnológicos, sociales, ambientales y de seguridad. El significativo cambio en el ámbito regulatorio ha llevado a las empresas mineras a enfrentar una mayor exposición a severas multas y sanciones. Además, el creciente aumento de la delincuencia y los robos en el país ha hecho que la minería no quede exenta de este fenómeno, viéndose obligada a adoptar nuevas medidas para proteger sus activos y garantizar la seguridad de sus operaciones. Sin embargo, las inversiones realizadas en tecnologías tradicionales, como cámaras de vigilancia analógicas y sistemas de alarmas convencionales, así como el considerable esfuerzo destinado a capacitar al personal para mejorar la supervisión y monitoreo mediante rondas a pie y patrullajes vehiculares, están quedando obsoletas ante los constantes avances en sistemas de monitoreo de última generación y en tiempo real.

Es así como, en parte, surge la necesidad de estudiar, proponer y posteriormente implementar una nueva tecnología que permita enfrentar de manera más efectiva la serie de desafíos de la cual Anglo American, División Las Tórtolas no es ajena, siendo un ejemplo destacado el uso de drones. Durante la extensión del informe, se analizarán los problemas actuales que enfrenta la compañía, y se explicará la importancia e impacto que tiene la implementación de drones equipados con cámaras de alta resolución en comparación con las tecnologías y estrategias tradicionales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1.- Descripción del Problema.

La problemática que se ha identificado surge a raíz de diversos acontecimientos que han tenido relación con una seguidilla de robos (vehículos, instalaciones industriales y aparatos tecnológicos) al interior de Minera Anglo American, División Las Tórtolas. Sin embargo, la preocupación no repercute tan solo en los saqueos que han ocurrido en las dependencias de la compañía, sino que también en destrozos que han desencadenado la provocación intencionada de incendios. Y si esto fuera poco, en cuanto a disturbios, se han evidenciado pequeños grupos de personas que realizan manifestaciones e interrupciones del tránsito en los caminos públicos, inhabilitando el acceso a las operaciones de Anglo American y bloqueando el libre desplazamiento de camiones cargados con concentrado de cobre proveniente de la minera, lo cual pone en riesgo la seguridad e integridad de los trabajadores.

En definitiva, el gran dilema radica en que a pesar de la presencia de la empresa contratista “Somacor”, quien es la encargada de proporcionar servicios de seguridad y orden, aún continúan ocurriendo bastantes imprevistos. En otras palabras, con respecto a las prestaciones que está brindando dicha empresa, se ha llegado a la conclusión de que no han sido lo suficientemente capaces de abordar esta problemática, dado que todos los eventos mencionados anteriormente, han evidenciado una deficiencia significativa en términos de seguridad y monitoreo. De hecho, la prensa no siempre reporta los sucesos mencionados previamente. A pesar de ello, dentro de los datos y registros que se manejan en la compañía, ya han ocurrido aproximadamente 9 eventos en lo que va del año, siendo algunos de ellos anunciados por periódicos locales y municipios vecinos que comunican mediante sus plataformas en línea.

Como consecuencia, surge la idea de desarrollar un plan de mejora para eliminar o reducir este impacto. No obstante, es importante considerar que, para poder continuar con el desarrollo y comprensión del problema, se debe señalar lo siguiente:

La Planta Concentradora “Las Tórtolas” se ubica en el valle central de la Región Metropolitana, en la Provincia de Chacabuco, comuna de Colina, aproximadamente a 30 km al norte de Santiago. Esta división está operativa desde 1992 y es el lugar donde además se depositan los residuos del proceso de flotación proveniente de sus dos plantas productivas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Adicionalmente, dentro de sus operaciones, se encuentra el sistema de transporte de pulpa (STP), el cual corresponde a un mineroducto de 56 km de longitud, que transporta mineral en pulpa desde Los Bronces hacia Las Tórtolas, cruzando los valles de los esteros Arrayán y Colina, entre las comunas de Lo Barnechea y Colina. Es importante destacar que parte de este trayecto es de acceso público lo cual la convierte en una “zona crítica” a causa de posibles altercados, manifestaciones, desórdenes y toma de caminos por parte de comunidades, así como posibles hurtos por parte de antisociales que intentan ingresar ilegalmente a las instalaciones de la compañía.

Como se detalló en un principio, existen diferentes comunas y sectores rurales que colindan con el depósito de relaves; Quilapilun, Huertos Familiares y Huechún. Por ende, es relevante tener en cuenta que estas zonas no solo ofrecen un entorno dedicado a la agricultura y ganadería, sino que también son hogar de un número considerable de familias que pueden verse vulneradas debido a diversos eventos negativos que pueden desencadenar en fugas descontroladas, así como también en colapsos de los distintos muros que generan contención y refuerzo al tranque. Tales imprevistos pueden provocar consecuencias graves ya que el riesgo de contaminar el suelo, ríos y cuerpos de agua es latente si no hay monitoreo e inspecciones regulares que permitan prevenir fallas y emergencias.

Lo anteriormente expuesto, refuerza aún más la necesidad y urgencia de implementar un plan de mejora, puesto que responderá en función de proteger uno de los derechos más fundamentales que se tiene como ser humano, dicho de otra forma, el derecho a la seguridad. Es por esta razón que se planea trabajar con un “sistema tecnológico” que estará destinado a resolver, controlar y mitigar las deficiencias que existen en cuanto a seguridad y orden.

Por otro lado, poner en funcionamiento esta estrategia permitirá mantener la continuidad operacional de los diversos procesos que se ejecutan en la minera, ya que dentro de sus propósitos estará capturar imágenes y videos de alta resolución, lo que permitiría una rápida evaluación del estado de la planta logrando así identificar posibles problemas que podrían desencadenar en eventuales incendios, derrames tóxicos, baja productiva, entre otros.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2.2.- Propuesta Solución.

A partir de los antecedentes obtenidos sobre las problemáticas de seguridad, continuidad operacional y gestión ambiental, se ha identificado que una solución efectiva para mitigar estos desafíos es la implementación de tecnología avanzada mediante drones de última generación. Estos dispositivos permiten un monitoreo en tiempo real, facilitando la detección temprana de actos de vandalismo, como robos, manifestaciones y posibles incendios, tanto dentro como fuera de las instalaciones de Anglo American Chile.

Adicionalmente, gracias a su capacidad de movilidad, los drones pueden acceder a zonas de difícil alcance por vías terrestres, lo que contribuye a prevenir posibles contaminaciones en áreas sensibles derivadas de las operaciones mineras. Esta solución no solo se alinea con la misión y visión de la empresa, sino que también promueve prácticas responsables con el medio ambiente, ayudando a preservar la flora y fauna locales.

En relación con la optimización del CAPEX, la implementación de drones permitirá detectar posibles fallas en estructuras e instalaciones de difícil acceso terrestre. Esto facilitará su identificación de manera oportuna, proporcionando información en tiempo real a los operadores que monitorean desde la sala de control. En consecuencia, la inversión de este activo se compensará considerando que su objetivo será lograr minimizar los tiempos de detención operacional, lo cual se traduce en una reducción significativa de costos económicos y de horas hombre necesarias para abordar estas contingencias.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2.3.- Alcances y limitaciones del Proyecto.

La implementación de drones y tecnologías avanzadas en Anglo American, División Las Tórtolas, abarca diversos alcances que contribuirán de manera significativa a la resolución de los desafíos identificados. Sin embargo, la ejecución de un plan de mejora también implica una serie de limitaciones que deben ser consideradas en su desarrollo y aplicación.

A continuación, se presentan los principales alcances que aportará la puesta en marcha de esta tecnología en la compañía.

Tabla 1: Alcances asociados a la puesta en marcha del sistema de drones.

Objetivo	Descripción
1.- Mejora en la seguridad.	<ul style="list-style-type: none">- La implementación de tecnología avanzada permitirá detectar de manera temprana robos, intrusiones no autorizadas y daños en las instalaciones, reduciendo considerablemente los riesgos de sabotaje y robo de equipos. La vigilancia continua fortalecerá la protección de infraestructuras críticas, como el tranque de relaves, el mineroducto y sus áreas circundantes. Esto disminuirá el riesgo de actos vandálicos que puedan causar daños físicos, como grietas, perforaciones o la destrucción de sistemas de monitoreo y seguridad, preservando la integridad de las instalaciones.
2.- Reducción de riesgos operacionales.	<ul style="list-style-type: none">- La implementación de drones proporciona un monitoreo continuo y en tiempo real, facilitando la identificación temprana de posibles problemas operativos, como derrames de sustancias tóxicas, filtraciones, fallas en equipos o riesgos de incendio. Esta vigilancia constante facilitará intervenciones rápidas y eficaces para prevenir daños mayores. Además, contribuirá a asegurar la continuidad operativa de la planta, minimizando tiempos de inactividad y evitando pérdidas económicas asociadas a interrupciones en los procesos productivos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Objetivo	Descripción
3.- Reducción de costos.	<ul style="list-style-type: none">- Los drones pueden completar inspecciones y patrullajes en menos tiempo que los métodos habituales, tales como la vigilancia convencional a pie o en vehículos. Esto significa que el modelo a implementar, puede cubrir áreas más grandes en un período de tiempo más corto, disminuyendo de este modo el costo asociado a horas de trabajo requeridas para las labores de patrullaje y monitoreo.
4.- Cumplimiento de estándares regulatorios.	<ul style="list-style-type: none">- La implementación y despliegue de drones en las instalaciones de la planta Las Tórtolas no sólo optimizará los procesos operativos, sino que también permitirá cumplir con los rigurosos estándares regulatorios establecidos por entidades clave como el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), y la Superintendencia del Medio Ambiente, entre otras. Esta tecnología facilitará un monitoreo eficiente de la flora y fauna local, el control de la contaminación atmosférica, hídrica y del suelo, conforme a la Ley 20.417 de la SMA. Además, contribuirá a mitigar los riesgos de impacto ambiental derivados de accidentes industriales, protegiendo los ecosistemas circundantes y la seguridad de los trabajadores. Este enfoque no solo reducirá el riesgo de sanciones o multas, sino que también mejorará la reputación corporativa al asegurar el cumplimiento normativo en áreas sensibles.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Objetivo	Descripción
5.- Mejora en la gestión de emergencias.	<ul style="list-style-type: none">- La implementación de drones en áreas críticas de la planta Las Tórtolas mejorará significativamente la capacidad de respuesta ante emergencias. La grabación en tiempo real será monitoreada continuamente por el personal de sala de control, quienes coordinarán de inmediato al equipo o área correspondiente para atender la emergencia. Esto mejorará los tiempos de reacción ante incidentes operacionales, con el propósito de prevenir detenciones innecesarias y el uso excesivo de recursos (equipos, personal, repuestos, etc.). Además, la detección temprana contribuirá a la protección de trabajadores e instalaciones, proporcionará datos cruciales para la toma de decisiones en tiempo real y fortalecerá las auditorías de seguridad, mejorando la gestión de riesgos y la precisión en las intervenciones.
6.- Optimización de recursos.	<ul style="list-style-type: none">- La integración de drones para monitoreo y vigilancia optimiza significativamente los procesos operativos al reducir la dependencia de rondas realizadas por vehículos terrestres, como camionetas, y personal humano en áreas específicas. Esta tecnología permite supervisar de forma constante y en tiempo real, incluso en terrenos de difícil acceso o zonas geográficas complejas, aumentando la cobertura y precisión del control. Como resultado, se logra no solo una mayor eficiencia en la vigilancia, sino también una reducción en los costos operativos y el desgaste de recursos, garantizando el cumplimiento efectivo de las tareas asignadas. No obstante, esta medida no solo incrementa el desempeño operativo, sino que también mitiga los impactos derivados de la reducción de personal en empresas contratistas, garantizando que las actividades esenciales se lleven a cabo sin excepción.

Fuente: Alcances relacionados a la implementación de drones en la compañía.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En conclusión, la implementación de tecnología avanzada mediante drones en la Planta Las Tórtolas representa una solución integral para mejorar la seguridad, reducir riesgos operacionales y optimizar recursos. Al permitir un monitoreo en tiempo real y una respuesta rápida ante emergencias, los drones contribuirán a la protección de infraestructuras críticas y a la prevención de problemas ambientales, cumpliendo con los estándares regulatorios establecidos. Además, su uso permitirá una reducción significativa de costos operativos y de personal, mejorando la eficiencia general de las operaciones y promoviendo una gestión más sostenible y rentable en el largo plazo.

A continuación, se detallan las principales limitaciones que implica la implementación de esta tecnología en División Las Tórtolas:

Tabla 2: Limitaciones asociadas a la puesta en marcha del sistema de drones.

Objetivo	Descripción
1.- Acceso a datos y recursos.	<ul style="list-style-type: none">- Obtener datos exactos y los recursos necesarios para realizar un análisis exhaustivo puede resultar complicado. La información relacionada con los costos y las prácticas actuales de gestión podría no estar fácilmente accesible debido a la confidencialidad de los datos.
2.- Restricciones de tiempo.	<ul style="list-style-type: none">- El proyecto de mejora está sujeto a restricciones de tiempo. La evaluación, diseño e implementación de tecnología avanzada a través de drones, podría demandar más tiempo del disponible, especialmente para un estudiante que debe cumplir con los plazos académicos establecidos.
3.- Apoyo y colaboración interna.	<ul style="list-style-type: none">- La adopción de nuevas estrategias de mejora depende del apoyo y la colaboración de diferentes áreas dentro de la empresa. Proponer y convencer a la dirección para la implementación de nuevas prácticas puede representar un desafío considerable.
4.- Costos adicionales.	<ul style="list-style-type: none">- La incorporación de nuevas estrategias de mejora podría generar costos adicionales. Justificar dichos costos y asegurar el financiamiento necesario puede ser un proceso desafiante.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

5.- Calidad de la información.	- Las limitaciones relacionadas con la privacidad de los datos pueden afectar la calidad de la información disponible para el análisis, lo que dificulta obtener una visión completa y exacta.
--------------------------------------	--

Fuente: Limitaciones relacionadas a la implementación de drones en la compañía.

En pocas palabras, el éxito del proyecto depende de superar varios desafíos clave, como la obtención de datos confiables, la gestión eficiente del tiempo y la obtención de apoyo interno. Además, es fundamental justificar los costos asociados a la implementación de nuevas tecnologías y asegurar que la calidad de la información no se vea comprometida por restricciones de privacidad.

2.4.- Objetivos del Proyecto.

Los objetivos de un proyecto son fundamentales para guiar su desarrollo y medir su éxito. Estos se dividen en objetivos generales, que definen el propósito principal del proyecto, y objetivos específicos, que detallan las metas concretas necesarias para alcanzar dicho propósito

2.4.1.- Objetivo General.

El objetivo general del proyecto es elaborar y proponer un plan de mejora con la finalidad de mejorar la seguridad y continuidad operacional de Anglo American, División Las Tórtolas.

2.4.2.- Objetivos Específicos.

Realizar diagnóstico de la situación de la empresa:

- Identificar y documentar los principales problemas y desafíos que enfrenta actualmente la compañía en ámbitos de seguridad y continuidad operacional.
- Utilizar diferentes herramientas de análisis para reconocer las posibles causas de los problemas identificados.
- Identificar los problemas y clasificarlos según el impacto que genera a la seguridad laboral, a los costos operativos y a la productividad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Realizar un análisis de criticidad para determinar la gravedad y la frecuencia en que ocurren los eventos.

Evaluar la viabilidad técnica:

- Investigar la compatibilidad y asegurar la integración eficaz con los sistemas y procesos existentes de Anglo American, sin necesidad de desarrollos adicionales complejos.
- Determinar los posibles desafíos técnicos que podrían surgir al implementar un sistema de drones.

Evaluar la viabilidad económica:

- Calcular los costos asociados a la implementación (adquisición) y operación de un sistema de drones (mantenimiento, entrenamiento).
- Analizar los posibles ahorros en costos operativos (reducción de inspecciones manuales) y los beneficios económicos que puede generar a lo largo del tiempo (reducción de tiempo de inactividad, ahorros en multas o sanciones).

Evaluar e identificar barreras:

- Analizar la resistencia del personal (resistencia al cambio) y otros factores clave frente al cambio hacia equipos más innovadores y tecnológicos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2.5.- Marco Teórico.

2.5.1.- Análisis.

Para el desarrollo del proyecto de mejora, se han definido varias herramientas de análisis que permitirán identificar problemas, comprender sus causas y encontrar soluciones adecuadas.

➤ Diagrama de Ishikawa.

También conocido como el diagrama de causa y efecto, es una herramienta que nos ayuda a identificar, y profundizar las posibles causas de un problema, y su estructura representa la espina de un pescado, donde la cabeza es la problemática en cuestión y las espinas representan las categorías y causas de problema.

➤ Análisis de Criticidad.

Este proceso se utiliza para identificar y evaluar la importancia de ciertos procesos o recursos para una empresa. Su objetivo primordial es determinar qué elementos son más críticos y qué problemáticas podrían afectar la continuidad del negocio y/o su rendimiento.

2.5.2.- Formulación de Propuestas.

Para la formulación de propuesta de mejora es fundamental emplear herramientas que permitan obtener información rigurosa y estructurada de las situaciones actuales, y con ello, por medio de técnicas ingenieriles se puedan implementar soluciones efectivas.

➤ Ciclo de Deming.

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio. En el Análisis de Criticidad (AC) se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Benchmarking.

Este proceso compara las técnicas, procesos y métricas empleadas en la empresa en cuestión versus otras organizaciones consideradas líderes en la industria. El objetivo es aprender de los éxitos y fracasos de otras empresas e implementarlas.

➤ Gestión de proyectos (Project Management).

Esta técnica se enfoca en la estimación, administración y cumplimiento de los objetivos específicos, para la realización de tareas dentro de una organización.

2.5.3.- Análisis Económico.

➤ Análisis Costo - Beneficio (ACB).

Esta técnica se basa en la evaluación económica que compara los costos y los beneficios de diversas alternativas para determinar cuál es la más rentable o la que mayor beneficio ofrece. Es sumamente utilizado en la toma de decisiones para proyectos de mejoras operacionales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

3.1.- Descripción de la Empresa.

3.1.1.- Antecedentes Generales de la Empresa.

Razón social: Anglo American Chile Ltda.

Ubicación: Av. Isidora Goyenechea 2800, Piso 47, Torre

Titanium. Comuna: Las Condes.

Rol Único Tributario: 77.905.330-K

Inicio de Actividades: Data del 14-03-2003 según la información proporcionada por www.sii.cl.

Misión:

“Reimaginar la minería para mejorar la vida de las personas”

Visión:

“Nuestra visión es alcanzar “Cero Daño” tanto en quienes trabajan en nuestras operaciones, como en las personas de nuestro entorno”

Valores:

“No seríamos capaces de reimaginar la minería para mejorar la vida de las personas sin la sólida base de nuestros valores, que están en el centro de nuestra forma de trabajar”

A continuación, se detallan los valores fundamentales que respaldan esta visión transformadora:



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ **SEGURIDAD:**

Siempre es el punto principal de nuestros programas y por un muy buen motivo. Creemos fehacientemente que TODAS las lesiones son evitables y que, trabajando conjuntamente, podemos hacer de la seguridad un modo de vida, dentro y fuera de nuestro lugar de trabajo.

➤ **PREOCUPACIÓN Y RESPETO:**

Siempre tratamos a las personas con respeto, dignidad y cortesía, independientemente de sus antecedentes, estilo de vida o posición. Generamos confianza mediante comunicaciones abiertas y participativas día a día.

➤ **INTEGRIDAD:**

Esto significa un enfoque honesto, equitativo, ético y transparente en todo lo que hacemos. No se trata de ser popular, se trata de hacer siempre lo correcto.

➤ **RESPONSABILIDAD:**

Asumimos plena responsabilidad de nuestras decisiones, acciones y resultados. Cumplimos nuestras promesas y reconocemos nuestros errores. Pero, por sobre todas las cosas, jamás culpamos a otros.

➤ **COLABORACIÓN:**

Nadie está solo aquí. Somos una empresa con un deseo conjunto: trabajar todos juntos para tomar decisiones y hacer las cosas lo más eficazmente posible.

➤ **INNOVACIÓN:**

Desafiar la manera en que se han hecho siempre las cosas es una prioridad clave para nosotros. Al desarrollar activamente nuevas soluciones, estimular nuevas formas de pensar y descubrir modos de trabajar, mejoramos de forma significativa el negocio.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.1.2.- Descripción de la Organización.

Anglo American es una compañía minera global con sede en Londres, Reino Unido. Es un gran productor de diamantes, arsénico, mercurio, plomo, cobre, níquel, hierro mineral, carbón térmico y metalúrgico. Además, es el mayor productor mundial de platino, con alrededor del 40% de la producción mundial. Tiene operaciones en África, Asia, Australasia, Europa y América.

A nivel nacional, Anglo American ha establecido una fuerte presencia a través de su filial Anglo American Chile, que se ha destacado por su compromiso con la sostenibilidad y el desarrollo de grandes proyectos mineros.

Anglo American opera en Chile desde 1980, es la tercera empresa minera más grande en el país con una producción de 650 mil toneladas anuales de cobre fino.

Dada la adquisición de importantes yacimientos de cobre, la empresa ha invertido considerablemente en tecnología y en el desarrollo de sus operaciones. Fue así, como en la década de 1990, Anglo American Chile consolidó su presencia en el país con la suma de nuevas minas, la expansión de sus operaciones y su participación en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, una de las principales productoras de cobre en Chile, convirtiéndose en un socio relevante de este proyecto minero.

En el marco de sus actividades actuales en Chile se destacan los siguientes proyectos:

➤ Mina Los Bronces:

Es una operación a cielo abierto ubicada a 3.500 metros sobre el nivel del mar, en la Región Metropolitana de Chile. Esta mina representa una de las principales fuentes de producción de Anglo American Chile, con un 50,1% de participación en la propiedad. Los productos extraídos incluyen concentrados de cobre y molibdeno, además de cátodos de cobre, reflejando su capacidad para diversificar la producción minera.

En 2023, Los Bronces alcanzó una producción destacada de 215.500 toneladas de cobre fino y 1.937 toneladas de molibdeno, consolidándose como un pilar en la generación de metales estratégicos para los mercados globales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Mina El Soldado:

Es una operación a rajo abierto situada a 600 metros sobre el nivel del mar en la Región de Valparaíso, Chile. Esta mina, en la que Anglo American tiene una participación del 50,1%, se especializa en la producción de concentrado de cobre, un insumo esencial para diversas aplicaciones industriales y tecnológicas.

En 2023, El Soldado reportó una producción de 39.500 toneladas de cobre, destacándose por su capacidad de extracción eficiente en condiciones geográficas y climáticas favorables.

➤ Fundición Chagres:

Es una operación estratégica ubicada a 400 metros sobre el nivel del mar en la Región de Valparaíso, Chile, donde Anglo American Chile posee una participación del 50,1%. Este complejo industrial se especializa en la producción de ánodos de cobre y ácido sulfúrico, dos productos clave en la cadena de valor del cobre.

En 2023, Chagres alcanzó una producción de 110.100 toneladas de ánodos de cobre y 436.160 toneladas de ácido sulfúrico, contribuyendo significativamente a la producción y comercialización de estos productos a nivel global, especialmente en mercados industriales.

➤ Doña Inés de Collahuasi:

Es una de las minas a cielo abierto más importantes en Chile, ubicada a 4.400 metros sobre el nivel del mar en la Región de Tarapacá. Anglo American Chile posee una participación del 44% en esta operación, lo que la convierte en un socio clave en la extracción de metales en el norte del país. La mina produce concentrados de cobre, molibdeno y cátodos de cobre, siendo una de las mayores productoras de estos materiales.

En 2022, Doña Inés de Collahuasi produjo 6.763 toneladas métricas de molibdeno fino y en 2023 alcanzó una producción de 577.000 toneladas de cobre fino, consolidándose como una de las principales fuentes de cobre y molibdeno a nivel global.

➤ Planta Concentradora Las Tórtolas:

Las Tórtolas es una planta de flotación donde se realiza el proceso de obtención de concentrado de cobre y molibdeno. Esta división se ubica aproximadamente a 40 km de Santiago, en la comuna de Colina, en la Región Metropolitana. Además, es el lugar donde se deposita el material que se descarta del proceso minero, compuesto por una mezcla de



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

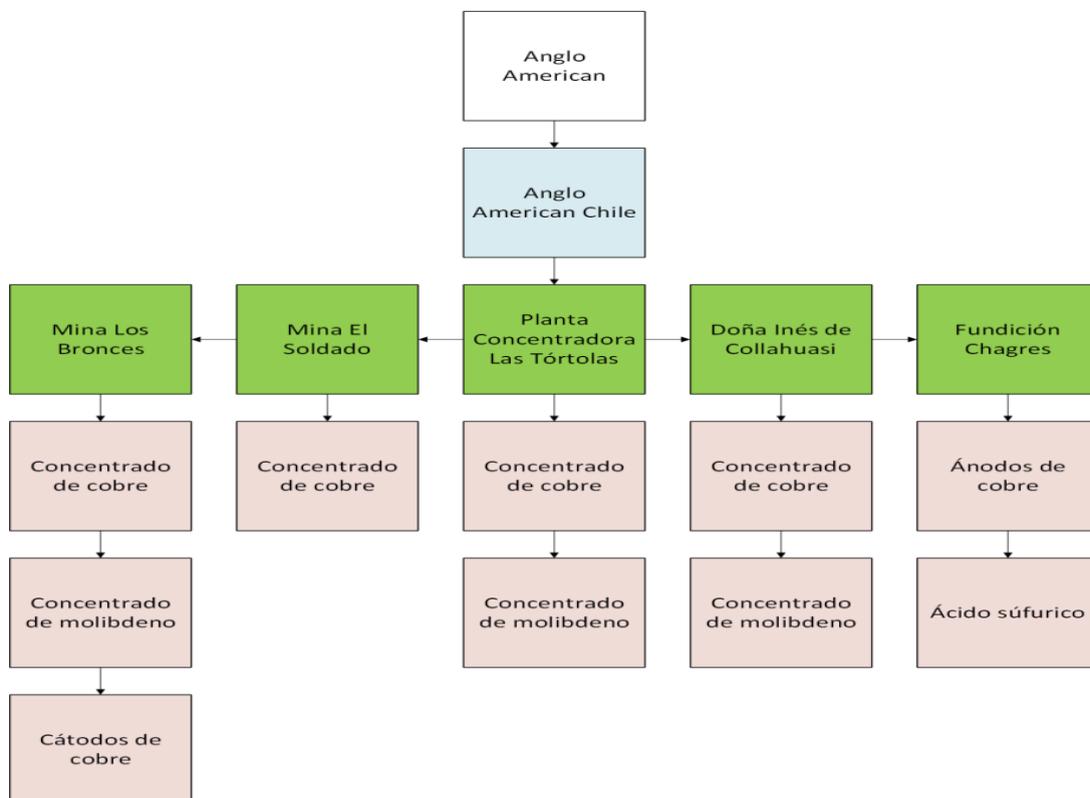
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

mineral molido con agua y otros compuestos. Cabe destacar que el mineral luego de su proceso de conminución en la mina Los Bronces es transportado como pulpa a través de un mineroducto de alrededor de 56 km que conecta con la planta concentradora.

A continuación, el siguiente diagrama (ver figura 1), resume e ilustra la estructura operativa de Anglo American Chile, destacando sus principales instalaciones y los productos que genera cada una. Se muestra cómo las diversas minas, plantas y fundiciones están organizadas bajo la filial chilena de Anglo American.

Asimismo, el diagrama destaca la producción de cobre en diversas formas (concentrados, ánodos y cátodos), junto con molibdeno y ácido sulfúrico, productos fundamentales para la industria minera y metalúrgica a nivel global.

Figura 1: Organigrama operacional de Anglo American Chile.



Fuente: Anglo American Chile (2021) Organigrama de Anglo American Chile, sus operaciones y productos.

<https://surl.li/uuhqps>



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.1.3.- Estructura Interna.

Anglo American Chile, filial de la multinacional Anglo American, ha consolidado su presencia en el país con una sólida estructura administrativa y operativa.

A continuación, se presenta información clave sobre los principales ejecutivos de la compañía, quienes lideran las operaciones mineras de Anglo American Chile.

Nombre: Patricio Hidalgo
Cargo: Presidente Ejecutivo de Anglo American Chile.

Nombre: Juan Pablo Schaeffer.
Cargo: Vicepresidente de Asuntos Corporativos y Sustentabilidad.

Nombre: Eleanor Blyth.
Cargo: Vicepresidenta de Finanzas.

Nombre: Adriane Lucas.
Cargo: Vicepresidenta de Seguridad, Salud Ocupacional y Gobernanza.

Nombre: Claudia Garrido.
Cargo: Vicepresidente de Joint Ventures y Socios Estratégicos.

Nombre: Juan Mardones.
Cargo: Vicepresidente de Proyectos.

Nombre: Marcelo Bustos.
Cargo: Gerente General Los Bronces.

En resumen, la organización refleja un enfoque integral y especializado, con vicepresidencias y gerencias responsables en aspectos fundamentales como sustentabilidad, finanzas, proyectos, seguridad y gobernanza, así como la gestión de las operaciones mineras en Los Bronces.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.2.- Procesos actuales de la Empresa.

Durante el análisis del “problema general”, se ha identificado que el sistema tecnológico a implementar será aún más relevante y tendrá un impacto mayor del previsto inicialmente. Esto se debe a que los problemas principales, como robos, destrozos y disturbios, junto con los desafíos asociados a la continuidad operacional de la minera, podrían intensificarse debido al cierre estratégico de una de las plantas productivas. Esta situación afectará la continuidad de los servicios de apoyo proporcionados por importantes empresas contratistas.

El problema actual que enfrenta Anglo American en sus divisiones Las Tórtolas y Los Bronces radica en que las funciones desempeñadas por las empresas contratistas deberán realizarse con un personal reducido, lo cual provocará una sobrecarga de trabajo y una capacidad limitada para cumplir con todas las tareas asignadas. Como resultado, se prevé una disminución en la frecuencia de actividades críticas, como la seguridad, el monitoreo y la inspección, especialmente en áreas clave como el tranque de relaves, el mineroducto, y la protección de instalaciones e infraestructuras mineras.

Según el Diario Oficial y varios portales especializados en minería, esta situación se debe principalmente a la baja recuperación del cobre, causada por la explotación de minerales de baja ley.

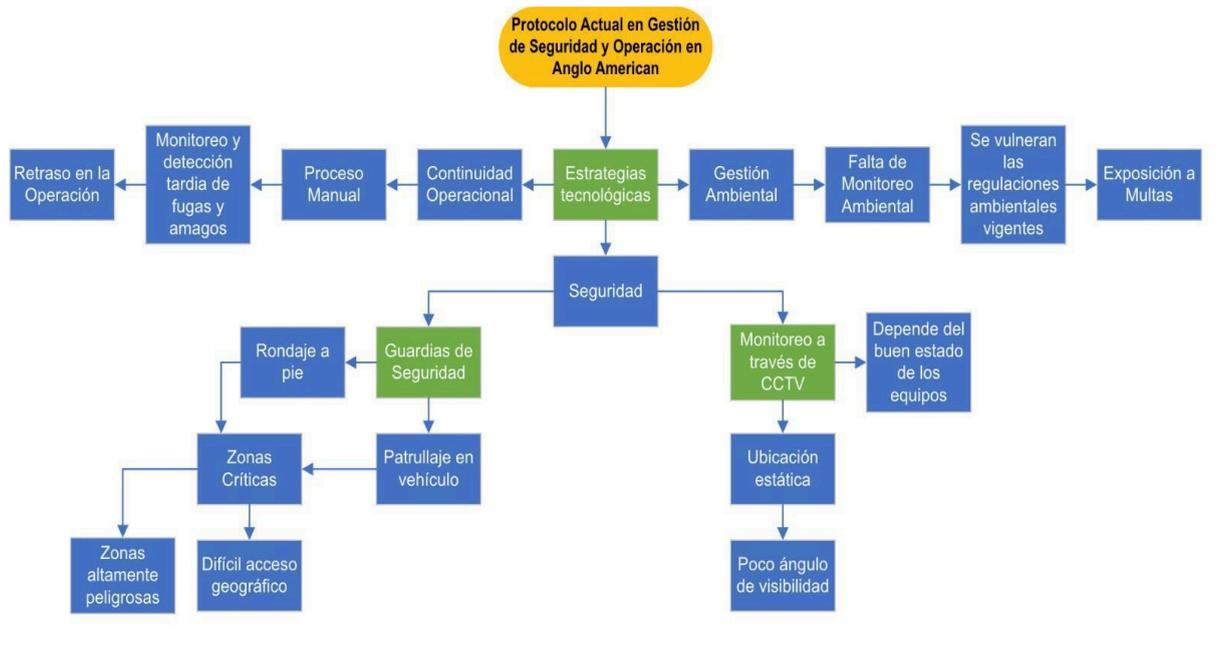
A continuación, se detalla el protocolo actual de la división en lo que respecta la gestión operativa y la gestión de seguridad (*ver figura 2*).



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Figura 2: Protocolo actual en gestión de seguridad y operación.



Fuente: Protocolo Actual en Gestión de Seguridad y Operación de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.

Tal como se indica en el diagrama de flujo, los desafíos actuales en Anglo American se basan principalmente en mejorar las estrategias tecnológicas, dado que la carencia de soluciones tecnológicas avanzadas impacta en la seguridad, continuidad operacional y gestión ambiental, lo que se traduce en altos costos operativos, ya que por cada evento de disturbio que ocurre, se debe detener la operación por tiempo indeterminado, provocando altas pérdidas de dinero.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.3.- Descripción del Problema.

Tabla 3: Identificación de causas, problemas e impactos en la seguridad y operación.

CAUSA RAÍZ	PROBLEMA	IMPACTO
<ul style="list-style-type: none">- Falta de tecnología avanzada.	<ul style="list-style-type: none">- Seguridad y monitoreo ineficiente.- Detección tardía de fugas, amagos, entre otros.- Procesos manuales de seguridad (rondas a pie, patrullaje en vehículo).	<ul style="list-style-type: none">- Mayor exposición a riesgos delictivos y operacionales.- Incremento del riesgo de incidentes operacionales y ambientales.
<ul style="list-style-type: none">- CCTV deficiente.	<ul style="list-style-type: none">- Zonas críticas sin vigilancia suficiente (ángulos muertos, imágenes borrosas o pérdida de señal).- Tiempo de respuesta lento ante incidentes.	<ul style="list-style-type: none">- Incremento de riesgos delictivos y operativos.- Pérdidas económicas (costos por daños y robos).
<ul style="list-style-type: none">- Ubicación geográfica compleja (hace referencia a un entorno que presenta desafíos debido a su topografía, clima, entre otros.).	<ul style="list-style-type: none">- Limitaciones en la movilidad del personal de seguridad y emergencias.	<ul style="list-style-type: none">- Respuesta tardía ante emergencias y eventualidades operacionales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

<ul style="list-style-type: none">- Geografía de difícil acceso vía terrestre.	<ul style="list-style-type: none">- Mayor riesgo de incidentes delictivos y operacionales.	<ul style="list-style-type: none">- Daños en infraestructura y posible detención de operaciones.- Incremento en costos de mantenimiento y reposición.
<ul style="list-style-type: none">- Vulnerabilidad ante siniestros (poca o nula iluminación).	<ul style="list-style-type: none">- Dificultad en la visibilidad y supervisión.- Mayor probabilidad de accidentes (trabajadores pueden tropezar, caer o chocar).- Aumento del riesgo de robos y vandalismo (la falta de iluminación facilita actividades delictivas sin ser detectadas).	<ul style="list-style-type: none">- Incremento de riesgos delictivos.- Pérdidas económicas (costos asociados a incidentes, compensaciones o reposición de equipos robados o dañados).- Deterioro en la reputación de la empresa (percepción de inseguridad por parte de clientes, inversionistas o trabajadores).
<ul style="list-style-type: none">- Carencia en gestión ambiental.	<ul style="list-style-type: none">- Falta de control en el cumplimiento de normativas ambientales.	<ul style="list-style-type: none">- Impacto negativo en la reputación y relaciones con la comunidad.
<ul style="list-style-type: none">- Detección tardía de fugas, amagos, entre otros.	<ul style="list-style-type: none">- Detención de las operaciones debido a disturbios y escaso monitoreo de las instalaciones.	<ul style="list-style-type: none">- Costos operativos elevados.

Fuente: Minera Anglo American Chile, División Las Tórtolas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En cuanto a los datos cuantitativos y cualitativos, se han identificado varios eventos significativos que guardan estrecha relación con la seguridad y la continuidad operativa de la Planta Concentradora Las Tórtolas. Entre los eventos ocurridos se destacan los siguientes:

EVENTO 1 : Anglo American mantiene detenida planta Los Bronces por fuga de mineral.

“Desde ayer la operación de la planta de molienda en Los Bronces se mantiene detenida luego de que se detectara una fuga de mineral desde el ducto que conecta la mina con la planta concentradora Las Tórtolas.

El mineroducto (ver figura 3) transporta habitualmente entre 3.000 y 3.600 toneladas por hora (t.p.h) de pulpa hacia la planta de tratamiento. Según la información de Anglo American, se estima que las operaciones se detuvieron durante aproximadamente 24 horas.

Figura 3: Mineroducto



Interferencia (2009). Mineroducto "nuevo" de Anglo American instalado en predios del Ejército. Olca
<https://olca.cl/articulo/nota.php?id=108980>

Como resultado, se dejó de procesar una cantidad cercana a 3.600 t.p.h de pulpa proveniente de Los Bronces. Si se calcula el impacto de esta detención durante 24 horas, se obtiene la siguiente cifra:

Tabla 4: Datos y valores asociados a la detención de las operaciones.

Flujo	Unidad	Tiempo	Unidad	Total (ton)
3600	(Ton/h)	24	(Hrs)	86,400

Fuente: Datos operacionales de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.

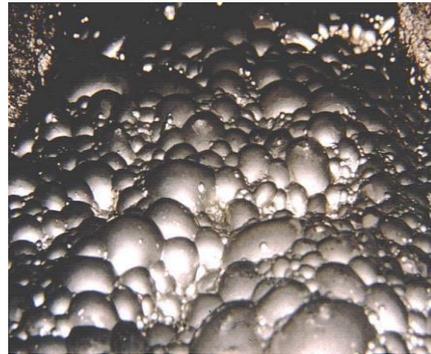


UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Esto indica que, durante el período de inactividad, se dejaron de procesar cerca de 86.400 toneladas de pulpa (ver figura 4) en la planta de flotación Las Tórtolas.

Figura 4: Proceso de flotación de minerales.



David Pasten (2013). La flotación de minerales: proceso clave para el futuro minero de Chile. PRENSA UA
<http://www.comunicacionesua.cl/2013/10/15/la-flotacion-de-minerales-proceso-clave-para-el-futuro-minero-de-chile/>

En consecuencia, es evidente que hubo pérdidas monetarias importantes, ya que la planta concentradora al ser un proceso continuo se puede evidenciar que aproximadamente 180 toneladas por hora (t.p.h) se dejaron de producir en el ciclo de filtrado y secado “bajo condiciones de operación continua”.

Al igual que el caso anterior, si se calcula el impacto de esta detención imprevista, se obtienen cifras considerables que indudablemente afectaron a la compañía. Sin embargo, antes de continuar con este cálculo, es importante tener en cuenta los siguientes factores:

- 1) La planta se compone de 2 filtros hiperbáricos, cada uno tiene la capacidad de filtrar alrededor de 90 toneladas en un turno de 12 horas.
- 2) Operacionalmente, es común que ambos equipos operen simultáneamente para maximizar la productividad. Sin embargo, en ciertas ocasiones, uno de los filtros puede estar detenido debido a tareas de mantenimiento, fallas mecánicas y/o eléctricas, insuficiencia de material para abastecer a los dos equipos, o por otros factores operativos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Para una comprensión más detallada de lo anterior, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 5: Capacidad de producción.

FILTRO HIPERBÁRICO 1			FILTRO HIPERBÁRICO 2		
Capacidad (ton)	Horas	Total (ton)	Capacidad (ton)	Horas	Total (ton)
90	1	90	90	1	90
90	12	1.080	90	12	1.080
90	24	2.160	90	24	2.160

Fuente: Datos operacionales de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.

De acuerdo con la tabla anterior, se observa que ambos filtros tienen la misma capacidad de procesamiento. En consecuencia, si solo uno de los filtros está en operación, se estima que en un periodo de 12 horas se dejan de producir aproximadamente 1.080 toneladas de concentrado de cobre. Por otro lado, considerando el evento que significó una detención de 24 horas, los datos indican que la producción se reduce en cerca de 2.160 toneladas de concentrado de cobre.

Por lo tanto, si ambos filtros hiperbáricos están funcionando de manera simultánea (bajo condiciones normales, es decir, sin interrupciones ni paradas), las pérdidas se duplican considerablemente ya que se estima que los dos equipos operando dejan de producir alrededor de 2.160 toneladas de concentrado de cobre en un periodo de 12 horas. Si se toma en cuenta el incidente que provocó la detención general de las operaciones por 24 horas, la pérdida total asciende a 4.320 toneladas de concentrado de cobre que dejan de producirse.

Tabla 6: Pérdida en la capacidad de producción de concentrado de cobre.

2 FILTROS HIPERBÁRICOS OPERANDO			
Capacidad (ton)	Equipo	Horas	Total (ton)
90	2	1	180
90	2	12	2.160
90	2	24	4.320

Fuente: Datos operacionales de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En resumen, durante el período de inactividad, se dejaron de producir cerca de 4.320 toneladas de concentrado de cobre, que posteriormente es trasladado en camiones con tolva o batea al Centro de Transferencia Las Blancas o a la Fundición Chagres de Anglo American. Esto se puede cuantificar de manera que alrededor de 150 camiones no tuvieron material (*ver figura 5*) para transportar a los diferentes destinos que estratégicamente decide la compañía.

Figura 5: Báscula destinada al almacenamiento de concentrado de cobre.



Fuente: Concentrado de cobre producido por Planta Concentradora Las Tórtolas.

Lo mencionado anteriormente tiene repercusiones negativas desde el punto de vista económico, ya que al cuantificar el proceso final de la operación (que corresponde al despacho de concentrado de cobre), se puede estimar que en una jornada laboral de 12 horas (día o noche) alrededor de 75 camiones son cargados. Lo anterior surge a raíz de que dado que existe una flota de aproximadamente 25 camiones que dan 3 vueltas por turno desde Las Tórtolas hasta el Centro de Transferencia Las Blancas, las cifras aumentan significativamente.

A continuación, la siguiente tabla señala datos fundamentales como la tara (peso del camión + la tolva), la carga empleada por el cargador frontal, el peso total (tara + carga) y el valor comercial que genera cada camión cargado tal como se demuestra a continuación:

Tabla 7: Registro de la capacidad de camiones cargados durante un turno día.

REGISTRO DE CARGA TURNO DÍA					
Cantidad	Horario	Tara (ton)	Carga (ton)	Total (ton)	Valor Comercial
75	8:30 AM - 18:00 PM	16.46	27.32	2065.46	\$2,560,225,500

Fuente: Datos operacionales de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

La tabla evidencia que, en un turno de día, el proceso de carga de aproximadamente 75 camiones requiere alrededor de 8 horas y 30 minutos. Como consecuencia 2065.46 toneladas de concentrado de cobre no se comercializaron, lo que representa una pérdida estimada de \$2.560.225.500.

Ahora bien, al considerar además la producción que genera un turno de noche, se puede observar que las cifras son similares:

Tabla 8: Registro de la capacidad de camiones cargados durante un turno noche.

REGISTRO DE CARGA TURNO NOCHE					
Cantidad	Horario	Tara (ton)	Carga (ton)	Total (ton)	Valor Comercial
75	20:30 PM - 6:00 AM	16.46	27.32	2065.46	\$2,560,225,500

Fuente: Datos operacionales de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.

Sin embargo, el impacto toma mayor relevancia si se suman las pérdidas que genera cada turno de trabajo. Los valores que se verán a continuación son fiel reflejo de la significancia que tuvo la detención de las operaciones en la Planta Concentradora Las Tórtolas.

Tabla 9: Registro de la capacidad de camiones cargados durante ambos turnos (24 hrs).

REGISTRO DE CARGA AMBOS TURNOS					
Cantidad	Horario	Tara (ton)	Carga (ton)	Total (ton)	Valor Comercial
150	8:30 AM - 6:00 AM	16.46	27.32	4114.46	\$5,120,451,000

Fuente: Datos operacionales de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.

En conclusión, aproximadamente 4.114,46 toneladas de concentrado de cobre no se comercializan, lo que representa una pérdida económica de \$5.120.451.000 para la compañía.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

EVENTO 2: Detienen a cinco sujetos por intento de robo en dependencias de Minera Anglo American Chile.

“Cerca de las 12:50 horas de este martes, Carabineros logró detener a cinco sujetos que se encontraban realizando un robo en dependencias de la minera Anglo American, ubicadas en caletera oriente de la carretera General San Martín, comuna de Colina”.

Se constató que dos grandes tuberías de acero diseñadas para la industria minera fueron cargadas mediante un equipo pluma a otro camión con plataforma por dos antisociales con clara intención de robarlas (ver figura 6).

Figura 6: Robo frustrado de tubería industrial (HDPE).



Carabineros de Chile (2024). Camión cargado con tubos metálicos de gran tamaño. Chicureohoy.cl
<https://www.chicureohoy.cl/actualidad/colina-detienen-a-cinco-sujetos-por-robo-en-dependencias-de-minera-anglo-american/>

En las instalaciones de Anglo American, División Las Tórtolas, se encontraban aproximadamente nueve tuberías de acero que dado su origen, se denominan como “material en tránsito”. Estos tubos, que suelen utilizarse para el transporte de agua o minerales (pulpa) en alta presión, suelen también estar destinados como repuestos para afrontar de manera eficiente cualquier avería o filtraciones de gran envergadura que puedan surgir en las operaciones. Las tuberías industriales de acero presentan una variedad de dimensiones y longitudes. En este caso, los conductos aproximadamente tenían una longitud de 8 metros cada uno. El valor estimado de estas tuberías es de aproximadamente \$600.000 por metro lineal.

Durante el incidente reportado, los sujetos intentaron sustraer dos tuberías de acero. Al calcular el impacto económico asociado a este delito, las cifras estimadas serían las siguientes:



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 10: Impacto económico asociado al robo frustrado de tubería industrial (HDPE).

Cantidad	Metros	Valor	Total
1	8	\$600,000	\$4,800,000
2	8	\$600,000	\$9,600,000

Fuente: Información sobre el impacto de robo de materiales.

Si los individuos responsables de este acto delictivo no hubieran sido sorprendidos, es muy probable que hubieran continuado robando de manera sistemática estos tubos industriales. Se sabe que cada una de las tuberías tiene un valor de \$4.800.000, por lo que, de haber continuado con el robo de manera gradual, las pérdidas estimadas habrían alcanzado las siguientes cifras:

Tabla 11: Estimación económica asociada al robo frustrado de tubería industrial (HDPE).

Cantidad	Metros	Valor	Total
3	8	\$600.000	\$14,400.000
4	8	\$600.000	\$19,200.000
5	8	\$600.000	\$24,000.000
6	8	\$600.000	\$28,800.000
8	8	\$600.000	\$38,400.000
9	8	\$600.000	\$43,200.000

Fuente: Información sobre el impacto de robo de materiales.

Estos cálculos evidencian el impacto significativo que podría haber tenido la continuación de estas actividades delictivas, dicho lo anterior, se destaca urgentemente la necesidad de implementar medidas de seguridad y vigilancia más robustas para prevenir pérdidas económicas de tal envergadura.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

EVENTO 3 : Bomberos combaten fuego en oficinas de Minera Anglo American.

“Cerca de las 07:00 horas de esta mañana incendio afectó a alrededor de ocho contenedores que funcionaban como oficinas de la empresa contratista Techint (ver figura 7)”.

Figura 7: Bomberos combatiendo fuego en oficinas de Minera Anglo American Chile.



Chicureo Hoy (2023). Personal se encuentra trabajando en la emergencia. Chicureohoy.cl
<https://www.chicureohoy.cl/actualidad/colina-bomberos-combate-fuego-en-oficinas-de-minera-en-peldehue>
ue

De acuerdo a la información proporcionada, el incendio destruyó ocho contenedores de oficinas de 40 pies, valorados en \$10.650.500 cada uno. Al calcular el valor de las pérdidas totales, se reflejan las siguientes cifras:

Tabla 12: Impacto económico asociado al incendio en las dependencias de Anglo American Chile.

Cantidad	Valor	Total
1	\$10,650,500	\$10,650,500
2	\$10,650,500	\$21,301,000
3	\$10,650,500	\$31,951,500
4	\$10,650,500	\$42,602,000
5	\$10,650,500	\$53,252,500
6	\$10,650,500	\$63,903,000
7	\$10,650,500	\$74,553,500
8	\$10,650,500	\$85,204,000

Fuente: Información sobre las pérdidas que generó la destrucción de oficinas en Minera Anglo American Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

EVENTO 4 : Amago de incendio afecta a la Planta Concentradora Las Tórtolas.

“Cerca de las 15:00 horas de la tarde, diversos operadores pertenecientes a empresas contratistas, presencian una densa columna de humo gris en las cercanías del proceso de molienda. El humo emanaba específicamente de las bombas que alimentan el circuito”.

Al pasar los minutos la gravedad del evento incrementó a tal punto que, para controlar el incidente, se debió desenergizar toda la planta productiva por alrededor de 1 hora para que personal de la empresa Ambipar Response Latam pudiera controlar el incidente.

El suceso tuvo un impacto negativo, ya que tuvieron que detener todas las operaciones debido al corte energético, repercutiendo de la siguiente manera:

Tabla 13: Impacto económico asociado al amago en las dependencias de Anglo American

REGISTRO DE CARGA					
Cantidad	Horario	Tara (kg)	Carga (kg)	Total (kg)	Valor Comercial
1	15:00 PM - 15:06 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
2	15:07 PM - 15:13 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
3	15:14 PM - 15:20 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
4	15:21 PM - 15:26 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
5	15:27 PM - 15:33 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
6	15:34 PM - 15:39 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
7	15:40 PM - 15:45 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
8	15:46 PM - 15:51 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
9	15:52 PM - 15:57 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
10	15:58 PM - 15:03 PM	16,460	27,320	43,780	\$34,136,340
		Total (ton)	273.2	Total (\$)	\$341,363,400

Fuente: Información sobre las pérdidas que generó la detención de las operaciones en División Las Tórtolas.

Se concluye que durante la hora de inactividad operacional \$341.363.400 dejaron de comercializarse en el proceso despacho de concentrado de cobre.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

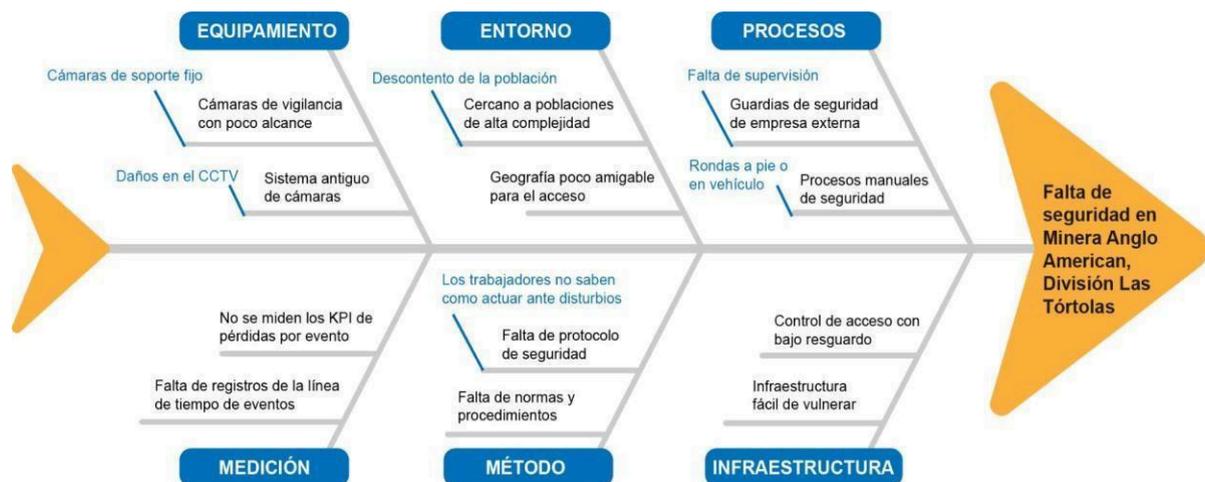
3.3.1.- Diagrama de Ishikawa.

En el marco del análisis, se ha seleccionado el diagrama de Ishikawa como herramienta fundamental, debido a su capacidad para identificar tanto las causas principales como las subcausas de la problemática en estudio. Este enfoque facilita la organización estructurada de la información, proporcionando un informe claro y visual que optimiza la toma de decisiones.

3.3.1.1.- Falta de seguridad en Anglo American, División Las Tórtolas.

A raíz de los incidentes ocurridos en la minera, el análisis mediante el diagrama de Ishikawa ha permitido identificar las principales causas que afectan la seguridad, así como los factores que, de manera simultánea, generan deficiencias en el sistema. Entre estos, se destacan procesos desactualizados, complejidad de la zona geográfica, equipamiento e infraestructura obsoleta y prácticas deficientes. Estos elementos han sido señalados como factores determinantes que prolongan la problemática, evidenciando una falta de avances en su resolución y manteniendo la situación en un estado de persistencia.

Figura 8: Diagrama de Ishikawa, falta de seguridad.



Fuente: Ishikawa o diagrama de espina de pescado.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.3.1.2.- Detención de la Operación.

Las detenciones operativas en la División Las Tórtolas, derivadas de robos, disturbios o manifestaciones, no afectan directamente el funcionamiento de la planta, sino principalmente las operaciones y procesos complementarios. Un caso representativo es el transporte de concentrado de cobre, el cual debe realizarse diariamente a través de rutas que atraviesan diversas zonas críticas antes de llegar a su destino. En estos trayectos, es frecuente la interrupción del tránsito por parte de los habitantes del sector, quienes bloquean el paso de los camiones que prestan servicio a la minera. Estas situaciones no solo provocan retrasos en la logística de transporte, sino que también representan un riesgo significativo para la seguridad del personal y los equipos, con incidentes que incluyen amenazas de incineración de los vehículos e incluso el robo de pertenencias.

Figura 9: Diagrama de Ishikawa, detención de la Operación



Fuente: Ishikawa o diagrama de espina de pescado.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.3.1.3.- Carencia en Gestión Ambiental.

La deficiente gestión ambiental en las operaciones mineras se debe a diversos factores, siendo uno de los más relevantes la priorización de la producción sobre la protección del medio ambiente. Si bien maximizar la rentabilidad de la empresa y contribuir al desarrollo económico y social de un país mediante una producción continua son objetivos estratégicos, resulta igualmente fundamental lograr un equilibrio entre la productividad y la preservación ambiental. La sostenibilidad a largo plazo de la actividad minera depende de la capacidad para integrar ambos aspectos, asegurando que el crecimiento económico no comprometa la conservación de los recursos naturales ni el bienestar ambiental.

A esto se suman la escasa supervisión y la falta de protocolos o auditorías adecuadas. Además, la carencia de tecnología avanzada, capaz de acceder a zonas de difícil alcance y proporcionar información en tiempo real, dificulta los esfuerzos para mejorar el cuidado y la conservación de la flora y fauna en las áreas afectadas por la actividad minera.

Figura 10: Diagrama de Ishikawa “regulación y supervisión ambiental deficiente”.



Fuente: Ishikawa o diagrama de espina de pescado.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.4.- Clasificación de riesgos o criticidad.

La matriz de criticidad es una herramienta que nos ayuda a analizar, identificar y priorizar los riesgos que pueden afectar en el funcionamiento correcto de un sistema o proceso. Este se basa en dos variables, la ocurrencia de los eventos versus la gravedad de sus consecuencias.

Los niveles de criticidad se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Cada combinación obtenida de frecuencia versus consecuencia nos da como resultado un nivel de criticidad determinado por:

- Baja Criticidad: Eventos de baja probabilidad e impacto en el proceso.
- Media Criticidad: Riesgos moderados, los cuales deben ser resueltos para mejorar lo establecido.
- Alta Criticidad: Son riesgos de alto impacto, los cuales requieren una intervención inmediata.

Frecuencia	5	M	M	A	A	A	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 10px;">B Baja Criticidad</div> <div style="margin-bottom: 10px;">M Media Criticidad</div> <div>A Alta Criticidad</div> </div>
	4	M	M	A	A	A	
	3	B	M	M	A	A	
	2	B	B	M	M	A	
	1	B	B	B	M	A	
		1	2	3	4	5	
		Consecuencia					

Fuente: Formato de la clasificación de riesgos o criticidad.

Las ventajas que se pueden obtener a partir de la matriz de criticidad son poder identificar claramente las prioridades, además es una manera visual que nos facilita la toma de decisiones ya que podemos ver claramente qué problemáticas son más urgentes de abordar, por ende, podemos desarrollar un plan de acción para cada problema según su nivel de criticidad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.5.- Resumen de Criticidad.

3.5.1.- Regulación y supervisión ambiental deficiente.

En el caso de una operación minera, el concesionario goza de una serie de derechos, encontrándose sujeto al mismo tiempo a otras tantas obligaciones. En materia minera existen ciertas sanciones administrativas que poseen una vocación de aplicabilidad general. En rigor, consisten en represiones cuya aplicación puede ser motivada por hechos cometidos antes, durante o con posterioridad a que la faena minera haya cesado.

El artículo 38 de la Ley que crea la Superintendencia del Medio Ambiente consagra las siguientes sanciones aplicables:

- A) Amonestación por escrito.
- B) Multa de una a diez mil unidades tributarias anuales.
- C) Clausura temporal o definitiva.

A continuación, la siguiente tabla representa los meses del 2025 los respectivos valores de la UTA expresados en pesos y en las columnas restantes el IPC de cada mes de dicho año.

Tabla 14: Valores de la UTA expresados en pesos, IPC mensual (2025).

2025	UTA	(IPC)	Variación Porcentual		
		Valor en puntos (6)	Mensual (3)	Acumulado 2025 (4)	Últimos 12 meses (5)
Enero	\$809.148	106,74	1,1	1,1	4,9
Febrero	\$807.528				
Marzo	\$816.408				

Fuente: Servicio de Impuestos Internos de Chile (SII) 2025. UTM - UTA - IPC 2025. SII
https://www.sii.cl/valores_y_fechas/utm/utm2025.htm

Durante la faena minera son aplicables las legislaciones sancionadoras que rigen las diferentes autorizaciones otorgadas al titular. Estas autorizaciones dependen de las características particulares de cada concesión. Por ejemplo, podrán ser aplicadas las diferentes sanciones consagradas en el Código de aguas, en el Código sanitario o en la Ley que crea la Superintendencia del Medio Ambiente, como ya se ha visto.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Es relevante señalar que, dependiendo de la gravedad y naturaleza de la contaminación, los perjuicios que se hayan ocasionado o se puedan causar, pueden ocasionar infracciones graves a las empresas. Por ejemplo, una empresa minera que haya generado un daño ambiental grave e irreversible puede ser sancionada con una multa equivalente a 10.000 unidades tributarias anuales, incluso el cierre temporal o indefinido (artículo 592). Un caso destacado es el de SCM Minera Lumina Copper Chile S.A., operadora del proyecto "Caserones". La empresa fue multada con 10.000 UTA debido a incumplimientos en sus compromisos ambientales, que generaron afectaciones en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Río Ramadillas.

Sin embargo, existen sanciones menores que se aplican a infracciones de menor gravedad. Estas pueden incluir multas reducidas, medidas correctivas, o la implementación de planes de mitigación para remediar los impactos ambientales ocasionados.

La determinación de la sanción depende del nivel de daño ambiental, el incumplimiento de normativas y la reincidencia de la empresa en este tipo de faltas.

Considerando la información previa, es posible realizar un "pronóstico" sobre las posibles multas que podrían aplicarse, basándonos en las cifras de las Unidades Tributarias Anuales (UTA) y la gravedad de las infracciones cometidas. A partir de estos datos, se pueden estimar las sanciones económicas correspondientes según las normativas vigentes (Ley N° 20.417), lo que permite prever el impacto financiero de los eventuales incumplimientos.

A modo de ejemplificar lo expuesto anteriormente, a continuación se demuestra el cálculo de una sanción "grave" por el valor de las unidades tributarias anuales correspondiente al mes de Marzo.

$$10.000 \text{ UTA (Sanción)} \times \$816.408 \text{ Valor UTA (Marzo)} = \$8.164.080.000$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 15: Estimación de las sanciones económicas debido a incumplimientos.

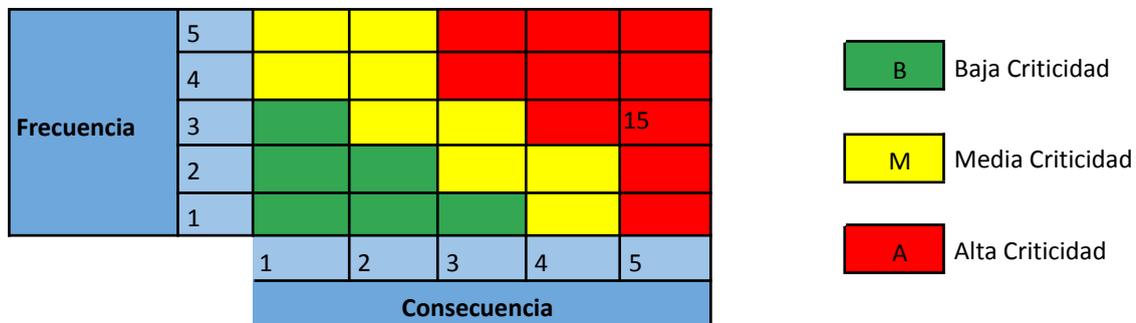
Pérdidas por sanción			
Pérdida Ingresos (PI) [Pesos]	Consecuencia	Período	Frecuencia
$PI \leq \$8.164.080.000$	5	Anual	1
$\$6.120.036.000 \leq PI < \$7.344.432.000$	4	Semestral	2
$\$2.041.020.000 \leq PI < \$4.080.240.000$	3	Trimestral	3
$\$408.204.000 \leq PI < \$816.408.000$	2	Mensual	4
$PI < \$408.204.000$	1	Semanal	5

Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile 2015. Sanciones administrativas aplicables a la actividad minera. BCN https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/21359/5/Informe_Sanciones_Mineras%20_v5.p

Para esta problemática, el nivel de criticidad obtenido es de 15, dado que la frecuencia es igual a 3 y la consecuencia tiene una ponderación de 5 (Tabla 15).

En resumen, en lo que respecta la regulación y supervisión ambiental deficiente, se puede observar que la frecuencia es 3, es decir, tiene una periodicidad regular, sin embargo, el impacto que tiene es considerable, teniendo la ponderación más alta y por lo tanto se traduce como una problemática de máxima criticidad (figura 11), debiendo ser prontamente evaluada para mitigar el daño.

Figura 11: Tabla de Criticidad.



Fuente: Criticidad por pérdidas en la regulación y supervisión ambiental deficiente.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.5.1.- Robo de materiales, equipos y activos fijos. Destrucción de oficinas pertenecientes tanto a contratistas como a Anglo American

El nivel de criticidad para esta problemática se ha establecido en 6, debido a que la frecuencia se valora en 2 y la consecuencia recibe una ponderación de 3 (*tabla 16*). Como se puede observar, los robos en las instalaciones de Anglo American ocurren con una frecuencia superior a la esperada. Sin embargo, en términos económicos, las consecuencias se sitúan en un nivel intermedio. Por lo tanto, esta problemática se clasifica como de criticidad media (*figura 12*).

Tabla 16: Niveles de criticidad

Pérdidas por robo			
Pérdida Ingresos (PI) [Pesos]	Consecuencia	Período	Frecuencia
$PI \leq \$85.204.000$	5	Anual	1
$\$31.951.500 \leq PI < \$63.903.000$	4	Semestral	2
$\$14.400.000 \leq PI < \$31.951.500$	3	Trimestral	3
$\$4.800.000 \leq PI < \$14.400.000$	2	Mensual	4
$PI < \$4.800.000$	1	Semanal	5

Fuente: Pérdidas por robo y su frecuencia.

Figura 12: Tabla de Criticidad.

Frecuencia	5	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	4	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	3	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	2	Green	Green	6	Yellow	Red
	1	Green	Green	Green	Yellow	Red
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

B Baja Criticidad

M Media Criticidad

A Alta Criticidad

Fuente: Criticidad en pérdidas por robo de materiales, equipos y activos fijos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.5.2.- Falta de monitoreo adecuado y carencia en los sistemas de detección temprana en la continuidad operacional.

Para esta problemática, se ha determinado un nivel de criticidad de 15, dado que la frecuencia se valora en 3 y la consecuencia tiene una ponderación de 5 (tabla 17). Se observa que las detenciones operativas en la faena minera de Anglo American ocurren con una frecuencia trimestral, y en términos de consecuencias, se encuentran en un nivel extremo. Por lo tanto, se clasifica como una problemática de alta criticidad (figura 13), que debe ser evaluada con urgencia para implementar acciones correctivas que minimicen el impacto.

Tabla 17: Niveles de criticidad.

Pérdidas por detenciones operacionales			
Pérdida Ingresos (PI) [Pesos]	Consecuencia	Período	Frecuencia
$PI \leq \$5.120.451.000$	5	Anual	1
$\$341.363.400 \leq PI < \$2.560.225.500$	4	Semestral	2
$\$170.681.700 \leq PI < \$341.363.400$	3	Trimestral	3
$\$34.136.340 \leq PI < \$170.681.700$	2	Mensual	4
$PI < \$34.136.340$	1	Semanal	5

Fuente: Pérdidas por detenciones operacionales y su frecuencia.

Figura 13: Tabla de Criticidad.

Frecuencia	5	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	4	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	3	Green	Yellow	Yellow	Red	15
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	1	Green	Green	Green	Yellow	Red
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

B Baja Criticidad

M Media Criticidad

A Alta Criticidad

Fuente: Criticidad por pérdidas en detenciones operacionales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.5.4.- Resumen de la Criticidad.

Tabla 18: Resumen de Criticidad.

Problema	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad	Probabilidad de ocurrencia
1.- Regulación y supervisión ambiental deficiente.	3	5	15	41,67%
2.- Falta de monitoreo adecuado y carencia en los sistemas de detección temprana.	3	5	15	41,67%
3.- Robo de materiales, equipos y activos fijos.	2	3	6	16,67%

Fuente: Resumen de criticidad en base a los problemas identificados.

En conclusión, los problemas analizados presentan niveles de criticidad elevados, especialmente en cuanto a la regulación y supervisión ambiental deficiente, así como la falta de monitoreo adecuado y la ausencia de sistemas de detección temprana, ambos con una criticidad de (15) y una probabilidad de ocurrencia del 41,67%. Estos problemas requieren atención urgente y medidas correctivas inmediatas. Por otro lado, el robo de materiales, equipos y activos fijos, aunque significativo, tiene una criticidad menor (6) y una probabilidad de ocurrencia de 16,67%, lo que implica que, si bien no es tan crítico, sigue siendo un riesgo relevante que gestionar.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA

En el capítulo anterior se identificaron y analizaron los principales desafíos que enfrenta Anglo American Chile, siendo abordados desde perspectivas tanto cuantitativas como cualitativas. Es importante destacar que estas problemáticas están estrechamente relacionadas con las deficiencias existentes en áreas fundamentales, como la seguridad, la organización y la continuidad operacional. Estas carencias constituyen aspectos críticos que afectan gravemente la capacidad de mantener un entorno operativo seguro y protegido, así como la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones. La presencia de estos problemas subraya la urgente necesidad de implementar medidas correctivas y propuestas de mejora.

El análisis realizado en un principio revela que, a pesar de la presencia de la empresa contratista “Somacor”, los eventos negativos continúan ocurriendo debido a la insuficiencia en el monitoreo y control de las instalaciones y zonas críticas. Y por si fuera poco, la situación se complica aún más con la sobrecarga de trabajo en las empresas contratistas debido a la reducción de personal, lo cual afectará directamente en la capacidad de garantizar una protección eficaz y mantener la operatividad de la minera.

No obstante, es importante señalar que las complicaciones que enfrenta la compañía no radican tan sólo en lo mencionado anteriormente, sino que también en la gestión de emergencias y el compromiso ambiental con la flora y fauna.

Es relevante señalar que, todo lo mencionado anteriormente, fue analizado de manera exhaustiva dado que se emplearon metodologías como el Diagrama de Ishikawa y el Análisis de Criticidad. Estas herramientas de diagnóstico evidenciaron que las causas identificadas están generando un impacto monetario significativo, lo cual indica un déficit en las áreas involucradas y que han impedido operar dentro de los parámetros establecidos por la compañía.

Sin la necesidad de redundar más, es fundamental poner en marcha una solución integral que subsane las deficiencias actuales, garantice la protección de los intereses de la compañía, de sus empleados, de las comunidades vecinas y otros grupos involucrados. Por lo tanto, la propuesta de mejora se enfocará en la implementación de:



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Tecnología avanzada para la seguridad y continuidad operacional en Minera Anglo American, División Las Tórtolas”

En este marco, la propuesta de mejora consistirá en la implementación de drones de alta resolución. Esta propuesta no solo permitirá una mejora en la vigilancia y el control de las instalaciones, sino que también garantizará la protección de los trabajadores y de las infraestructuras críticas de la minera. A través de la implementación de tecnología de drones, como cámaras de alta resolución, sensores remotos y un sistema de alerta temprana, se podrá realizar un seguimiento en tiempo real de las operaciones, identificando de manera inmediata cualquier incidente o irregularidad, desde robos hasta posibles fallas en los procesos productivos o incendios.

No menos importante, se espera además que la implementación de esta solución permita a la empresa ampliar su capacidad operativa y ofrecer un servicio más competitivo en el mercado.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.1.- Definición de Herramientas.

Ante los problemas descritos, el Ciclo de Deming que contempla (planificar, hacer, comprobar y actuar), será clave para optimizar la seguridad, la continuidad operativa y la gestión de emergencias en Planta Las Tórtolas. Este enfoque de mejora continua ofrece una estructura adecuada para abordar las deficiencias actuales y prevenir futuros inconvenientes, permitiendo realizar ajustes periódicos basados en evaluaciones y resultados. De esta forma, se asegura una mejora constante en la eficiencia operativa, minimizando riesgos y fortaleciendo las prácticas de gestión dentro de la compañía.

En consecuencia, a fin de alcanzar este propósito, la herramienta propuesta por W. Edwards Deming, conforme al contexto actual, permitirá además establecer un orden de prioridades ante los diversos desafíos existentes en la compañía. Lo anterior facilitará organizar de manera preferencial aquellos problemas que requieren mayor urgencia a diferencia de otros, con el único objetivo de mitigar o eliminar el mayor porcentaje de causas que generan impacto tanto en el ámbito de seguridad como operacional.

Sin más preámbulos, dada la magnitud de los eventos en términos económicos, se prevé que el rediseño y resolución de estos problemas generarán un impacto positivo para Anglo American Chile, tanto en términos de eficiencia operativa como en la optimización de recursos financieros.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.2.- Planificar (plan).

- *Objetivo: Incorporar tecnología avanzada mediante el uso de drones de alta resolución para fortalecer la seguridad, reforzar el monitoreo y garantizar la continuidad operacional de la División Las Tórtolas de Anglo American Chile.*
- *Metas: Debido al alto nivel de innovación que proporcionan los drones en comparación con el equipamiento y las herramientas tradicionales, se ha establecido una meta ambiciosa de reducir en aproximadamente un 60% tanto las multas y sanciones como las detenciones operativas y el número de robos.*

A continuación, se detalla el siguiente plan de acción:

Recopilación de Información:

Realizar un estudio exhaustivo para obtener datos sobre las tecnologías más avanzadas disponibles, centrado en la utilización de drones de alta resolución para monitoreo en tiempo real. Este proceso implica evaluar los aspectos técnicos, capacidades de visualización, alcance y duración de las baterías de los drones, así como su compatibilidad con el entorno geográfico y las condiciones operativas de las divisiones Las Tórtolas y Los Bronces.

Selección de Proveedores:

Desarrollar un proceso de selección de proveedores basado en una evaluación rigurosa de las características técnicas de los drones. La selección se centrará en aquellos proveedores que ofrezcan drones con características avanzadas de monitoreo y que cuenten con una infraestructura sólida de asistencia postventa.

Capacitación:

Identificar y programar programas de formación especializados para el manejo y mantenimiento de drones de alta resolución. La capacitación debe cubrir tanto el control operativo de los drones como su mantenimiento preventivo, reparación básica y protocolos de seguridad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Además, se deben considerar entrenamientos específicos para los equipos de monitoreo y seguridad que operaran los drones, asegurando una integración fluida de las tecnologías dentro de los procesos de vigilancia y respuesta ante emergencias

En este aspecto, es importante señalar se deben evaluar los costos asociados con la formación del personal, considerando si resulta más rentable contratar personal externo con experiencia en el manejo de drones o si se optará por capacitar al personal interno. Esta decisión dependerá de un análisis de costos.

En conclusión, en la etapa de planificación, es esencial considerar que todo plan de mejora debe apuntar a la consecución de tres grandes factores: tiempo, calidad y costos.

En relación al tiempo, es esencial definir un cronograma detallado para la planificación de todas las actividades involucradas en la implementación de drones de alta resolución. Este cronograma debe abarcar todas las fases del proyecto, desde el análisis inicial hasta la evaluación y ajustes finales del plan de mejora. La correcta distribución temporal de cada actividad garantiza que los recursos se asignen de manera eficiente y que las tareas se realicen en el orden adecuado, minimizando retrasos y optimizando el uso del tiempo. Además, el cronograma debe permitir revisiones periódicas para ajustar los plazos según sea necesario, asegurando que cada etapa del proyecto avance de manera fluida y dentro del tiempo previsto.

Por otra parte, el objetivo relacionado con la calidad es asegurar que las soluciones implementadas no solo cumplan con los estándares de seguridad y operatividad requeridos, sino que también permitan una mejora continua en su desempeño. Las propuestas deben centrarse en sistemas confiables y duraderos que, además de ser efectivos en la prevención y mitigación de incidentes, faciliten la operación en el largo plazo, minimizando fallos o necesidades de ajustes frecuentes.

En términos de costos, dentro de la planificación, el objetivo será maximizar la rentabilidad de la solución implementada, logrando el equilibrio adecuado entre inversión inicial, costos operativos y el retorno de la inversión. La propuesta deberá contemplar una evaluación de costos de adquisición, mantenimiento y operación del equipo, con un enfoque en la sostenibilidad financiera. A largo plazo, la optimización de costos también debe considerar el impacto en la reducción de incidentes, tiempos de inactividad y pérdidas asociadas, garantizando que los beneficios superen los costos involucrados.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.3.- Hacer (do).

Para asegurar una gestión eficaz del tiempo, calidad y costos, la implementación de drones de alta resolución contemplará diversas fases: (preparación, instalación, capacitación y evaluación). Este enfoque optimizará el seguimiento del progreso, minimizará retrasos y garantizará una ejecución eficiente, alineada con los objetivos establecidos.

Tabla 19: Cronograma de actividades.

Fase	Duración		Actividades
1.- Análisis inicial	1er MES	Semana (1-2)	- Registrar cuántas rondas se realizan por turno y qué áreas son cubiertas por cada ronda (tranque de relaves, mineroducto, zonas de seguridad, instalaciones varias).
			- Verificar la asignación de recursos y ratificar si el personal disponible es suficiente para cubrir las áreas críticas.
			- Detectar si acaso existen zonas vulnerables o que son de fácil acceso.
			- Identificar las zonas críticas que no están cubiertas por patrullajes regulares o cámaras de seguridad.
	Semana (3-4)	- Evaluar si los sistemas de monitoreo actuales (cámaras, sensores, patrullajes manuales) son suficientes para cubrir las zonas de alto riesgo.	
		- Identificar áreas de difícil acceso para vehículos terrestres debido a condiciones geográficas (caminos deteriorados, terreno accidentado, vegetación densa, etc.).	
		- Verificar si hay formas alternativas de monitoreo para estas áreas (por ejemplo, uso de drones).	
		- Evaluar y reestructurar la distribución de tareas y actividades de seguridad, considerando la reorganización del personal de Somacor e integrando opciones como personal externo o capacitación en el uso de drones.	



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2.- Preparación y planificación	2do MES	Semana (5-6)	<ul style="list-style-type: none">- Establecer un cronograma detallado y asignar recursos para cada etapa.- Es importante asegurar que todos los involucrados estén alineados con los objetivos y avances del proyecto. Por tanto, realizar reuniones iniciales con los equipos pertinentes es clave (seguridad, operaciones, tecnología).
		Semana (7-8)	<ul style="list-style-type: none">- Organizar sesiones con los empleados para explicar los beneficios del sistema propuesto.
			<ul style="list-style-type: none">- Recoger retroalimentación de los equipos y personal en terreno para ajustar la planificación si es necesario.- Una vez identificadas las zonas críticas, es necesario evaluar la cantidad de drones que deben ser implementados.
		3.- Adquisición de drones y equipos auxiliares	3er MES
Semana (11-12)	<ul style="list-style-type: none">- Incluir en el presupuesto los costos recurrentes de mantenimiento, repuestos y accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos.		
	<ul style="list-style-type: none">- Verificar que los equipos adquiridos puedan integrarse adecuadamente con los sistemas actuales implementados en las instalaciones de Anglo American Chile y Somacor. Esto podría incluir la instalación de sistemas adicionales o accesorios que aseguren la compatibilidad.		



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.- Capacitación del personal	4to MES	Semana (13-14)	- Formar al personal en el manejo de drones, sensores y sistemas de control. - Realizar sesiones prácticas para garantizar un uso seguro y eficiente.
		Semana (15-16)	- Solicitar cotizaciones a diversas empresas especializadas en cursos de capacitación con el objetivo de identificar la opción que ofrezca la mejor relación entre costo y beneficio.
			- Ejecutar simulacros en áreas de prueba antes de la implementación en áreas críticas.
			- En caso de contratar personal externo con experiencia en la operación de drones, es igualmente indispensable realizar sesiones prácticas para evaluar y garantizar sus competencias.
5.- Instalación y puesta en marcha	5to MES	Semana (17-18)	- Instalar drones en los puntos estratégicos definidos (mineroducto, tranque de relaves, instalaciones) - Rediseñar si fuera necesario el centro de control para monitorear en tiempo real las grabaciones del dron, asegurando su integración con el software de vigilancia y operaciones para la toma de decisiones inmediata.
		Semana (19-20)	- De ser necesario, se debe establecer y proveer espacios adecuados (estaciones de carga), donde los operadores puedan descansar, almacenar el dron, accesorios, entre otros.
		Semana (21-22)	- Realizar pruebas operativas bajo condiciones reales para validar la funcionalidad.
- Hacer ajustes necesarios para optimizar el rendimiento del sistema.			

Fuente: Cronograma de las diversas fases que contempla el plan de mejora.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Análisis inicial.

La implementación de programas será esencial para realizar diversos diagnósticos que permitirán evaluar las condiciones actuales, identificar deficiencias, analizar la infraestructura y el equipamiento para la inspección y monitoreo de las operaciones e instalaciones de la División Las Tórtolas. Estos análisis proporcionarán una visión general que determinarán la necesidad de optimizar recursos y mejorar la eficiencia operativa mediante estrategias como la incorporación de tecnologías avanzadas y el uso de drones.

El programa de evaluación será llevado a cabo por el personal perteneciente a la empresa Somacor, la planilla que se observará a continuación incluirá la inspección de diferentes zonas, categorización de riesgos por tipo y nivel con un sistema de colores, registro de evidencias, análisis de consecuencias y acciones sugeridas.

Tabla 20: Tabla informativa nivel de riesgo.

Zona	Nivel	Tipo	Evidencias	Consecuencias	Acción sugerida
Responsable				Fecha	
Turno				Firma	

Fuente: Formato del programa evaluativo para el análisis inicial del proyecto.

Con el propósito de comprender mejor la dinámica del programa mencionado anteriormente, las siguientes tablas presentan información in situ sobre el nivel de riesgo asociado a las distintas zonas que fueron inspeccionadas, clasificándolas según su tipo (físico, de seguridad, operativo, entre otros). Además, se evaluaron los daños y anomalías que presentan los equipos de seguridad y monitoreo, y por otra parte, se evidenció la presencia de condiciones geográficas adversas. Consecutivamente, se analizaron las consecuencias que estos riesgos podrían ocasionar en las operaciones e instalaciones mineras, y finalmente, se proponen las medidas correctivas o preventivas necesarias para mejorar o cambiar las condiciones identificadas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 21: Tablas informativas nivel de riesgo.

Zona	Nivel	Tipo	Evidencias	Consecuencias	Acción sugerida
Accesos a Planta Las Tórtolas	Medio	Físico	Cerca dañada	Accesos no autorizados que pueden causar pérdidas económicas	Solicitar reparación de cerca
		Seguridad	Sistemas de monitoreo desconectados o defectuosos.	Impacto en la integridad de las operaciones (interrupciones operativas, daños a equipos e instalaciones).	Solicitar reparación de cámaras y evaluar la incorporación de drones de alta resolución.
Responsable		Daniel Droguett		Fecha	
Turno		A		Firma	

Zona	Nivel	Tipo	Evidencias	Consecuencias	Acción sugerida
Mineroducto	Alto	Seguridad	Condiciones geográficas complejas para monitorear la zona.	Derrames y fugas no detectadas a tiempo.	Evaluar la incorporación de drones de alta resolución.
		Operativo	Equipos y sistemas de monitoreo fuera de servicio.	Pérdidas operativas y financieras.	Solicitar la reparación de equipos y sistemas de monitoreo.
Responsable		Roberto Saavedra		Fecha	
Turno		A		Firma	

Fuente: Programa evaluativo para el análisis inicial del proyecto.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Con el objetivo de fortalecer el programa anterior y obtener un diagnóstico más exhaustivo, se llevará a cabo un nuevo análisis que determinará la cantidad de rondas realizadas durante una jornada laboral de 12 horas con el personal disponible en la actualidad.

Tabla 22: Tabla diagnóstico de zonas monitoreadas y frecuencia de rondas.

Hora de inicio	Hora de término	N.º de ronda	Zona	Observaciones
Responsable				Fecha
Turno				Firma

Hora de inicio	Hora de término	N.º de ronda	Zonas	Observaciones
20:30 PM	6:00 AM	2	Tranque de relaves - Barrio cívico - Sector La Isla	Monitoreo pendiente mineroducto
Responsable		Pedro Sanhueza		Fecha
Turno		B		Firma
				18 / 12/ 24

Fuente: Programa evaluativo para el análisis inicial del proyecto.

El propósito de este programa evaluativo es realizar un diagnóstico que permita determinar las zonas monitoreadas y la frecuencia de rondas efectuadas con los recursos y el personal disponible. Este análisis tiene como objetivo principal evaluar si los equipos y el personal asignado son suficientes para garantizar la cobertura adecuada de todas las áreas designadas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

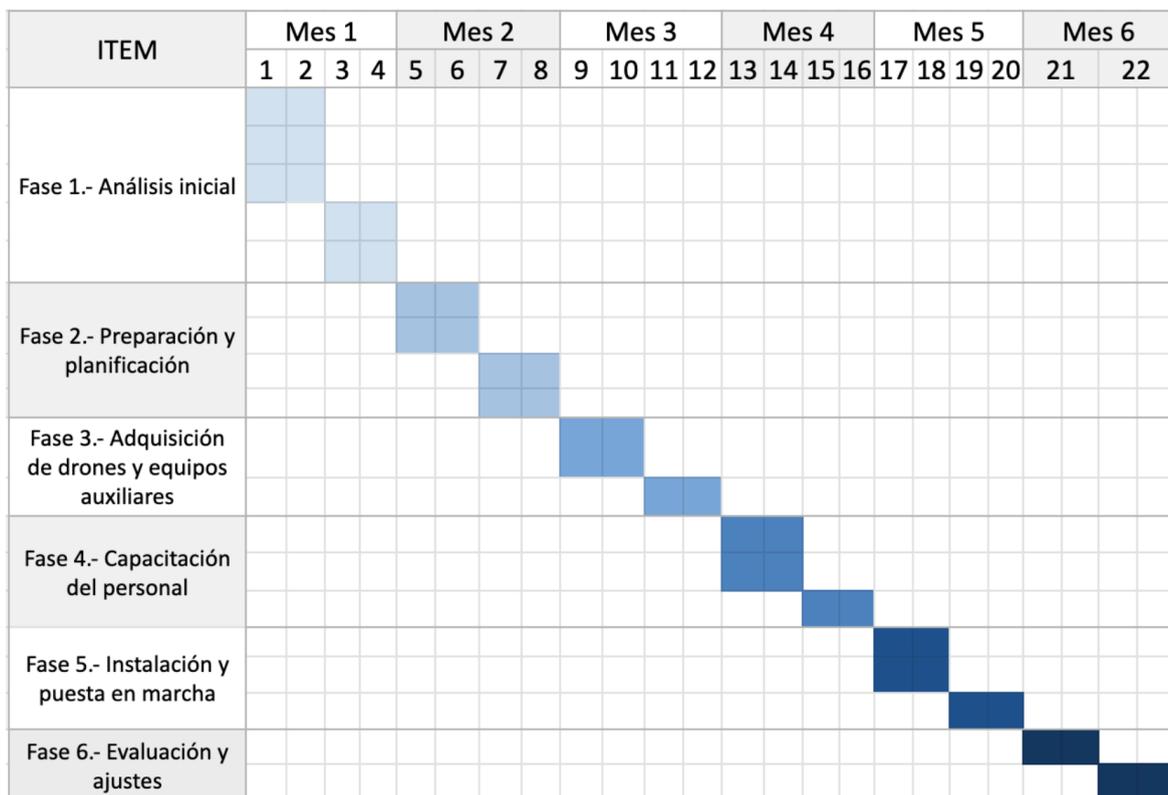
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Preparación y Planificación.

Con respecto a esta fase, es relevante elaborar un cronograma, ya que es una herramienta fundamental para planificar y gestionar. En otras palabras, permite una visualización clara, gestionar el tiempo y monitorear el progreso de un plan de mejora o proyecto.

A continuación, la siguiente Carta Gantt refleja la duración que implicará la incorporación de drones de alta resolución, abarcando las fases de preparación, instalación, capacitación y evaluación.

Tabla 23: Carta Gantt.



Fuente: Carta Gantt de la implementación de drones de alta resolución.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En todo plan de mejora que implique la incorporación de nuevas tecnologías o la modificación de procedimientos, la resistencia al cambio constituye uno de los principales obstáculos que pueden afectar su implementación y éxito.

Este fenómeno es una respuesta natural en los seres humanos frente a la incertidumbre y las transformaciones, incluso cuando estas buscan generar mejoras significativas. La resistencia al cambio puede originarse por diversas razones, tales como el temor a lo desconocido, la falta de información, la percepción de inseguridad o la preferencia por mantener prácticas establecidas debido a la comodidad o la rutina.

Considerando lo anterior, resulta fundamental destacar que, en la fase de preparación y planificación, todas las áreas involucradas en el plan de mejora (seguridad, operaciones, entre otras) deberán estar completamente informadas respecto a las razones que motivaron la implementación de drones. Para aquello, se establecerán una serie de acciones estratégicas con el fin de asegurar una puesta en marcha exitosa.

1) Comunicación clara y transparente:

- Se informará a todos los actores sobre el propósito, beneficios y objetivos específicos de la implementación de los drones.
- Se explicará cómo estos dispositivos mejorarán la seguridad, la eficiencia y la operatividad para evitar malentendidos y temores.

2) Involucrar a los equipos claves:

- Se realizarán reuniones con equipos relevantes (seguridad, operaciones, tecnología, entre otros) para resolver dudas y escuchar preocupaciones.
- Se fomentará la participación en el proceso desde las etapas iniciales para generar una sensación de pertenencia.

3) Capacitación y entrenamiento:

- Se informará sobre la realización de programas de capacitación para asegurar que el personal involucrado conozca el funcionamiento de los drones. Esto permitirá que los empleados se sientan seguros y competentes para operar con esta tecnología.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- 4) Demostrar beneficios tangibles:
 - Se mostrará con datos y ejemplos claros cómo los drones contribuyen a la prevención de riesgos, la detección de fallas y la optimización de recursos.
 - Se implementarán pruebas piloto para demostrar sus capacidades y resultados positivos en la práctica.

- 5) Crear un ambiente de confianza:
 - Se resolverán temores relacionados con la posible pérdida de empleo o la incertidumbre frente a la tecnología.
 - Se explicará que la implementación no busca reemplazar funciones, sino apoyar y mejorar la seguridad y eficiencia operativa.
 - Se abordarán las preocupaciones relacionadas con la incertidumbre tecnológica mediante incentivos, como el aumento de sueldo para quienes se capaciten y operen estos equipos.

- 6) Establecer planes de respaldo:
 - Se contará con un plan de contingencia y mecanismos de soporte para garantizar que la implementación sea progresiva y ajustada según las necesidades y desafíos identificados.

- 7) Evaluación continua y retroalimentación:
 - Se establecerán canales para recibir opiniones y sugerencias de los trabajadores.
 - Se ajustarán los procedimientos y estrategias en función de los comentarios para lograr una mejor integración de los drones.

En conclusión, a través de estas estrategias, la resistencia al cambio puede minimizarse, lo cual asegura una implementación satisfactoria de los drones y una mejor adaptación al nuevo enfoque tecnológico.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Con el propósito de asegurar que todas las áreas involucradas en el plan de mejora estén completamente informadas respecto a la implementación de drones, se llevará a cabo una evaluación obligatoria. Esta evaluación tendrá como objetivo medir la comprensión y aceptación del personal implicado, identificará posibles brechas en la comunicación o en los procesos de capacitación, recogerá retroalimentación y abordará las preocupaciones planteadas. De esta manera, se buscará garantizar que todas las inquietudes sean atendidas de manera integral y que el proceso se implemente de manera efectiva y consensuada.

Tabla 24: Formato de evaluación.

EVALUACIÓN OBLIGATORIA			
NOMBRE:	ÁREA:	FECHA:	
Por favor, responda con una X las siguientes preguntas en base a los lineamientos presentados.			
ÍTEM DE EVALUACIÓN	SÍ	NO	OBSERVACIONES
1.- La información proporcionada fue clara y entendible.			
2.- ¿Ha recibido información clara sobre el propósito, beneficios y objetivos de la implementación de drones?			
3.- ¿Comprendió cómo estos dispositivos mejorarán la seguridad, la eficiencia y la operatividad?			
4.- En la reunión inicial se abordaron las dudas y preocupaciones de los equipos.			
5.- Se sintió involucrado y parte del proceso desde las etapas iniciales.			
6.- ¿Considera que su opinión ha sido valorada durante este proceso?			



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

7.- La información respecto a los programas de capacitación fueron suficientes y adecuados.			
8.- Se resolvieron temores respecto a la pérdida de empleo o incertidumbre tecnológica.			
9.- Se abordaron las preocupaciones laborales con incentivos claros (capacitación, aumento de sueldo).			
10.- Existe claridad sobre los planes de contingencia y respaldo en el proyecto.			
11.- Se siente en confianza con los beneficios y la integración de los drones al entorno laboral.			
12.- El equipo técnico explicó de forma efectiva las capacidades de los drones.			
13.- La planificación y fases del proyecto se explicaron con suficiente detalle.			
FIRMA			

Fuente: Formato de evaluación.

A su vez, a lo largo de la fase correspondiente a la preparación y planificación, resulta relevante identificar las zonas críticas, dado que será necesario evaluar y estimar la cantidad de drones que deberían incorporarse.

En el siguiente apartado, se analizarán las instalaciones y áreas asociadas a las operaciones mineras de Anglo American División Las Tórtolas. Estas, debido a su naturaleza y características, han sido, en múltiples ocasiones, objetivo de eventos relacionados a disturbios, robos, protestas, incendios, filtraciones y derrames.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Figura 14: Zonas de Operaciones Minera Anglo American Chile.

Tranque de relaves



Sector La Isla



Barrio cívico



Mineroducto



Fuente: Instalaciones y operaciones críticas de Anglo American Chile, División Las Tórtolas.

El monitoreo del tranque de relaves, realizado mediante una camioneta 4x4, abarca inspecciones de 40 km para inspeccionar el tranque y los muros de contención. Paralelamente, el mineroducto requiere un recorrido de 60 km, mientras que la vigilancia del barrio cívico, la isla y el área periférica de la compañía minera suman distancias de 15 km, 19 km y 20 km, respectivamente.

Es fundamental señalar que el tiempo requerido para llevar a cabo estas tareas es considerable, ya que se trata de una zona geográfica de alta complejidad. En este contexto, resulta indispensable cumplir estrictamente con las normativas de seguridad establecidas por la compañía, sin excepciones. Esto incluye, entre otras medidas, el respeto a las restricciones de velocidad y la solicitud de permisos mediante radiofrecuencia.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 25: Información de las distancias inspeccionadas en Anglo American Chile.

ZONA	TOTAL (KM)	OBSERVACIONES
Tranque de relaves	40 km	
Mineroducto	60 km	
Barrio cívico	15 km	
Sector la isla	19 km	
Sector periférico	20 km	

Fuente: Información sobre las distancias de las zonas que se inspeccionan y monitorean.

En conclusión, el análisis realizado respalda aún más la implementación de drones, ya que estos facilitarán una optimización considerable del tiempo y los recursos asignados a las rondas de inspección en diversas áreas, al minimizar la necesidad de desplazamientos en vehículo. Además, su uso permitirá una cobertura más eficiente y precisa, lo que se traduce en una reducción de los costos operativos y una mejora significativa en la seguridad durante las tareas de monitoreo.

➤ Adquisición de drones y equipos auxiliares.

En cuanto a la fase N°3 correspondiente a la adquisición de drones y equipos auxiliares, resulta pertinente considerar dos aspectos clave:

- Contacto estratégico con proveedores.

Dado que el acceso a información detallada sobre los equipos está limitado, se priorizará el establecimiento de relaciones estratégicas con proveedores que estén dispuestos a compartir datos técnicos a cambio de compromisos preliminares. Además, se explorarán alternativas para obtener la máxima cantidad de información técnica posible antes de concretar la compra.

- Negociación y garantía de entrega.

Se buscará formalizar acuerdos claros sobre los términos de compra, asegurando que las fechas de entrega estén alineadas con los plazos de implementación previstos. Al mismo tiempo, se mantendrá flexibilidad para realizar ajustes según la disponibilidad de los equipos, con el objetivo de minimizar posibles retrasos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En el marco de la evaluación de proveedores para la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas, se analizaron las propuestas de dos empresas destacadas en el sector de drones y tecnología de captura de datos: Dronescan y Heliboss. Estas compañías fueron seleccionadas por su experiencia, calidad en los servicios ofrecidos y adaptabilidad a las necesidades específicas del proyecto.

A continuación, se detalla la información recopilada de cada proveedor:

Tabla 26: Información de los proveedores de drones en Chile.

Categoría	Información
Nombre de la empresa	Dronescan
Correo	ventas@dronescan.cl
Teléfono	56998761314
Sucursal	Av. Alemania #0425 Paseo Los Suizos local 210
Facilidades de pago	Todo medio de pago
Horario de atención	Lunes a viernes: 10:30 - 13:30 -15:30 - 18:30 Sábado: 10:30 - 13:30
Promociones	Entrega gratuita por compras desde \$350.000

Categoría	Información
Nombre de la empresa	Heliboss
Correo	contacto@heliboss.cl
Teléfono	56973767925
Sucursal	Pedro de Valdivia Nte #0121
Facilidades de pago	Todo medio de pago
Horario de atención	Lunes a viernes: 10:00 - 18:00
Promociones	Incluye capacitación: Uso, cuidados y mantención nivel usuario.

Fuente: Información recopilada de tres empresas líderes en la comercialización de drones.

La evaluación de estas empresas permitirá identificar al proveedor más adecuado para garantizar el éxito en la implementación de tecnologías innovadoras, cumpliendo con los requerimientos específicos de calidad y costo-beneficio.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En el siguiente recuadro se presenta una comparativa de modelos de drones ofrecidos por los proveedores Dronescan y Heliboss. Esta información incluye detalles técnicos, especificaciones de vuelo, capacidades de detección, entre otros.

Tabla 27: Tabla comparativa de proveedores para la adquisición de drones.

PROVEEDOR	Dronescan		Heliboss
MODELO	Matrice 350 RTK	Matrice 300 RTK	DJI Inspire 3
IMÁGEN REFERENCIAL			
Tiempo máximo de vuelo	55 minutos	55 minutos	28 minutos
Temperatura de funcionamiento	-20 a 50 °C	-20 a 50 °C	-20 a 50 °C
Posicionamiento y detección	6 direcciones	6 direcciones	Dirección en 360º en calidad 8K
Visión nocturna	Cámara FPV de visión nocturna	Se debe adquirir como accesorio adicional	Cámara FPV de visión nocturna
Batería	TB65 (400 ciclos)	TB60 (300 ciclos)	TB51 (400 ciclos)
Peso	3.77 kg	3.6 kg	4 kg
Precio repuesto de batería	\$999.900	\$823.906	\$ 662.223
Precio del equipo	\$10.696.000	\$6.738.000	\$14.590.000

Fuente: Comparativas de proveedores para la adquisición de drones y equipos auxiliares.

Por otro lado, como complemento en la implementación de drones, es fundamental tener en cuenta dentro de los costos las tareas de mantenimiento preventivo necesarias para cada equipo, tales como el reemplazo de baterías, la calibración y otros ajustes pertinentes.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Los costos relacionados con cada equipo se evaluarán durante un período de cuatro años, con el objetivo de analizar su comportamiento financiero a lo largo del tiempo. Este análisis permitirá identificar el incremento progresivo en los costos debido a las acciones de mantenimiento preventivo, lo que facilitará determinar cuál de los equipos resulta más beneficioso y conveniente en términos de la relación costo-beneficio.

Tabla 28: Precio de drones y mantenciones preventivas.

MANTENCIÓN PREVENTIVA MATRICE 350 RTK										
Item	Año 0	Año 2				Año 4				Total
Trimestre	-	1	2	3	4	1	2	3	4	
Mano de Obra	-			\$320.000				\$320.000		\$640.000
Cambio de batería	-			\$999.900				\$999.900		\$1.999.800
Compra de equipo	\$10.696.000	(costo de equipo + mantenciones preventivas)								\$13.335.800

MANTENCIÓN PREVENTIVA MATRICE 300 RTK													
Item	Año 0	Año 1				Año 2				Año 3			
Trimestre	-	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mano de obra	-				\$320.000				\$320.000				\$320.000
Cambio de batería	-				\$823.906				\$823.906				\$823.906
Cámara nocturna	\$3.646.000												
Compra de equipo	\$6.738.000												

Item	Año 4				Total
Trimestre	1	2	3	4	
Mano de obra				\$320.000	-
Cambio de batería				\$823.906	-
(costo de equipo + cámara nocturna + mantenciones preventivas)					\$14.959.624



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MANTENCIÓN PREVENTIVA DJI INSPIRE 3										
Item	Año 0	Año 2			Año 4			Total		
Trimestre	-	1	2	3	4	1	2	3	4	
Mano de obra	-				\$320.000				\$320.000	-
Cambio de batería					\$662.223				\$662.223	-
Compra de equipo	\$14.590.000	(costo de equipo + mantenciones preventivas)							\$16.554.446	

Fuente: Datos correspondiente al valor equipo y mantenciones preventivas.

Tras la comparativa realizada, se puede concluir que el equipo Matrice 350 RTK presenta el menor costo total en comparación con los otros dos modelos evaluados, alcanzando un total de \$13.335.800, incluyendo las mantenciones preventivas y el reemplazo de batería correspondiente. Este modelo destaca como una opción equilibrada, combinando una inversión inicial razonable con costos de mantenimiento moderados, posicionándose como la alternativa más económica a largo plazo.

Una de sus ventajas principales es su tiempo de vuelo, que alcanza los 55 minutos, el mayor entre los equipos analizados. Asimismo, su batería TB65 garantiza una durabilidad de 400 ciclos, lo que equivale a una cantidad significativa de vuelos antes de requerir un reemplazo. Estas características técnicas lo convierten en una herramienta ideal para cumplir de manera eficiente con las labores de inspección y monitoreo asignadas.

Además, gracias a su rango de operación en temperaturas extremas (-20 °C a 50 °C), el Matrice 350 RTK es altamente adaptable a las condiciones climáticas del sector, asegurando un desempeño óptimo en diversos entornos.

En resumen, se optará por la incorporación del Matrice 350 RTK debido a su combinación de bajo costo total, especificaciones técnicas sobresalientes y capacidad de adaptación al entorno, lo que lo convierte en la elección más adecuada para las operaciones previstas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Capacitación del Personal.

Los drones son herramientas clave en industrias como la agricultura, minería, seguridad y logística. Su operación requiere conocimientos técnicos y certificaciones que aseguren el cumplimiento de normativas. Por ello, es esencial analizar las empresas y organismos que ofrecen capacitación para su manejo. El siguiente recuadro compara las características de tres empresas que ofrecen cursos de capacitación para el manejo de drones:

Tabla 29: Tabla comparativa de empresas prestadoras de servicios de capacitación.

ITEM	CARACTERÍSTICAS		
Nombre de la empresa	PRODRONE	HDRONES	DRONE EXPLORA
¿La empresa certifica?	Sí	Sí	Sí
Nombre del curso	Curso operador de dron e y Normativa DGAC.	Curso para obtener la credencial de la DGAC + aprender a volar drones.	Curso de obtención de credencial DGAC presencial.
Valor del curso (\$)	\$230.000 + \$23.000 (licencia)	\$150.000 + \$23.000 (licencia)	\$100.000 + \$23.000 (licencia)
Duración del curso	24 hrs + 5 hrs de vuelo práctico	8 hrs 30 min	16 hrs
Modalidad	Presencial / online	Presencial / online	Presencial
Contenido	Teoría + prácticas	Teoría + prácticas	Teoría + prácticas
Casa matriz	Av. General Bustamante #398, Providencia. Santiago, Chile.	Av. El Bosque Norte #211, Las Condes. Santiago, Chile.	Morandé #835, of. 518, Santiago, Chile

Fuente: Comparativa de empresas prestadoras de servicios de capacitación.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DRONE EXPLORA es una opción económica y eficaz para la capacitación en manejo de drones. Con un costo de \$100.000 por alumno, ofrece un curso intensivo de 16 horas que prepara a los estudiantes para obtener la credencial DGAC rápidamente. Su modalidad 100% presencial asegura una formación de calidad, siendo más accesible que otras opciones como PRODRONE y HDRONES.

En relación al costo de la licencia, esta tiene un valor de \$23.000 y su propósito es validar los conocimientos adquiridos durante la capacitación mediante una evaluación administrada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). La evaluación consiste en un examen escrito que abarca las normativas DAN 151, DAN 91, así como los temas de Meteorología y Aerodinámica. Para obtener la licencia, es necesario aprobar el examen con una calificación mínima del 75%.

Tabla 30: Licencia piloto de dron en la DGAC.

Valor inscripción DGAC	Valor (\$)
-	\$23.000

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil (2025). Art. 43° Licencias tripulación de vuelos (DGAC).

<https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2025/01/Resolucion-Tarifario-1er-trimestre-2025.pdf>

La DGAC conforme al ART. 38° “DERECHOS DE INSCRIPCIÓN, CERTIFICACIÓN Y OTRAS ACTUACIONES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL”, obliga a una inscripción de dominio en el Registro Nacional de Aeronaves. Estas deberán pagar un derecho equivalente a:

Tabla 31: Inscripción de dron en la DGAC.

Peso máximo de despegue de la aeronave	Valor (\$)
Hasta 800 Kg	\$27.816
Desde 801 y hasta 2.000 Kg	\$58.764
Desde 2.001 y hasta 5.700 Kg	\$89.504
Desde 5.701 y hasta 15.000 Kg	\$144.751

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil (2025). ART. 38° Derechos de inscripción, certificación y otras actuaciones de la dirección general de aeronáutica civil (DGAC).

<https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2025/01/Resolucion-Tarifario-1er-trimestre-2025.pdf>



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En relación con el recuadro anterior y tomando en cuenta la elección del drone Matrice 350 RTK, es importante mencionar que su peso es de aproximadamente 3.77 kg. Por lo tanto, de acuerdo con el tarifario de inscripción establecido por la DGAC, el costo correspondiente sería aproximadamente de \$89.504.

Por otro lado, el ART. 38° BIS correspondiente a la Dirección General de Aeronáutica Civil establece que, para obtener la habilitación o certificación de un piloto de drone, se debe contar con un diploma que certifique la capacitación adecuada, otorgado por una entidad autorizada.

Tabla 32: Diploma de la licencia piloto de dron en la DGAC.

Actuación	Valor (\$)
Diplomas (cada otorgamiento)	\$5.637

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil (2025). ART. 38 BIS (DGAC).

<https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2025/01/Resolucion-Tarifario-1er-trimestre-2025.pdf>

No obstante, es fundamental destacar que, durante la etapa de capacitación, se deben considerar los siguientes aspectos. Como parte de un plan estratégico, se evaluarán los costos asociados a la contratación de personal con experiencia en la operación de drones, quienes, además, deberán contar con todas las certificaciones vigentes.

Además, al tratarse de una persona externa, ésta deberá someterse a una serie de exámenes preocupacionales requeridos tanto por la empresa Somacor como por Anglo American. En caso de no cumplir con los estándares de salud establecidos, el postulante no podrá avanzar en el proceso de contratación.

Seguidamente, como requisito excluyente, el personal externo deberá contar con una licencia interna para operar vehículos en el interior de la mina. Para obtenerla, será necesario completar un curso de conducción en alta montaña 4x4, así como aprobar una serie de exámenes psicotécnicos y de evaluación visual a través del test de visión.

En la siguiente sección, se presenta un análisis detallado de los costos asociados a los exámenes preocupacionales requeridos para el personal nuevo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 33: Costos asociados a exámenes preocupacionales.

Tipo de evaluación	Categoría	Batería o prestación	Lista de precios 2024
Baterías médicas	Estado de salud general	Chequeo avanzado	\$66.980
		Batería alcohol y drogas	\$102.370
	Riesgos laborales	Altitud geográfica entre 3.000 Y 5.500	
		Msnm	\$79.540
		Ruido	\$25.930
		Sílice cristalizada	\$75.200
Baterías médicas	Exámenes adicionales	Audiometría	\$7.510
		Bilirrubina total	\$3.380
		Rx tórax pa o ap	\$23.550
	Total exámenes preocupacionales		\$384.460

Fuente: ACHS SALUD (2024). Servicios de evaluaciones laborales aranceles 2024.
https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/sel/sel_tarifario-2024.pdf?sfvrsn=37f2b8a4_2

Consecutivamente, en el recuadro que se observará a continuación, se detallan todos los valores asociados al curso técnicas de manejo montaña 4x4.

Tabla 34: Costos asociados al curso técnicas de manejo montaña 4x4.

Detalle de la cotización	
Detalle	Precio unitario
Test alcohol y drogas COC-THC-AMP-BZO	\$35.000
Evaluación Psicosensométrica rigurosa	\$50.000
Examen altitud geográfica	\$50.000
Evaluación aversión al riesgo	\$20.000
Curso manejo 4x4 en alta montaña	\$155.000
Total cotización	\$310.000

Fuente: Cotización Petrinovic (2024). Servicios de salud laboral e itinerario curso alta montaña 4x4.
<https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox/FMfcgzQXKhGGmZGvXJvKpxsNsqGJthxM?projector=1&messagePartId=0.1>



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Continuando con el programa para la estimación de contratar personal nuevo, en caso de que las evaluaciones respalden esta estrategia, se deberá tener en cuenta la implementación de una inducción de carácter obligatorio.

Tabla 35: Inducción personal hombre nuevo.

Etapa	Contenido	Duración	Área	Medios a utilizar
1.-	<ul style="list-style-type: none">- Inducción a la organización.- Historia de la empresa.- Visión, misión y valores.- Políticas de seguridad.	30 minutos.	RRHH	<ul style="list-style-type: none">- Power Point de video institucional.- Manual corporativo, entre otros.
2.-	<ul style="list-style-type: none">- Temas contractuales.- Tipo y duración del contrato.- Horarios de trabajo.- Pago y bonificaciones.- Firma de contrato.	30 minutos.	RRHH	<ul style="list-style-type: none">- Presentación en PowerPoint.- Aplicaciones de gestión contractual.
3.-	<ul style="list-style-type: none">- Inducción al área de trabajo.- Funciones del guardia.- Normativa minera aplicable- Uso de equipos de comunicación y protección personal.	90 minutos.	Supervisor / Jefe de turno / APR	<ul style="list-style-type: none">- Powerpoint de manual de procedimientos.- Trípticos informativos.- Video corporativo de Anlgo American Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.-	<ul style="list-style-type: none">- Inducción al puesto de trabajo.- Procedimiento de rondas de seguridad.- Vigilancia en áreas críticas (zona industrial, mineroducto, tranque de relaves).- Control de accesos y salidas.	90 minutos.	Supervisor / Jefe de turno	<ul style="list-style-type: none">- Mapa de zonas críticas a resguardar.- Checklist de rondas, entre otros
5.-	<ul style="list-style-type: none">- Operación y uso de drones.- Manejo básico y avanzado de drones.- Supervisión de áreas críticas.- Mantenimiento preventivo y correctivo.	120 minutos.	Supervisor / operador	<ul style="list-style-type: none">- Drones operativos.- Manual técnico, simuladores virtuales, entre otros.
6.-	<ul style="list-style-type: none">- Protocolos de actuación.- Respuesta ante emergencias (derrames, incendios, robos).- Procedimientos de detención y contención de intrusos.- Informe y registro de eventos.	120 minutos.	Supervisor / Jefe de turno / APR	<ul style="list-style-type: none">- Manual de protocolos de emergencia.- Formatos de reporte.- Simulacros, entre otros.

Fuente: Inducción personal hombre nuevo.

La tabla anterior es esencial para la integración efectiva del personal en cuanto a la organización y cumplimiento de sus responsabilidades.

Al finalizar la inducción, resultará pertinente incorporar una evaluación para medir la satisfacción del postulante, observar (tabla 36).



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 36: Evaluación de satisfacción de inducción al nuevo personal.

EVALUACIÓN DE LA INDUCCIÓN		
NOMBRE:	ÁREA:	FECHA:
A continuación se detallan los siguientes criterios de evaluación, seleccione la ponderación en base a los lineamientos presentados.		
CRITERIO		
4	La información es clara, bien estructurada y cubre todos los temas necesarios.	
3	La información proporcionada es clara, algunos detalles podrían mejorarse.	
2	La información es parcialmente clara.	
1	La información es incompleta, confusa o irrelevante para el puesto de trabajo.	
PREGUNTAS		VALORACIÓN
Inducción a la organización.		
Políticas de la empresa.		
Temas contractuales.		
Inducción al área de trabajo.		
Procedimiento de trabajo.		
Operación y uso de drones.		
Protocolos de actuación.		
COMENTARIOS:		

Fuente: Evaluación de satisfacción para el personal nuevo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Instalación, puesta en marcha, evaluación y ajuste.

En las etapas finales de la incorporación de drones, es crucial implementar una evaluación para medir el desempeño de los participantes a lo largo del tiempo.

Tabla 37: Evaluación de desempeño.

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO		
NOMBRE:	ÁREA:	FECHA:
A continuación, el supervisor a cargo evaluará las siguientes preguntas basadas en el desempeño del personal. Cada pregunta tiene una ponderación de 10 pts.		
PREGUNTAS		VALORACIÓN
¿El operador domina correctamente el equipo ante situaciones normales y emergencias?		
¿El operador demuestra un conocimiento técnico del equipo?		
¿El operador demuestra capacidad para seguir los procedimientos operativos y protocolos de seguridad establecidos?		
¿El operador demuestra habilidad para resolver inconvenientes técnicos u operacionales durante las operaciones?		
¿El operador demuestra comunicación con el equipo y otras áreas involucradas durante las operaciones aéreas?		
¿El operador demuestra dominio en el uso de software de operación y simuladores para optimizar las actividades operativas?		
¿El operador demuestra capacidad para responder de manera eficiente y rápida ante situaciones de emergencia?		
COMENTARIOS:		

Fuente: Formato de la evaluación de desempeño para personal nuevo.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Infraestructura para la operación de monitoreo con drones.

Es fundamental implementar planes de contingencia para evaluar el desempeño de los participantes, pero también es crucial planificar espacios adecuados que optimicen la eficiencia operativa y la comodidad del personal. Disponer de áreas específicas para operación, almacenamiento, carga y descanso permite gestionar eficientemente los recursos, reducir tiempos de inactividad, prevenir daños en los equipos y minimizar el riesgo de accidentes.

En el plan de mejora, se propone establecer estaciones de carga y espacios ergonómicos para los operarios, con el fin de reducir la fatiga y mejorar su rendimiento. Esta organización también facilita el control y la disponibilidad del equipamiento, asegurando su correcto funcionamiento. Además, se cumple con las normativas de seguridad y salud ocupacional, promoviendo un entorno de trabajo seguro y eficiente. Para ello, se han solicitado cotizaciones a dos empresas especializadas en el suministro y soporte de casetas y módulos de seguridad (ver tabla 38).

Tabla 38: Tabla comparativa de proveedores para la adquisición de casetas de seguridad.

ITEM	CARACTERÍSTICAS	
Nombre	Caseta de Vigilancia iGpro	Caseta KZ-2 (Gardenbox)
Dimensiones exteriores	150x150 cm	160x160 cm
Dimensiones interiores	1.35 x 1.35 x 2.15 (espacio útil)	1.35 x 1.35 x 2.15 m (espacio útil)
Material	Acero galvanizado y aluminio de alta calidad	Panel sandwich 50 mm EPS
Ventanas	Ventanas en todos los lados	6 ventanas corredizas (2 en cada cara)
Aislamiento	Térmico y acústico	Aislación térmica y acústica
Accesorios incluidos	Cerradura de bola de acero inoxidable, interior equipado con luz LED de 0,58m con una larga potencia de 8W. Además cuenta con 1 banco de trabajo, 1 tubo LED, 1 toma de interruptor.	Apoya brazos, baliza, enchufe, interruptor, tubo LED. Además cuenta con soporte de acero + piso de madera y terminación de aluminio.
Precio (\$)	\$890.000 (oferta)	\$1.049.900
Otros	Incluye instalación eléctrica y despacho.	No incluye instalación eléctrica, no incluye despacho.

Fuente: Información y características de empresas que proveen casetas de seguridad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tras analizar la tabla comparativa, se optó por adquirir cuatro casetas de seguridad a través de la empresa iGPro, dada su destacada relación calidad-precio y la inclusión de servicios de instalación eléctrica y despacho, aspectos que la diferencian de la competencia. Las características de las casetas cumplen además con los estándares requeridos para garantizar la seguridad y comodidad del personal.

A continuación, se detallan las dimensiones (*ver figura 15*).

Figura 15: Características caseta de vigilancia iGPro.



Fuente: iGpro (2025). Dimensiones caseta de vigilancia.

<https://miniurl.cl/bq7owp>

Por otra parte, para complementar la instalación de la caseta, se ha definido la incorporación de un kit de panel solar fotovoltaico de 50W 12V (*ver figura 16*). Este equipo es ideal para proveer energía eléctrica entregando 10A y 120W de potencia. El proveedor que se ha seleccionado para este servicio es Fersontec.

Figura 16: Kit de panel solar fotovoltaico.



Fuente: Fersontec (2025). Kit de panel solar fotovoltaico.

<https://miniurl.cl/nwzya3>



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En el siguiente apartado, es importante recordar que las instalaciones y áreas que se identificaron en un principio del informe (*ver figura 14*), corresponden a las zonas críticas situadas tanto en el interior como en el exterior de Anglo American Chile, División Las Tórtolas (sector la isla, mineroducto, tranque de relaves y barrio cívico). Estas, debido a su naturaleza y características, han sido, en múltiples ocasiones, objetivo de eventos relacionados a disturbios, robos, protestas, incendios, filtraciones y derrames.

En este sentido, es fundamental considerar la adquisición no solo de una caseta de seguridad, sino de cuatro, con el objetivo de ubicar cada una en las zonas de mayor riesgo. Esto permitirá mitigar los incidentes mediante la presencia de guardias de seguridad, al tiempo que se garantiza la supervisión efectiva por parte del personal encargado de operar los drones en cada área.

Tabla 39: Resumen de adquisiciones y costos de equipamiento de seguridad.

ITEM	CANTIDAD	PROVEEDOR	PRECIO
Caseta	4	iGPro	\$3.560.000
Panel Solar	4	Fersontec	\$471.960
TOTAL			\$4.031.960

Fuente: Proveedores y presupuesto interno.

Dado que la empresa iGPro ofrece el servicio de despacho e instalación eléctrica, es relevante señalar que este tiene un valor de \$450.000. Por ende el valor total de la compra incluyendo los paneles solares y los servicios mencionados anteriormente, asciende a \$4.481.960 tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 40: Resumen total de las adquisiciones y servicios prestados.

TOTAL	\$4.481.960
-------	--------------------

Fuente: Proveedores y presupuesto interno.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En conclusión, el rediseño del centro de control es crucial para garantizar una supervisión eficiente y en tiempo real de las grabaciones que realiza el dron. No obstante, no es necesario reestructurar ni modificar las oficinas de Somacor, ya que la infraestructura del centro de monitoreo CCTV, junto con los equipos y accesorios vinculados al dron, es completamente compatible con los sistemas operativos existentes, permitiendo su integración sin requerir ajustes y costos adicionales (*ver figura 17*).

Figura 17: Personal de Somacor en el centro de monitoreo CCTV.



Fuente: Somacor Chile (2025). Gestión de CCTV (Circuito cerrado de televisión).
<https://somacorchile.cl/nuestros-servicios/seguridad-privada/>



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.4.- Verificar (check).

Para evaluar el impacto positivo que ha tenido la incorporación de drones en el fortalecimiento de la seguridad y la optimización de la eficiencia operativa, se llevará a cabo un monitoreo mensual utilizando indicadores clave de desempeño (KPIs). Este proceso permitirá analizar la eficacia de los drones en la reducción de incidentes de robo, la disminución de interrupciones operativas y la mitigación de sanciones o multas derivadas de incumplimientos normativos. Los datos recopilados antes y después de la implementación serán comparados para medir el grado de alcance de los objetivos planteados, centrados en mejorar la seguridad, garantizar la continuidad de las operaciones y asegurar el cumplimiento regulatorio.

➤ Disminución del número de robos.

En el último año, se han registrado aproximadamente tres incidentes de robo en las inmediaciones de Anglo American Chile, División Las Tórtolas, lo que ha generado preocupación respecto a la seguridad y continuidad de las actividades. Ante este panorama, se proyecta que la incorporación de tecnología avanzada, específicamente drones de alta resolución y visión térmica, permitirá una disminución significativa en el número de robos.

Dado el nivel superior de innovación que ofrecen estos dispositivos en comparación con el equipamiento y las herramientas actuales, se ha definido una meta ambiciosa de reducir los incidentes en casi un 60%.

Este ambicioso desafío se planteó considerando el significativo impacto que ha tenido la incorporación de drones en la Región Metropolitana, particularmente en comunas como Vitacura, Recoleta, Providencia, La Reina, Ñuñoa, Lo Espejo, El Bosque y La Pintana.

Los resultados han sido tan favorables para la ciudadanía que, a través de diversas plataformas de comunicación y medios informativos, la Subsecretaría de Prevención del Delito, informó que la implementación del sistema de televigilancia aérea ha permitido la detención de más de 6.000 personas en un total de más de 52.000 horas de vuelo. Esto demuestra la alta eficiencia de estos equipos en el ámbito de la seguridad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Por otro lado, la Municipalidad de Lo Barnechea ha decidido sumarse al éxito obtenido por otras comunas con la implementación de equipos aéreos, no queriendo quedar al margen de los avances tecnológicos. En este sentido, destacan que la incorporación de estos dispositivos ha logrado reducir en un 50% los delitos dentro de la comuna. Se trata de la implementación de cinco drones térmicos, con un alcance de hasta un kilómetro, los cuales permiten realizar vigilancia nocturna en áreas con escasa iluminación.

Un aspecto relevante de la geografía de la comuna es que se encuentra entre las áreas con mayor cantidad de cerros en la capital, lo cual complica las labores operativas para rastrear y detener a los delincuentes. Esta característica geográfica guarda similitudes con el terreno de la División Las Tórtolas, ya que también está rodeada de cerros y quebradas, lo que dificulta el acceso y las operaciones de seguridad realizadas por la empresa contratista Somacor.

En conclusión, dado que la implementación de drones con alta resolución y visión térmica ha logrado reducir la incidencia delictiva en un 50%, resulta razonable plantear una meta ambiciosa que aspire a disminuir dichos eventos en un 60%, tal como se propuso inicialmente.

Esta iniciativa refleja la confianza en el alto potencial de impacto que estos drones pueden tener en la optimización de la seguridad operativa.

- Nombre del KPI: Tasa de incidentes de robo.
- Fórmula:

$$\text{Tasa de incidente de robo} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de robos reportados en el período}}{\text{Total de días operativos en el período}} \times 100$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Dado que los eventos ocurrieron a lo largo de un año, se deben considerar 365 días operativos en ese periodo.

$$\text{Tasa de incidente de robo} = \frac{3}{365} \times 100 = 0.82\%$$

- Métricas claves para monitorear:

Posteriormente, para calcular una reducción del 60% en la tasa de incidentes de robo en la que se obtuvo un (0.82%), se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Nueva tasa de incidente de robo} = \text{Tasa actual} \times \left(1 - \frac{\% \text{ de reducción}}{100}\right)$$

Al reemplazar los valores en la fórmula, se obtiene:

$$\text{Nueva tasa de incidente de robo} = 0,82 \% \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 0.328 \%$$

Una vez obtenida la nueva tasa de incidentes de robo, es necesario entender lo siguiente: Si en un año ocurren 3 robos (equivalentes al 0.82% de los incidentes), se debe calcular cuántos robos ocurrirían con una tasa del 0.328%.

$$\text{Tasa de incidente de robo} = \left(\frac{0.328}{100}\right) \times 365 = 1.2 \approx 1$$

Con la implementación del dron y la reducción del 60%, se estimaría que ocurrirían aproximadamente 1 robo por año. Esto representa una disminución significativa respecto a los 3 robos iniciales.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Disminución de multas y fracciones derivadas de incumplimientos normativos.

La compañía ha recibido tres sanciones en el último año por incumplir normativas ambientales y no implementar medidas adecuadas para la protección de la flora y fauna, reguladas por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Para reducir estas infracciones, se prevé que la implementación de drones sea clave. Además, se fijará como objetivo una meta ambiciosa de reducir las multas y sanciones en un 60%.

Nombre del KPI: Tasa de incidentes de multas y sanciones.

Fórmula:

$$\text{Tasa de incidentes de multas} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de multas reportadas en el período}}{\text{Total de días operativos en el período}} \times 100$$

Dado que los eventos ocurrieron a lo largo de un año, se deben considerar 365 días operativos en ese periodo.

$$\text{Tasa de incidente de multas} = \frac{3}{365} \times 100 = 0.82 \%$$

- Métricas claves para monitorear:

Para calcular una reducción del 60% en la tasa de incidente de multas en la que se obtuvo un (0.82%), se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Nueva tasa de incidente de multas} = \text{Tasa actual} \times \left(1 - \frac{\% \text{ de reducción}}{100}\right)$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Al reemplazar los valores en la fórmula, se obtiene:

$$\text{Nueva tasa de incidente de multas} = 0.82 \% \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 0.328 \%$$

Una vez obtenida la nueva tasa de incidentes de robo, es necesario entender lo siguiente: Si en un año Anglo American Chile ha sufrido 3 multas (equivalentes al 0.82% de los incidentes), se debe calcular cuántos robos ocurrirían con una tasa del 0.328%.

$$\text{Tasa de incidente de multas} = \left(\frac{0.328}{100}\right) \times 365 = 1.2 \approx 1$$

Los resultados obtenidos mediante los indicadores clave de desempeño (KPI) y la meta de reducción del 60% respaldan la viabilidad de implementar drones en las operaciones. Se proyecta que esta estrategia permitirá reducir las sanciones a aproximadamente una por año, lo cual es un avance significativo considerando la naturaleza inherente de las operaciones mineras, donde resulta imposible eliminar completamente los incidentes.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Detención de las operaciones.

Con respecto a las detenciones operacionales ha sufrido División Las Tórtolas, durante el último año se han registrado dos detenciones operativas, ambas evitables si se invierte en mejores tecnologías. Las interrupciones, de 24 horas y 1 hora, respectivamente, resultaron en una pérdida económica significativa de aproximadamente \$5.461.914.400. Estas detenciones han generado preocupación sobre la continuidad de las operaciones y su impacto en la productividad. En respuesta, se proyecta que la implementación de drones de alta resolución reducirá considerablemente las detenciones. Gracias a su avanzada tecnología, se establece una meta de reducir estas interrupciones en un 60%, confiando en que los drones optimizarán la continuidad operativa y mejorarán la eficiencia general.

Nombre del KPI: Tasa de detenciones operacionales

Fórmula:

$$Tasa\ de\ detenciones\ operacionales = \left(\frac{N^{\circ}\ de\ detenciones\ operacionales\ en\ el\ período}{Total\ de\ días\ operativos\ en\ el\ período} \right) \times 100$$

Dado que los eventos ocurrieron a lo largo de un año, se deben considerar 365 días operativos en ese periodo.

$$Tasa\ de\ detenciones\ operacionales = \left(\frac{2}{365} \right) \times 100 = 0.54\ \%$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Métricas claves para monitorear:

Para calcular una reducción del 60% en la tasa de detenciones operacionales en la que se obtuvo un (0.54%), se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Nueva tasa de detenciones operacionales} = \text{Tasa actual} \times \left(1 - \frac{\% \text{ de reducción}}{100}\right)$$

Al reemplazar los valores en la fórmula, se obtiene:

$$\text{Nueva tasa de detenciones operacionales} = 0.54 \% \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 0.216 \%$$

Una vez obtenida la nueva tasa de detenciones operacionales, es necesario entender lo siguiente: Si en un año Anglo American Chile ha sufrido 2 detenciones operacionales (equivalentes al 0,54% de los incidentes), se debe calcular cuántos robos ocurrirían con una tasa del 0.216%.

$$\text{Nueva tasa de detenciones operacionales} = \left(\frac{0.216}{100}\right) \times 365 = 0.79 \approx 1$$

La implementación de drones de alta resolución, respaldada por los indicadores clave de desempeño (KPIs) y una meta de reducción del 60%, podría reducir las detenciones operativas de dos a aproximadamente una por año. Aunque eliminar completamente estos incidentes es poco probable debido a la complejidad de las operaciones mineras, esta tecnología permitirá minimizar su frecuencia e impacto, optimizando la continuidad operativa y reduciendo las pérdidas económicas asociadas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.5.- Actuar (Act)

Tras la implementación de la mejora, se procederá a documentar detalladamente los nuevos procedimientos y a estandarizar el proceso, asegurando su consistencia y sostenibilidad a largo plazo. Este esfuerzo no solo busca consolidar las mejoras actuales, sino también sentar las bases para la replicabilidad del modelo en otras áreas operativas de la organización, o bien en otras divisiones de la compañía.

Además, se mantendrá un enfoque continuo en la identificación de oportunidades de mejora adicionales, priorizando la optimización de otros flujos de trabajo críticos.

Asimismo, se propone el uso de drones como una herramienta estratégica para la inspección de zonas industriales. Gracias a su avanzada tecnología, estos equipos podrán identificar ruidos anormales en maquinarias, prever posibles fallas operativas y detectar amenazas de incendio mediante su capacidad de capturar imágenes de alta resolución y datos en tiempo real. Estas capacidades no solo potenciarán la prevención de riesgos, sino que también contribuirán a un enfoque más proactivo en el mantenimiento preventivo, asegurando la continuidad y confiabilidad de los procesos.

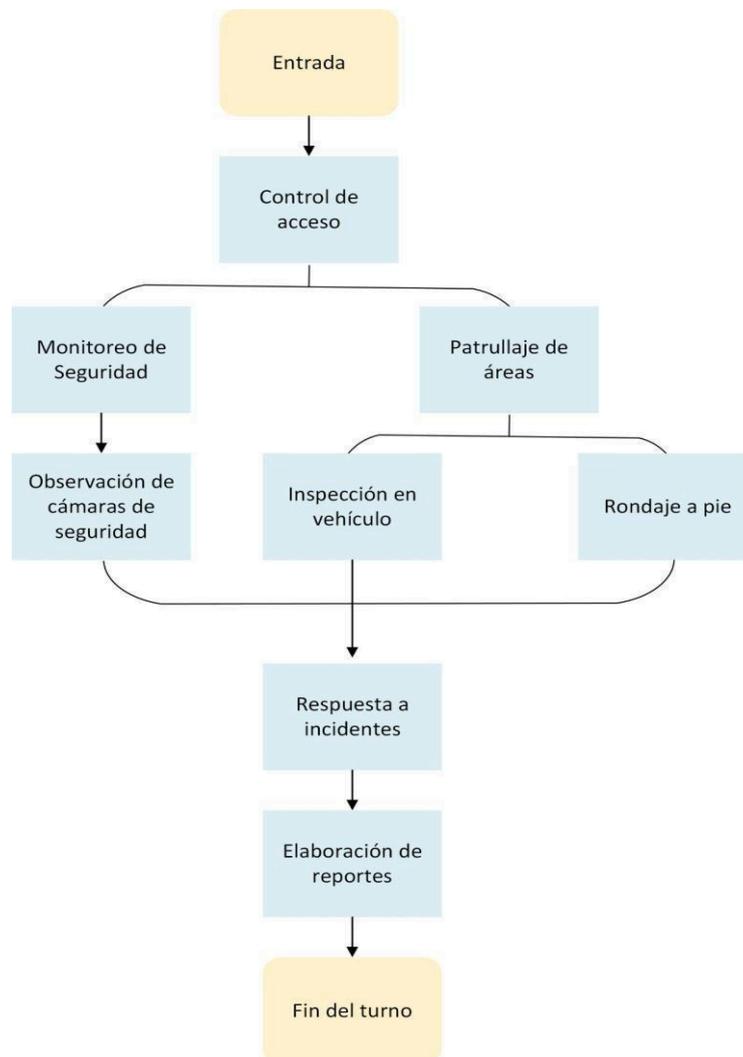


UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El siguiente diagrama (ver figura 18) de procesos representa el procedimiento actual llevado a cabo por el equipo de seguridad de la empresa Somacor en sus operaciones.

Figura 18: Procedimiento de seguridad antiguo empresa Somacor.



Fuente: Diagrama de flujo antiguo de las actividades y labores de la empresa Somacor.

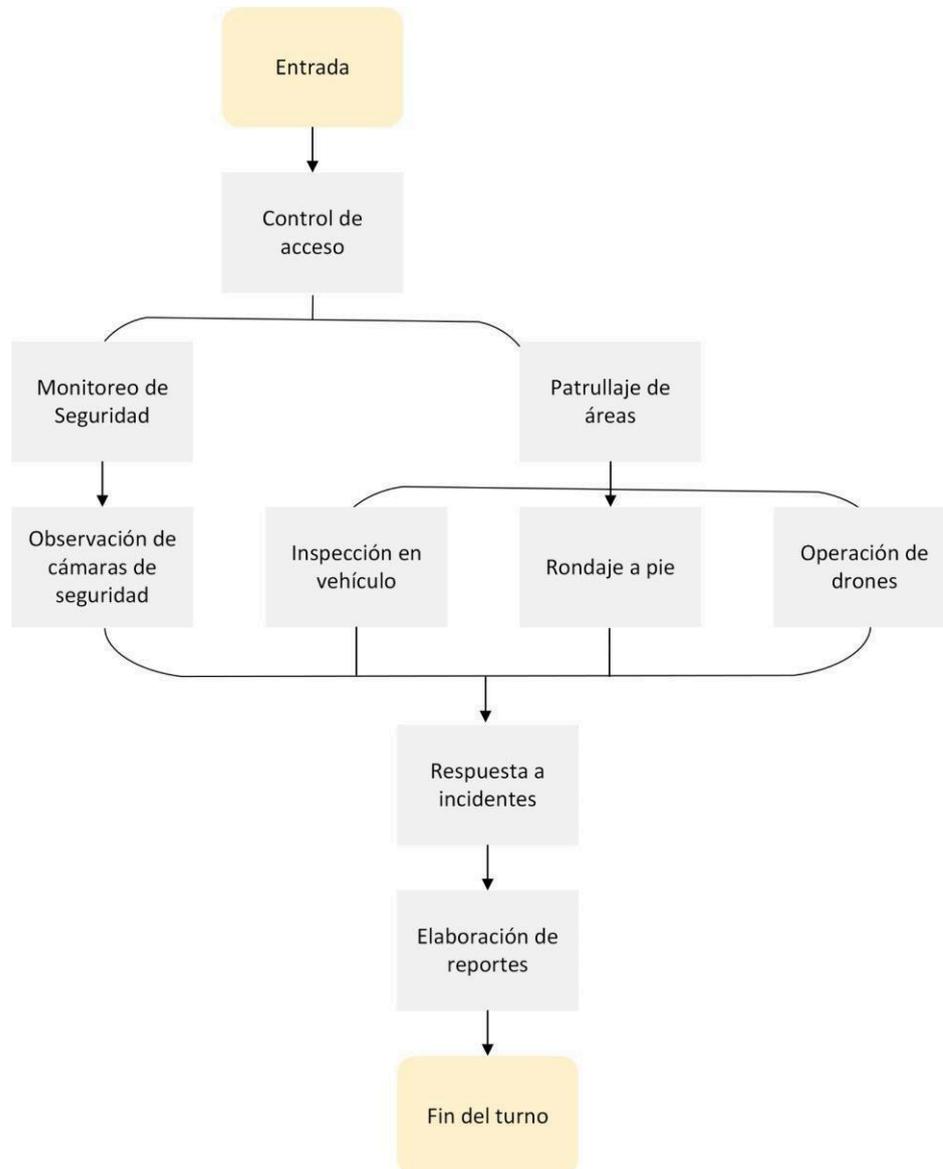
Si bien estas actividades cumplen con las necesidades básicas de vigilancia, dependen significativamente de la intervención humana, lo que limita la cobertura, eficiencia y capacidad de respuesta ante situaciones críticas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Figura 19: Procedimiento de seguridad actualizado empresa Somacor.



Fuente: Nuevo diagrama de flujo correspondiente a las actividades y labores de la empresa Somacor.

Ante los avances tecnológicos y las crecientes demandas de seguridad, se implementará el uso de drones de alta resolución para optimizar tareas clave, como la vigilancia de áreas extensas, la detección temprana de anomalías y la identificación de incidentes en tiempo real. Esta innovación reducirá los tiempos de patrullaje y mejorará la precisión en la recopilación de información, transformando significativamente el enfoque actual de las operaciones de seguridad.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

4.6.- Indicadores de control de gestión o comparativa de análisis de criticidad.

Las siguientes tablas presentan el análisis de criticidad considerando la implementación del proyecto de mejora, enfocándose en cómo la introducción de drones y tecnologías avanzadas contribuye a mitigar riesgos críticos. Estos avances no solo incrementan la seguridad, sino que también optimizan los procesos de inspección y monitoreo, reforzando significativamente la continuidad operacional de Anglo American, División Las Tórtolas.

Además, el análisis comparativo de la criticidad permite identificar de manera proactiva los nuevos riesgos emergentes que deberán gestionarse en el tiempo.

Problema general: Falta de seguridad y continuidad operacional de Anglo American, División Las Tórtolas.

➤ Antes de la solución:

Tabla 41: Análisis de criticidad actual.

Problema	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad
1.- Regulación y supervisión ambiental deficiente.	3	5	15
2.- Falta de monitoreo adecuado y carencia en los sistemas de detección temprana.	3	5	15
3.- Robo de materiales, equipos y activos fijos.	2	3	6

Fuente: Análisis de criticidad de los problemas actuales en Anglo American Chile.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

➤ Después de la solución:

Tabla 42: Análisis de criticidad después de la solución.

Problema	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad	Variación de criticidad
1.- Regulación y supervisión ambiental deficiente.	1	2	2	-86,70%

Problema	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad	Variación de criticidad
2.- Falta de monitoreo adecuado y carencia en los sistemas de detección temprana.	1	2	2	-86,70%

Problema	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad	Variación de criticidad
3.- Robo de materiales, equipos y activos fijos.	1	1	1	-88,80%

Fuente: Comparativa de análisis de criticidad.

En conclusión, la implementación de soluciones tecnológicas, como el uso de drones, ha demostrado ser altamente efectiva en la mejora de diversos aspectos críticos dentro de las operaciones. En particular, la regulación y supervisión ambiental deficiente, así como la carencia de sistemas de detección temprana, experimentaron una reducción del 86,70% en su criticidad.

De manera similar, el robo de materiales, equipos y activos fijos mostró una disminución del 88,80% en la criticidad. Estos resultados evidencian una significativa mejora en la gestión de riesgos y en la eficiencia operativa, reflejando el impacto positivo de las mejoras implementadas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS COSTOS BENEFICIO

En este capítulo se presentará un análisis detallado de los costos asociados a la propuesta de implementar tecnología avanzada orientada a mejorar la seguridad y garantizar la continuidad operacional en Minera Anglo American, División Las Tórtolas. El análisis abarcará los distintos aspectos económicos vinculados directamente con la solución planteada en los capítulos previos, destacando además los beneficios esperados de su implementación.

5.1.- Análisis de Costos de la Propuesta.

Para llevar a cabo el análisis de los costos asociados a la propuesta, a continuación se desglosarán diversos conceptos, incluyendo la adquisición de los drones, su mantenimiento preventivo, así como los gastos relacionados con los operadores que participarán en el proyecto. Este último aspecto implica una serie de costos adicionales, tales como la capacitación, obtención de licencias y otros gastos asociados.

5.1.1.- Costos de Importación de Piezas.

En el capítulo 4 se llevó a cabo una comparación entre varios modelos de drones, seleccionándose tres unidades de alta gama, específicamente diseñadas para el sector minero/industrial, que ofrecen diversas ventajas en comparación con otras opciones disponibles en el mercado.

Tras un análisis exhaustivo, se determinó que la opción más adecuada es el dron Matrice 350 RTK, ya que este equipo es fundamental para optimizar la eficiencia en las tareas de inspección y monitoreo.

Debido a la extensión del terreno, se considera necesario contar con tres drones para cubrir toda el área mediante distintos turnos de vuelo. Así, el costo inicial de la implementación de estos equipos tecnológicos se establece en:

Tabla 43: Adquisición de drones.

Dron	Precio Unitario	Cantidad	Monto total
Matrice 350 RTK	\$10.696.000	3	\$32.088.000

Fuente: Valor de adquisición de tres drones.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

5.1.2.- Costos de Mantenición.

El mantenimiento preventivo es crucial para asegurar el rendimiento óptimo del dron Matrice 350 RTK, ya que contribuye a reducir las probabilidades de que ocurran tanto eventos delictivos como interrupciones en las operaciones. Según las recomendaciones del fabricante, se debe realizar un mantenimiento preventivo y un reemplazo de batería cada 18 meses.

Tabla 44: Costo de mantención preventiva.

MANTENCIÓN PREVENTIVA MATRICE 350 RTK			
Item	Costo	Cantidad	Total
Mano de obra	\$320.000	3	\$960.000
Cambio de batería	\$999.900	3	\$2.999.700
			\$3.959.700

Fuente: Valores de las mantenciones del equipo Matrice 350 RTK.

La tabla anterior detalla los costos asociados a las mantenciones programadas que deberán realizarse en los tres drones adquiridos para el proyecto. Los valores incluyen, además, el costo de las inspecciones, el reemplazo de piezas desgastadas o defectuosas, y las revisiones del sistema operativo.

5.1.3.- Costos de Inscripción.

Dentro de la normativa de utilización de drones, la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil), exige la inscripción de dominio en el Registro Nacional de Aeronaves del dron conforme al ART. 38° "DERECHOS DE INSCRIPCIÓN, CERTIFICACIÓN Y OTRAS ACTUACIONES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL". Dicho costo depende de las especificaciones de peso del equipo, por ende el dron Matrice 350 RTK debe pagar por concepto de inscripción:



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 45: Costo de inscripción dron.

INSCRIPCIÓN MATRICE 350 RTK			
Item	Costo	Cantidad	Total
Inscripción equipo	\$89.504	3	\$268.512

Fuente: Valor de la inscripción de tres drones en la DGAC.

5.1.4.- Costos de Capacitación y Remuneración.

Para llevar a cabo el proyecto, es indispensable contar con operarios que posean la licencia correspondiente para el manejo de drones, otorgada por la DGAC. No obstante, es fundamental que estos pilotos tengan un conocimiento profundo del entorno minero, ya que se trata de un ámbito altamente especializado debido a sus condiciones geográficas y características únicas.

Por esta razón, en el capítulo “4.3 - Hacer (Do) - Capacitación del personal”, se analizan diversas estrategias y alternativas, incluyendo la posibilidad de contratar personal externo con experiencia en la operación de drones o capacitar a empleados propios para desempeñar este rol. Tras evaluar estas opciones, y considerando la necesidad de contar con personal que comprenda plenamente las operaciones mineras y, al mismo tiempo, abordar eficazmente la resistencia al cambio, se ha decidido capacitar a un grupo clave de empleados de la empresa Somacor. Este enfoque tiene como objetivo que ellos reciban una formación especializada en el manejo de drones, contribuyendo de manera integral al éxito del proyecto de mejora.

A continuación, se detallan los costos asociados:

Operador de seguridad contratado por SOMACOR (empresa contratista que presta servicios de seguridad en la Minera Anglo American Chile) capacitado por medio de un curso profesional de manejo de dron en minería aprobado por la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile), quien luego de la realización del curso, da una prueba obteniendo su licencia profesional la que tiene una vigencia de 36 meses y su respectivo diploma.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tabla 43: Costo de capacitación dron.

CAPACITACIÓN DRONE EXPLORA					
ITEM	COSTO CURSO	COSTO LICENCIA	COSTO DIPLOMA	CANTIDAD	TOTAL
Capacitación	\$100.000	\$23.000	\$5.637	16	\$2.058.192

Fuente: Valores de la capacitación en DRONE EXPLORA.

Además de la información presentada en la tabla anterior, es importante considerar que el personal de la empresa Somacor recibe un salario promedio de \$600.000 líquidos. No obstante, tras completar la capacitación como piloto novato de drones, este sueldo puede incrementarse a \$800.000. (Datos obtenidos de diversos portales de empleo como chiletrabajos, LinkedIn, trabajando.com, entre otros).

Tabla 44: Sueldo piloto dron.

Nivel de Experiencia	Sueldo Promedio
Profesional Novato	\$800.000

Fuente: Chiletrabajos.

La selección del personal a capacitar se basará en aquellos colaboradores que hayan demostrado un desempeño sobresaliente en sus evaluaciones. Este enfoque permite a la empresa brindar herramientas para el crecimiento profesional de sus empleados, fomentando un mayor sentido de pertenencia. A su vez, esto refuerza el compromiso y la gratitud de los trabajadores hacia la organización, al reconocer y potenciar el talento de quienes se destacan.

Dado que las operaciones mineras son continuas y funcionan bajo un régimen 24/7, es imprescindible establecer turnos que permitan la operación de los drones tanto de día como de noche. Dicho esto, es importante destacar que el servicio de seguridad proporcionado por la empresa contratista Somacor opera bajo un sistema de turnos 7x7 (día y noche), con jornadas de 12 horas continuas. Dada la naturaleza ininterrumpida de las operaciones mineras, se ha establecido que para implementar la operación de drones dentro de este régimen horario será necesario capacitar a un total de 16 pilotos.

La siguiente tabla resume lo expuesto previamente y resalta una información clave que se implementará como medida estratégica. Se sabe que se adquirieron tres drones, lo que requiere la contratación de tres operadores, sin embargo, se considera necesario capacitar a



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Otro de los puntos que se incorporará en el proyecto, es la adquisición de infraestructura para el resguardo de los operadores de drones. Para ello están consideradas 4 casetas dado que se distribuirán en los diferentes puntos críticos definidos en la minera.

La incorporación de estas casetas se realiza solo una vez y el costo asociado es de:

Tabla 47: Costos de infraestructura.

ITEM	CANTIDAD	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Caseta	4	iGPro	\$890.000	\$3.560.000
Panel Solar	4	Fersontec	\$117.990	\$471.960
Despacho	1	-	\$450.000	\$450.000
TOTAL				\$4.481.960

Fuente: Caseta de Vigilancia iGpro 160x160x230CM

https://www.igpro.cl/product/caseta-de-vigilancia-150x150-cm/?gad_source=1&qclid=Cj0KCCQiAq-u9BhCjARIsANLj-s10t2fz1T2bPXymmLi_J6xBDoDwikoXEokSIUO9wPKalwnTfZhQmMaAqUKEALw_wcB

5.1.5.- Resumen de los costos totales del proyecto.

El costo total estimado para la implementación de drones Matrice 350 RTK para apoyar con la labor de seguridad en la Minera Anglo American, División Las Tórtolas es el siguiente:

Tabla 48: Resumen de los costos totales del proyecto.

Item	Especificación	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Equipo Matrice 350 RTK	Se renueva cada 5 años.	3	\$10.696.000	\$32.088.000
Mantenimiento preventivo	Se realiza luego de 18 meses.	3	\$1.319.900	\$3.959.700
Inscripción equipo	Se realiza solo 1 vez.	3	\$89.504	\$268.512
Capacitación	Se realiza solo 1 vez.	16	\$100.000	\$1.600.000
Licencia	Se renueva cada 36 meses.	16	\$23.000	\$368.000
Certificado	Se renueva cada 36 meses.	16	\$5.637	\$90.192
Aumento sueldo personal	Considera 12 meses de trabajo.	16	\$247.036	\$47.430.912
Infraestructura (casetas)	Se compra solo 1 vez.	4	\$890.000	\$3.560.000
Panel eléctrico	Se compra solo 1 vez.	4	\$117.990	\$471.960
Despacho caseta	Se paga solo 1 vez.	1	\$450.000	\$450.000
TOTAL				\$90.287.276



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Considerando una puesta en marcha contemplada por 12 meses, los costos asociados al proyecto de mejora se traducen en \$90.287.276, considerando todos los detalles ya sean mínimos para poder llevar a cabo la operación de forma regularizada por las entidades nacionales encargadas de la aeronáutica nacional (DGAC), contemplando diversas alternativas ya sea de equipo, centros de capacitación, personal a cargo, lo cual nos permitió tomar decisiones basadas en hechos reales, donde se estudió características y costos buscando el punto de equilibrio entre ambos ítems.

5.1.6.- Análisis de beneficios.

La implementación de drones Matrice 350 RTK en el ámbito de la seguridad en la Minera Anglo American, promete generar una serie de beneficios fundamentales para el correcto funcionamiento en las dependencias, ligados a la seguridad, cuidado ambiental y continuidad operacional.

El beneficio más grande que se genera con la implementación de esta tecnología es la disminución de incidentes en las dependencias, puesto que el promedio de desmanes en la actualidad es de 3 eventos por año.

A continuación podemos ver que la tasa de incidente de robo actualmente es de un 0,82% (considerando un año):

$$\text{Tasa de incidente de robo} = \frac{3}{365} \times 100 = 0.82\%$$

Mientras que al aplicar la solución evaluada en el proyecto, esta tasa de incidente se ve disminuida siendo:

$$\text{Nueva tasa de incidente de robo} = 0,82\% \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 0.328\%$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Lo que finalmente se traduce en que al año disminuirá de 3 incidentes a solo 1:

$$\text{Tasa de incidente de robo} = \left(\frac{0.328}{100}\right) \times 365 = 1.2 \approx 1$$

Económicamente hablando, el tener 3 incidentes por año, implica pérdidas de aproximadamente \$85.204.000, y al poner en marcha la implementación de la solución, disminuiría a 1 evento por año, provocando un ahorro de \$56.802.667 tal como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 49: Ahorro implementando la solución.

Pérdidas actuales	Cantidad de incidentes	Pérdidas post solución	Cantidad de incidentes post solución	Ahorro
\$85.204.000	3	\$28.401.333	1	\$56.802.667

Fuente: Tasa de incidente de robo.

Por otro lado, entre los beneficios adicionales que ofrece la solución se encuentra la reducción de multas medioambientales. En el último año, se registraron tres sanciones debido al incumplimiento de las normativas de protección de la flora y fauna. A continuación, se presentan los indicadores clave de desempeño (KPI), los cuales evidencian una disminución significativa de estas infracciones tras la implementación de drones, con el objetivo de alcanzar una reducción del 60%.

$$\text{Tasa de incidente de multas} = \frac{3}{365} \times 100 = 0.82\%$$

Luego de aplicar la fórmula de tasa de incidentes y obtener un 82%, se realiza la nueva tasa de incidentes en multas:

$$\text{Nueva tasa de incidente de multas} = 0,82 \% \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 0.328 \%$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Se concluye que la aplicación de sanciones se reduciría a 1 por año.

$$\text{Tasa de incidente de multas} = \left(\frac{0.328}{100}\right) \times 365 = 1.2 \approx 1$$

En término de dinero, actualmente hay una pérdida de \$3.993.660.000, sin embargo al aplicar la solución propuesta en este proyecto, se generará un ahorro de \$2.662.440.000 puesto que de 3 sanciones disminuiría a 1 multa en el año.

Tabla 50: Ahorro implementando la solución

Pérdidas actuales	Cantidad de incidentes	Pérdidas post solución	Cantidad de incidentes post solución	Ahorro
\$8.164.080.000	3	\$2.721.360.000	1	\$5.442.720.000

Fuente: Tasa de incidente de multas.

En lo que respecta a la detención de las operaciones, en el último año, ha ocurrido en 2 ocasiones, y al igual que las problemáticas anteriores se puede identificar la disminución de eventos a través de los siguientes KPI's:

$$\text{Tasa de detenciones operacionales} = \frac{2}{365} \times 100 = 0.54\%$$

Una vez aplicada la fórmula, obtenemos un 0,54%, y reemplazando ese porcentaje en la nueva tasa de detenciones operacionales queda:

$$\text{Nueva tasa de detenciones operacionales} = 0,54 \% \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 0.216 \%$$



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Dando como resultado final que de 2 detenciones operacionales, solo habrá 1 anualmente luego de incorporar la solución:

$$\text{Tasa de detenciones operacionales} = \left(\frac{0,216}{100}\right) \times 365 = 0,79 \approx 1$$

En cuanto a la reducción de costos, se observa que:

Tabla 51: Ahorro implementando la solución.

Pérdidas actuales	Cantidad de incidentes	Pérdidas post solución	Cantidad de incidentes post solución	Ahorro
\$23.175.750	2	\$11.587.875	1	\$11.587.875

Fuente: Nueva tasa de detenciones operacionales.

Por lo tanto al pasar de 2 detenciones en la operación a solo 1 anualmente existirá un ahorro de \$11.587.875.-



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

A continuación se presenta un resumen de los beneficios económicos que trae la incorporación de drones en las actividades de monitoreo y seguridad en la minera:

Tabla 52: Resumen de los beneficios económicos de la solución.

Problemas	Pérdidas actuales	Ahorro post solución
- Falta de monitoreo adecuado y carencia en los sistemas de detección temprana.	\$85.204.000	\$56.802.667
- Regulación y supervisión ambiental deficiente.	\$8.164.080.000	\$5.442.720.000
- Robo de materiales, equipos y activos fijos. Destrucción de oficinas pertenecientes tanto a contratistas como a Anglo American Chile.	\$23.175.750	\$11.587.875
	\$8.272.459.750	\$5.511.110.542

Fuente: Resumen de los beneficios económicos.

A través de la solución planteada a lo largo de este informe, económicamente podemos observar que se genera un ahorro en incidentes de \$5.511.110.542.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

5.1.7.- Costo - Beneficio

La fórmula de costo-beneficio es una herramienta utilizada para evaluar la viabilidad del proyecto, permitiendo tomar la decisión más adecuada sobre su implementación. Para ello, se comparan los beneficios esperados con los costos asociados, facilitando un análisis fundamentado.

$$\text{Fórmula de Costo - Beneficio} = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}}$$

Al sustituir los costos del proyecto, el resultado obtenido es:

$$\text{Fórmula de Costo - Beneficio} = \frac{5.511.110.542}{90.287.276} = 61.03$$

El resultado obtenido es 61.03, lo que, de acuerdo con el índice de costo-beneficio (ICB), indica una alta rentabilidad del proyecto. Un valor superior a 1 ($ICB > 1$) demuestra que los beneficios superan significativamente a los costos. Dado que este resultado es considerablemente mayor a 1, se confirma la viabilidad del proyecto y se respalda su implementación, evidenciando una relación altamente favorable entre beneficios y costos.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CONCLUSIÓN

En la actualidad, la empresa Anglo American es líder en la industria minera, teniendo como objetivo desarrollar y realizar operaciones mineras duraderas, rentables, social y ambientalmente responsable, sin embargo hoy en día se enfrentan a un gran desafío para llegar a cumplir dichos objetivos, puesto que existe la necesidad urgente de mejorar la seguridad y la eficiencia operativa, dado que se han visto envueltos en una serie de eventos que no solo perturban la seguridad y bienestar de sus trabajadores, sino que también provocan gran daño a las instalaciones y en consecuencia a la operación, lo cual ha provocado grandes pérdidas a nivel económico y estructural, es por ello que para mitigar dicha problemática, se propone la implementación de drones como una solución innovadora que optimizará las rondas de inspección, permitiendo una cobertura geográfica más precisa y eficiente, reduciendo la dependencia de desplazamiento ya sea a pie o en vehículo. Con ello se busca tener mayor amplitud visual y por lo tanto poder reaccionar más rápidamente frente a disturbios o eventos provocados en las dependencias.

Para identificar el éxito del proyecto, se han identificado varios desafíos a superar, es por ello que se realizó un estudio exhaustivo, reuniendo información confiable en entidades que formarán parte del proceso, entre ellos la DGAC (Dirección General de Aviación Civil), encargados de la certificación tanto para pilotos como para la inscripción de los drones.

Por otra parte se analizaron diversas posibilidades de equipos, haciendo la comparativa entre características versus precios, y se seleccionó un dron que cumple a cabalidad el objetivo, siendo un elemento clave para el proyecto de mejora, a su vez se determinó que el personal involucrado en el proyecto serán empleados destacados de la empresa permitiéndoles ser capacitados para manejo de dron en minería, dando paso a su crecimiento profesional, entregando herramientas claves para su desarrollo, y por otra parte se busca que el colaborador tenga sentido de pertenencia en la empresa, teniendo claridad que esta herramienta traerá consigo grandes beneficios y por sobre todo seguridad laboral.

En resumen, el proyecto nos da conocer los diversos aspectos que se deben evaluar a la hora de generar una mejora, puesto que hay que saber conjugar características cualitativas y cuantitativas, y en este caso en particular, se demuestra con hechos los grandes beneficios que trae la incorporación de los drones en la operación de seguridad, ya que los porcentajes de criticidad disminuyen enormemente con respecto al período previo a la incorporación de



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

estos, y en términos monetarios, queda demostrado a través del análisis costo - beneficio que el proyecto es técnicamente viable y económicamente rentable para su desarrollo.

Finalmente el proyecto va en concordancia con la misión, visión y objetivos de la empresa, quienes llevan abanderado el slogan “En Anglo American estamos reinventando la minería para mejorar la vida de las personas”, y la incorporación de herramientas que permitan resguardar la seguridad es un gran hito, dado que esta última es uno de los derechos que tenemos como personas.



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Drones con IA para la prevención de incendios:

El pasado 22 de diciembre de 2023, ocurrió un incendio en el Cerro San Cristóbal, afectando la flora y fauna del lugar, además de poner en riesgo la vida humana; es por ello, que dentro de las soluciones que se han planteado, se encuentra el uso de drones con inteligencia artificial que pueden detectar a cualquier hora y bajo diversas condiciones climáticas la iniciación de incendios forestales causados por vandalismo.

Portal Agro Chile / Grupo Prensa Digital. (2023, diciembre 23). Drones con IA para la Prevención de Incendios. Una solución para cuidar nuestro Cerro San Cristóbal. Portal Agro Chile; PortalAgroChile. [Drones con IA para la Prevención de Incendios. Una solución para cuidar nuestro Cerro San Cristóbal - Portal Agro Chile](#)

Sistema de Vigilancia Móvil con drones en Santiago de Chile:

Existen regiones donde debido al vandalismo y delincuencia, se implementó un sistema de vigilancia con drones equipados con cámaras de alta definición los que transmiten en vivo lo captado, además estos están conectados a la sala de control de la Intendencia, de Carabineros, de la PDI y de las Municipalidades

Urbanas, O. (2019, marzo 20). Sistema de Vigilancia Móvil con drones en Santiago de Chile. RPAS Drones; RPAS-DRONES. [Sistema de Vigilancia Móvil con drones en Santiago de Chile](#)

Chile aumentará el uso de drones para tareas de seguridad ciudadana:

Actualmente dado el éxito en el uso de drones con fines de seguridad, es que en Chile se implementaron 42 drones para combatir el narcotráfico, y la delincuencia, todo en coordinación del Ministerio Público con los diferentes municipios.

Aránguiz, Ó. E. (2021, febrero 3). Chile aumentará el uso de drones para tareas de seguridad ciudadana. Revista Defensa InfoDefensa.

<https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3125792/chile-aumentara-drones-tareas-seguridad-ciudadana>



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Detienen a cinco sujetos por robo en dependencias de minera Anglo American:

Este es uno de los acontecimientos de robo que se reportó en prensa, y que involucra directamente a Anglo American, dando como antecedente lo vulnerables que son ciertos puntos de las dependencias.

Alegria, D. (2024, marzo 12). Colina: Detienen a cinco sujetos por robo en dependencias de minera Anglo American. Chicureo Hoy.

<https://www.chicureohoy.cl/actualidad/colina-detienen-a-cinco-sujetos-por-robo-en-dependencias-de-minera-anglo-american/>

Cómo operar un dron en Chile:

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) creó un espacio destinado a quienes deseen especializarse en el monitoreo de un dron a nivel profesional, otorgando una licencia que responde a los marcos legales de funcionamiento y operación.

¿CÓMO OPERAR UN DRON EN CHILE? (s/f). Gob.cl. Recuperado el 13 de julio de 2024, de [¿CÓMO OPERAR UN DRON EN CHILE? – DGAC | Dirección General de Aeronáutica Civil](#)