

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Trabajo de Investigación

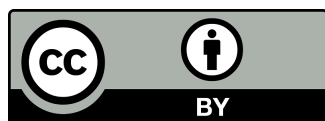
**Aplicación de un dron para mejorar los procesos
productivos en Minera Chinalco Perú S. A.,
Morococha 2020**

Ronald Freddy Matías Ayma

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR:
ING. JOEL CONTRERAS NUÑEZ

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Joel Contreras Núñez, mi maestro y asesor de tesis; quien con bastante dedicación asesoró este producto, apoyando nuestros sueños, incentivando mi superación profesional.

A mi alma mater Universidad Continental, Facultad de Ingeniería de Minas por ofrecerme sabios conocimientos, que aportaron en mi formación hasta la culminación de mi meta profesional como Ingeniero de Minas.

Al proyecto Toromocho, por el apoyo y oportunidad de laborar en esta unidad minera, sin ella no sería posible esta tesis.

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por brindarme salud, en estos
tiempos tan difíciles, otorgándome, además
sabiduría mostrándome la luz
en cada paso.

A mis adorados padres por su modelo de
perseverancia y mostrarme con sus
acciones lo importante del trabajo y dedicación
en cada detalle.

A la plana docente de la Facultad de Ingeniería
de Minas por impartirme conocimientos de esta
preciosa carrera.

RESÚMEN

La presente tesis titulada “Aplicación de un Dron para mejorar los Procesos Productivos en Minera Chinalco Perú S.A., Morococha 2020” buscó reducir los costos y mejorar los procesos productivos con la implementación de un modelo tecnológico (Dron), esta necesidad surge a raíz de los elevados costos en el proceso de mantenimiento preventivo, tiempo de inspección, deficiente calidad de la información, etc., ya que no estaban previstos en el plan de Operaciones.

Se estableció como objetivo principal Implementar un modelo tecnológico (Dron) para mejorar los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020.

El tipo de investigación es básica aplicada, de diseño no experimental, del tipo descriptivo - comparativo y de enfoque cualitativo. La muestra estuvo conformada por los procesos productivos en Minera Chinalco Perú S.A., Morococha 2020.

Empleamos la técnica de recolección de datos denominada observación y el instrumento una guía de observación, donde anotamos e identificamos las diversas aplicaciones, que podemos darle en los procesos productivos, así como en las diversas áreas del trabajo minero.

ABSTRACT

The present thesis entitled "Application of a drone to improve production processes in Minera Chinalco Peru SA, Morococha 2020" sought to reduce costs and improve production processes with the implementation of a technological model (drone), this need arises as a result of the High costs in the preventive maintenance process, inspection time, poor quality of information, etc., since they were not foreseen in the Operations plan.

The main objective was to implement a technological model (drone) to improve production processes in the open pit Minera Chinalco SA, Morococha, Peru in 2020.

The type of research is basic applied, non-experimental design, descriptive-comparative and qualitative approach. The sample consisted of the production processes in Minera Chinalco Perú S.A., Morococha 2020.

We use the data collection technique called observation and the instrument an observation guide, where we write down and identify the various applications that we can give it in the production processes, as well as in the various areas of mining work.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 01	Procesos Productivos en una mina de cobre	25
FIGURA 02	Modelo de una exploración básica	26
FIGURA 03	Modelo de una exploración intermedia	26
FIGURA 04	Modelo de una exploración avanzada	27
FIGURA 05	La extracción emplea maquinaria de gran volumen	28
FIGURA 06	Descripción grafica de carga de explosivos	28
FIGURA 07	Descripción grafica de la voladura	29
FIGURA 08	Descripción grafica del carguío de material	30
FIGURA 09	Descripción grafica del transporte de material	30
FIGURA 10	Representación del proceso chancado	31
FIGURA 11	Modelo de molino tipo bolas	32
FIGURA 12	Modelo de molino tipo sag.	33
FIGURA 13	Representación del proceso de flotación	34
FIGURA 14	Modelo de un dispositivo Dron	35
FIGURA 15	Modelo de Dron hexacóptero de 06 motores	36
FIGURA 16	Dron tipo helicóptero	37
FIGURA 17	Dron tipo ala fija	37
FIGURA 18	Parte de un Dron el marco o chasis del dispositivo	39
FIGURA 19	Hélice de un Dron	40
FIGURA 20	Controlador de vuelo o movimiento del Dron	40
FIGURA 21	Radio receptor o control remoto	41
FIGURA 22	Fuente de energía o batería	42
FIGURA 23	GPS y brújula	42
FIGURA 24	Estabilizador para captura de fotos	43

FIGURA 25 Cámara y sensor	44
FIGURA 26 Sistema de transmisión FPV	45
FIGURA 27 Emisora o equipo de tierra	45
FIGURA 28 Imagen de Satélite ASTER. En la región se observa contenido de cuarzo que aparece de color rojo, rocas carbonatadas de aspecto verde, rocas volcánicas con contenido de magnesio y hierro de tono morado.	53
FIGURA 29 Mapa magnetométrico en un yacimiento metálico con presencia de Fe y Cu.	53
FIGURA 30 Gestión de equipos y maquinarias, monitoreo constante de la operación de transporte y acarreo.	54
FIGURA 31 Cálculo y control de pilas y minerales extraídos, a través de la visión geoespacial.	55
FIGURA 32 Inspección técnica con imágenes térmicas a través de un dron de una planta de tratamiento de mineral.	56
FIGURA 33 Inspección técnica con cámara termográfica, mediante dron de una torre de alta tensión.	56
FIGURA 34 Inspección del frente de explotación, detección automatizada de anomalías mediante dron.	57
FIGURA 35 Inspección de las instalaciones de almacenamiento de residuos de mineral a través de drones.	58
FIGURA 36 Inspección de fajas transportadoras por medio de drones con calidad de audio.	58
FIGURA 37 Cuadro comparativo de los Procesos Productivos con y sin unos de Drones.	63

INDICE

CARÁTULA	1
ASESOR:	2
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
RESÚMEN	5
ABSTRACT	6
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE	9
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema	13
1.1.1. Planteamiento del Problema	13
1.1.2. Formulación del Problema	16
1.1.2.1. Problema General	16
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo General	16
1.3. Justificación e Importancia	16
1.3.1. Justificación	16
1.3.1.1. Justificación Práctica	16
1.3.1.2. Justificación Metodológica	17
1.3.2. Importancia	17
1.4. Hipótesis y Descripción de Variables	17
1.4.1. Hipótesis	17
1.4.1.1. Hipótesis General	17
1.4.2. Descripción de Variables	17
1.4.2.1. Variable Independiente	18
1.4.2.2. Variable Dependiente	18

CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes del problema	19
2.1.1. Antecedentes Internacionales	19
2.1.2. Antecedentes Nacionales	19
2.1.3. Antecedentes Regionales – Locales	22
2.2. Bases teóricas	24
2.2.1. Proceso productivo	24
2.2.1.1. Exploración	25
2.2.1.2. Extracción	27
2.2.1.3. Chancado	31
2.2.1.4. Molienda	32
2.2.1.5. Flotación	33
2.2.2. Modelo Tecnológico	34
2.2.2.1. Dron	34
2.2.2.2. Tipos de dron	35
2.2.2.3. Partes de un dron	38
2.3. Definición de términos básicos	46
CAPÍTULO III	49
METODOLOGÍA	49
3.1. Métodos y alcance de la investigación	49
3.1.1. Método de investigación	49
3.2. Diseño de la investigación	49
3.3. Población y muestra	50
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos	50
CAPÍTULO IV	51
RESULTADOS Y DISCUSION	51
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)	51
4.1.1. Prospección	51
4.1.2. Control de operaciones transporte	53

4.1.3. Cálculo de Volúmenes	54
4.1.4. Inspección técnica de chancadora y planta de tratamiento	55
4.1.5. Control Geotécnico y Geodésico	56
4.1.6. Control de relaves	57
4.1.7. Mantenimiento de fajas transportadoras	58
4.2. Prueba de hipótesis (si es necesario)	58
4.2.1. Hipótesis General	58
4.3. Discusión de Resultados	60
4.3.1. Procesos productivos sin drones	61
4.3.2. Procesos productivos con drones	61
4.3.3. Adopción de las decisiones	62
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	65
Referencias Bibliográficas.....	66

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los drones se encuentran en constante apogeo. Existen diversas empresas que ofertan sus servicios aéreos, principalmente en el campo audiovisual, pero surge la interrogante ¿realmente conocemos todas las aplicaciones y utilidades que podemos darle? Y centrándonos más en el propósito del trabajo de investigación ¿sabemos a ciencia cierta el potencial que podemos sacarle en el terreno de la minería?

El siguiente trabajo se realizó primero con la intención de analizar los tipos de drones, partes, características y segundo mediante un análisis poder conocer las diferentes utilidades en campo de la minería.

Durante el desarrollo del presente proyecto, descubrimos que un dron no solo sirve para obtener imágenes audiovisuales mediante la fotogrametría, sino también para obtener coordenadas x, y, z acompañado de diversos sensores multiespectrales, para realizar cubicación, topografía, prevención de riesgos laborales, control medioambiental, avance de restauración de la explotación, vigilancia, servicios de emergencia y rescate, etc., en fin, diversas aplicaciones. [1]

Para concluir, la presente investigación tiene el propósito de dar a conocer un abanico de posibilidades de uso y aplicaciones, que tiene un dron en rubro minero. En otras palabras, en cada uno de los procesos productivos de Minera Chinalco Perú S.A.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1. Planteamiento del Problema

La industria minera del país necesita de tecnologías y soluciones que respondan al exigente mercado global de metales, sub productos y procesos. Por medio de la inyección de innovación y emprendimiento, la minería del futuro que Chile necesita debe adaptarse a procesos cada vez más automatizados, complejos y que están demandando capital humano de alta especialización.

La cantidad de operaciones mientras el gran volumen de información y requerimientos de procesos continuos durante los 365 días del año hacen que la minería requiera de información de manera rápida y oportuna. Por lo que este desafío busca mejoras para la comunicación y soporte de las operaciones mineras principalmente en la cadena de abastecimiento y áreas de operación. [2]

En su presentación en la semana por el 75º aniversario del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP), sostuvo que esta tecnología les permitirá alcanzar un mayor rendimiento en el desempeño de la unidad, minimizar riesgos, contar con mayor predictibilidad al momento de tomar decisiones y avanzar hacia la excelencia operacional.

“En cuanto a geotecnia e hidrogeología hemos implementado un mapeo con el uso de drones que permite la recolección de datos estructurales por bancos, reconciliación del diseño geotécnico, inspección de sitios inaccesibles o de alto riesgo y la medición de resultados de voladura y control de daño a taludes”, manifestó.

Como resultado de este trabajo, destacó que desarrollan visualizaciones en 3D de bloques inestables y el cálculo de vectores de dirección de potenciales desprendimientos.

“El mapeo geomecánico convencional de bancos inició en mayo 2018 y fue complementado por tecnología de drones y programas informáticos como Photo Scan y Sirovision”, detalló. [3]

No hay que explicar mucho para entender que la minería es una actividad con muchos riesgos para las personas involucradas y el medio ambiente. No solo las condiciones inherentes al entorno, profundas excavaciones y grandes movimientos de rocas y materiales provenientes de la extracción, el uso de maquinaria pesada y la constante exposición de trabajadores y contratistas a estas condiciones inseguras generan riesgos también altos costos operativos.

Los drones aparecen como una herramienta con un alto potencial para reducir riesgos y costos en diferentes aspectos de la operación minera. En primer lugar, estas aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) pueden acceder a áreas peligrosas con un mínimo compromiso en la seguridad de las personas y sin ocupar los espacios de trabajo por lo que no es necesario detener la producción para realizar las inspecciones. Por otro lado, es posible, con estos pequeños y sofisticados equipos, realizar en minutos o pocas horas el trabajo de levantamiento que, con topografía tradicional, tomaría días o semanas. Realiza las tomas necesarias para el cubillaje de una mina de entre 20 y 40 hectáreas en alrededor de 3 horas mientras que con métodos tradicionales nuestros clientes tomaban 2 días o más.

Finalmente, por tratarse de fotografías, la información obtenida es mucho más completa, detallada y extensiva que los puntos y distancias que antes se obtenían y puede ser usada para mediciones adicionales que obedezcan a

necesidades surgidas después de que las imágenes han sido capturadas. Los mapas obtenidos, por ejemplo, pueden ser parte de los reportes que, para monitoreo ambiental, se presentan a las autoridades competentes. Adicionalmente, la información es manipulada y presentada digitalmente por lo que puede ser puesta a disposición de las diferentes partes involucradas en los procesos de manera fácil y rápida.

Desde hace tiempo desde sus inicios ha tenido lugar la gran relación entre el personal y máquinas, si bien es cierto esto permite una adecuada revisión y supervisión los procedimientos en el día a día dentro del sector minero, pero ya contamos con la tecnología que se puede utilizar para distintos fines esto puede prevenir accidentes tanto graves como fatales, de lo contrario la productividad genera retrasos y pérdidas para la Empresa.

El problema señalado es el que buscamos en Minera Chinalco, lograr una solución de manera innovadora estrechamente ligada a las competencias que se hace necesaria adaptarse con tecnologías modernas existentes con esto obtenemos resultados positivos, para establecer medidas de prevención y crear estrategias más rápidas en el proceso de inspección.

Ante la gran caída de los commodities en los últimos años las mineras han optado por darle prioridad a abaratar costos, pero también valerse de tecnologías que puedan mejorar en su totalidad la operación.

En minería hablando en un nivel nacional e internacional, poder contar con nueva tecnología que constituiría una gran contribución y sobre todo una enorme efectividad y precisión, motivo por el cual nace la idea de crear este proyecto que consiste en un sistema innovador, donde el beneficio sea tanto para cualquier empresa o entidad que este estrechamente unida a la industria minera, consiste en recabar datos de manera necesaria y prioritaria en las diversas operaciones del trabajo minero.

La problemática en diferentes empresas mineras es que debido a la ausencia de un adecuado sistema que permita planificar de una manera conveniente las diversas tareas, así como prevenir riesgos innecesarios presentes, que no pueden detectarse a simple vista antes de la ejecución del trabajo.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema General

¿De qué forma la Implementación de un Dron inteligente podría mejorar los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco Perú SA, Morococha, Perú en el año 2020?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar un modelo tecnológico (Dron) para mejorar los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación

1.3.1.1. Justificación Práctica

El Dron empleado además de ofrecer velocidad, diversidad de usos y prevención en riesgos laborales, será utilizado también con fines de planificación, monitoreo de actividades y elaboración de proyectos e infraestructura.

Su uso se justifica en las etapas de Exploración en estudios geofísicos que reporten anomalías geológicas, siendo muy usuales y de gran utilidad en labores de difícil acceso, sea el caso los Drones pueden acceder a estos blancos, además obtener datos geofísicos en el subsuelo a través de un sensor magnético.

Durante la etapa de Operación utiliza la aplicación de aerofotogrametría de precisión y sistema laser, que nos facilita datos de topografía en 3D del lugar de trabajo, es decir podemos hacer el monitoreo, planeamiento del tajo abierto, así como un permanente seguimiento del avance, verificar la estabilidad del talud, la cubicación de acopios, los botaderos, relaveras, ripios.

Además de lo expuesto antes los Drones equipados con cámaras termográficas, sensores de movimiento y audio nos ofrecen la opción remota de inspección en máquinas para detectar fallas en

chancadoras, fajas transportadoras, transformadores y otros mineros o de procesos.

También la gama de Drones con cámaras de alta resolución podría usarse en inspecciones de caminos, obras; para observar que se practiquen las normas de seguridad, prevenir y servir de apoyo en accidentes por deslizamiento de tierras.

1.3.1.2. Justificación Metodológica

De igual manera es un aporte importante como trabajo de investigación, que servirá de referencia para trabajos de investigación posteriores.

Por último, en el tema ambiental la importancia de su aplicación radica en el monitoreo de agua para gestión de recursos hídricos, determinar recursos bióticos de flora y fauna, existiendo áreas protegidas en las cuales el acceso es complicado, teniendo un gran ahorro en tiempo y recursos.

1.3.2. Importancia

La importancia en la elaboración del presente proyecto es aplicar una herramienta más eficiente durante las operaciones mineras y de una manera segura, con el objetivo de que la ganancia se maximice y la producción sea eficiente

1.4. Hipótesis y Descripción de Variables

1.4.1. Hipótesis

1.4.1.1. Hipótesis General

Hipótesis de investigación (Hi):

Hi: La implementación de un equipo tecnológico (Dron) mejora los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020.

1.4.2. Descripción de Variables

Variable X: Aplicación de un modelo tecnológico (Dron)

Variable Y: Mejora de procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020.

1.4.2.1. Variable Independiente

Se ha considerado a la variable independiente la aplicación de un modelo tecnológico (Dron), el cual se empleará con el objetivo de mejorar los procesos productivos, minimizar los gastos, maximizando las ganancias.

1.4.2.2. Variable Dependiente

La variable dependiente en estudio de este proyecto se considera a la mejora de procesos productivos la cual se obtendrá al aplicar un modelo tecnológico (Dron), logrando nuestra meta establecida.

La descripción detallada de los aspectos globales de la situación por la cual atraviesa la producción de la extracción de mineral en el transcurso de los años; en nuestro caso cobre y plata constituyó la parte vertebral de este capítulo; no dejando de lado los términos fundamentales en las que se basa la construcción de esta investigación. Cabe resaltar que los capítulos posteriores centrarán su trabajo respecto a la situación problema planteada en esta primera parte.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable X: Aplicación de un modelo tecnológico (Dron)	-Costo de mapeo	-\$/TM
	-Lectura de datos	-Reales
Variable Y: Mejora de procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020.	-Reducción del costo de las etapas de producción.	-Días -Meses
	-Seguridad	-Estable/Inestable
	-Recuperación del mineral de Producción.	-% -Controlada.

Tabla 1.1 Operacionalización de las variables

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- a) DIAZ CANTOS Oscar en su proyecto “Drones y su estudio en el área de seguridad y salud laboral”. Nos expone los usos y beneficios que estos dispositivos pueden representar en la prevención de riesgos y salud en el trabajo, mejora de la salud en tema de inspección, procedimientos y la ejecución de un correcto trabajo minero. [4]

- b) ALVAREZ VIEDNA Tomas Ignacio en su trabajo “Proyecto para el concurso Alpha Mining del Área de Minería y Metalurgia INACAP 2018”. Se centraliza en proponer un sistema de innovación tecnológico que pueda aplicarse en cualquier Empresa Minera, su objetivo primordial es reducir lo menos posible la relación Hombre-Máquina por tareas que resultan muy peligrosas para los trabajadores de la mina, minimizar los riesgos que representan a cada operación que se realiza en la obra, con esto se busca proteger totalmente la integridad del trabajador, operador que se encuentre en la faena minera. [5]

- c) Omar MONROY, Christopher Clark. En su investigación “La verdad de los Drones en la Industria Minera”. Refiere que los drones son una tecnología muy actual y en pleno desarrollo, marca una

interrogante en cuanto a las posibilidades que ofrece a la industria minera, así mismo responde la interrogante planteada a través de sus diversas aplicaciones; además define en término DRON, establece sus tipos, hace hincapié en la normativa que rige en México con respecto a estos vehículos, también enumera las aplicaciones potenciales en relación a las necesidades específicas en minería, finalmente concluye manifestando que la tecnología se encuentra en pleno auge y desarrollo para la minería, cree necesario difundir esta información en las empresas mineras para hacer sus procedimientos más eficientes. [6]

- d) PINTO D. Rodrigo en su tesis “Drones la Tecnología, Ventajas y sus Posibles Aplicaciones”. En primer lugar define el término Dron, considera las partes que la componen, para que sirven, que percepción pública tienen, sus usos civiles y militares, y finalmente lo que más nos parece interesante para el propósito de la investigación, sus aplicaciones en Minería, comenzando por plantear los objetivos en la Faena Minera, listando el resultado de actividades que puede realizar, como por ejemplo su aplicación en inspección de máquinas, cálculo de volúmenes, audio de funcionamiento, imágenes térmicas, control de relaves, y muchas más aplicaciones, finalmente concluye que su uso permitirá una mejora en los procesos, minimizando costos en la operación. [7]

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- a) POSTIGO HUANQUI, Sergio Renato en su trabajo “Vehículo Aéreo no Tripulado para Vigilancia en ambientes cerrados con detección de personas y obstáculos a su alrededor”. Resalta dos problemas con respecto a las aplicaciones de los drones, primero que no se encuentran adaptados para espacios cerrados podrían estrellarse, representan un riesgo para el entorno de las personas, la segunda que no son disuasivas, casi siempre no están en el lugar donde se les necesita, la tarea que se atribuye el autor es de adaptar el diseño este tipo de vehículos a estos espacios confinados de una manera más segura y productiva, es decir podrían ser utilizados para vigilar cuartos,

pasillos, hacer rondas, adaptar el diseño preliminar a uno más sofisticado con características especiales, que o genere ningún riesgo técnico para las personas incluso para sí mismo, así como también debe de contar con una cámara que registre con luz o sin ella lo que sucede a su alrededor y plasmarlo en vivo a un equipo móvil o laptop del operador, por último y no menos importante poder detectar obstáculos y personas, conseguir un vuelo en posición fija. [8]

- b)** JORGE BERROCAL, Richard Rubén en su tesis “Optimización en el Proceso de Cartografía con Tecnología Drones en La Compañía Minera Barrick Misquichilca S.A.” Comienza haciendo un preámbulo respecto a la cartografía con equipos convencionales los cuales resultan deficientes además de representar un costo alto, por ello se hace necesario desarrollar una técnica que pueda optimizar los procesos de una manera confiable y en menos tiempo, para tomar decisiones inmediatamente, el autor considera necesario reformular la aplicación tecnológica drones apoyándose en tomar datos con el método fotogramétrico, el presente trabajo dividido en seis capítulos pretende aplicar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos para la obtención de una cartografía con dispositivos móviles drones. [9]
- c)** FLORENTINO SORIANO, Ronald Cristian en su trabajo “Aplicación de Fotogrametría con RPAS para Mejorar la Efectividad en Cuantificación de la Explotación en la Cantera Santa Genoveva -2016”. El autor parte estableciendo el objetivo de la investigación, evaluar aplicación de la fotogramétrica con RPAS (Sistema Aéreo Pilotado Remotamente), se realiza el procesamiento de la información también conocida como restitución fotogramétrica, para corroborar la efectividad en la cuantificación de la cantera comparando con la topografía tradicional en la explotación de cantera, finalmente comparando la fotogrametría con el levantamiento topográfico, el primero resulta más efectivo, por otra parte en el tema de costos el primero obtuvo un ahorro económico del -39%, sumado a esto menor tiempo, riesgo de accidentes, daños materiales y perdidas. [10]

- d) FALCONI CANEPA, Giancarlo en su publicación “Drones en Minería”. Nos ilustra una serie de drones, sensores, software y elementos electrónicos, para la aplicación en minería, también hace mención de la propuesta de valor que este dispositivo propone en el campo minero, como por ejemplo reducción de costos, (automatización de labores de mano de obra), evita riesgo humano (actividades de campo), reducción de plazos (captura de información), excelente precisión (labores con intervención humana), hace énfasis en los modelos de trabajo, tales como prospección, seguridad, supervisión y operaciones, y finalmente proyectos especiales. [11]
- e) DEL VALLE, José Carlos en su publicación “Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia”. Refiere que desde hace tres años la Minera está apostando por adoptar nuevas tecnologías para una mejor eficiencia, como es el caso de los drones para la operación a 4300 msnm, esperando obtener una supervisión e implementar buenas prácticas en seguridad; resalta que 06 drones diseñados para la altura, comenzaran a sobrevolar la operación minera, para monitorear a 120 camiones CAT y Komatsu, los cuales podrán ser vistos desde dispositivos móviles a cualquier ejecutivo autorizado, otra ventaja de este dispositivo será que no necesitará a ningún operario para su manipulación ni para su desplazamiento; por último el ejecutivo de Antamina, hace énfasis en que un mejor uso de equipos críticos evita tiempos muertos, movemos más material y eliminamos tiempos muertos, así se gana productividad y eficiencia, eso se traduce en números. [12]

2.1.3. Antecedentes Regionales – Locales

- a) PARRA LAVADO, Regner Raúl en su tesis “Modelo Analítico de los Parámetros para la Fotogrametría con Drones en obras viales”. Plantea el problema ¿Cómo determinar el modelo analítico de los parámetros para la fotogrametría con drones en obras viales?, su objetivo está orientado a determinar el modelo analítico de los parámetros a través de la fotografía con drones, en su hipótesis el cálculo de altimetría determina el modelo analítico de parámetros para

fotogrametría con drones, la metodología utilizada es tipo aplicado, nivel explicativo, diseño experimental, técnica recolección de datos, método la observación directa e indirecta por medio de equipos electrónicos, por ultimo concluye que el método analítico de parámetros para fotogrametría es óptimo en el estudio de obras viales. [13]

- b) CHAVEZ JULIAN Jessica, MORENO GASPAR, Erika Aracely en su tesis “Implementación de un Dron inteligente detector de gases tóxicos en las minas subterráneas”. Pretenden estudiar los diferentes gases presentes en las minas: nitrógeno, anhídrido carbónico, monóxido de carbono, gases nitrosos, anhídrido sulfuroso, gas sulfhídrico, para comunicar de manera inalámbrica lo identificado, por el Dron y determinar los accesorios y peso específico, su eficiencia al momento de recolectar datos de gases presentes en el ambiente, evitar muerte de trabajadores por inhalación brindándoles toda la seguridad y calidad en sus labores, debido a que el dron siempre ofrecerá una gran velocidad y agilidad en la recolección de información de manera inalámbrica, es posible que al comienzo no facilite el 100 % de la información debido a la geología del terreno donde se trabaje, finalmente la construcción de un Dron detector de gases, de esta manera se preverá y evitará accidentes fatales. [14]
- c) HUALPA ZARATE, Junior, ARROYO SOLANO, Marco en su tesis “Fotogrametría, Geodesia y Topografía con Drones”. Comienza explicando la Automatización de vuelo y captura de datos, definiendo y estableciendo las características del Aplicativo móvil Drone Deploy; seguidamente el Procesamiento y análisis de datos, que tiene la característica de procesar imágenes de cualquier dron, también su funcionalidad el cual se puede planificar su vuelo sin acceso a internet, en los mosaicos de mapas estarán disponibles cuando se requiera los planes de vuelo fuera de línea; se recomienda usar la aplicación con Apple tiene una mejor experiencia que Android ya que resulta más estable, en este punto los autores detallan una lista de verificación previa al vuelo; para Crear el plan, se puede configurar los parámetros

de vuelo deseados, estas funciones solo están disponibles en drones Phantom 4, Phantom 4 Pro, Inspire 2 y Mavic Pro. [15]

- d) SANCHEZ CACEDA, Luis en su proyecto “Sobrevolando los Riesgos: Uso de drones en la gestión de riesgos de desastres naturales”. Comienza su trabajo explicando el desarrollo tecnológico de estos vehículos aéreos no tripulados, se ha puesto millones de ejemplares, así como modelos que son obtenidos por los usuarios a precios accesibles, van desde su uso como hobby, diversión, niveles profesionales y científicos; el fin de esta investigación se fundamenta en la gestión de riesgos de desastres, para analizar zonas y lugares que están expuestas a desastres de origen natural, tendrá el trabajo de facilitar los pronósticos, para poder mitigarlos ante la aparición de fenómenos de la naturaleza, también nos habla de las Regulaciones y Sanciones (Norma Técnica Complementaria del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – NTC) , así como el Impacto en la gestión del riesgo de desastres, y finalmente el Acercamiento a zonas inaccesibles (deslizamientos, huaycos, inundaciones, tsunamis, terremoto, incendios, entre otros). [16]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Proceso productivo

El proceso productivo del cobre es el conjunto de procedimientos que realizamos para obtener un cobre de alto valor de concentración, es decir, que se encuentre libre de la gran parte de impurezas que tuvo en un inicio.

Comienza desde la exploración del terreno donde buscamos yacimientos (los espacios donde encontramos minerales de forma natural), hasta la fabricación de planchas o cátodos de Cu con una pureza de 99.99 %, que son vendidos en el mercado internacional.

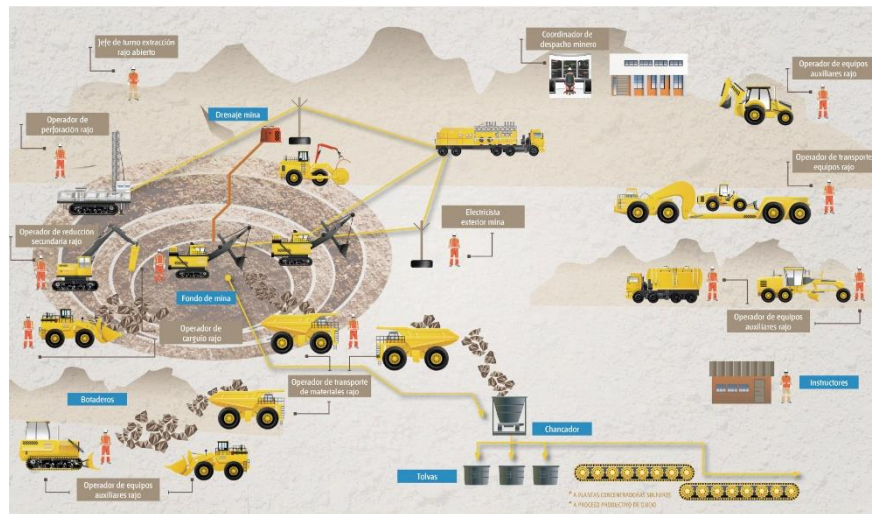


Figura 01. Procesos Productivos en una mina de Cobre.

2.2.1.1. Exploración

Esta primera etapa en la producción del cobre inicia con la tarea de exploración geológica, en este punto se puede observar los tipos de rocas existentes en el subsuelo y comprobar si hay presencia de minerales.

Se encuentra diseminado el cobre a lo largo de la corteza terrestre, su ubicación depende del proceso geológico al cual fue sometido para su formación, a través de historia del planeta.

Hablando del origen del cobre se formó por ascenso del magma a alta temperatura, debido a la presión que sucedió en la corteza terrestre. [17]

La etapa de exploración se subdivide en tres etapas, después de realizarse estas etapas recién sabremos si es económicamente posible explotar el yacimiento

- a) **Exploración básica:** Se toma una gran porción de terreno para verificar si existe algún indicio de la existencia de yacimientos minerales.

A través de mapas geológicos, imágenes satelitales, y otras herramientas, los geólogos juegan un papel importante marcan el potencial para continuar o no la exploración.

Finalmente, al encontrar el área específica, un grupo de expertos van hacia el terreno para registrar la ubicación, características (color, textura, estructura) y recolectar muestras para afirmar si hay presencia de rastros minerales.



Figura 02. Modelo de una exploración básica.

b) Exploración intermedia: Aquí las muestras son sometidas a pruebas físicas y biológicas, para corroborar si existe mineralización y concentración de mineral (ley).

Si en este proceso hay resultado positivo, se delimita la zona donde hay mineralización, y se procede a planear los sondajes a implementar.

Aquí ya tenemos una posible certeza de la existencia de un yacimiento, ya estamos cerca a producir cobre.



Figura 03. Modelo de una exploración intermedia.

c) Exploración avanzada

Ya en el área delimitada procedemos a realizar sondajes, perforación de progresivo diámetro y longitud, para atravesar espacios con presencia de óxidos y sulfuros.

En esta tarea de sondaje se establece la extensión final del yacimiento y características, así como ley del cobre.

Si el análisis registra la existencia de un yacimiento de cobre, solo se espera los estudios económicos y técnicos para empezar su construcción.



Figura 04. Modelo de una exploración avanzada.

2.2.1.2. Extracción

En este procedimiento se extrae todo el cobre de la tierra, su objetivo se fundamenta en obtener el mineral del macizo rocoso para ser llevado a planta, donde será separado de otros metales, así se validará su pureza, el mismo después será vendido en el mercado mundial. [17]



Figura 05. La extracción emplea maquinaria de gran volumen.

La extracción se divide en cuatro etapas fundamentales:

- a) **Perforación:** Se trata de hacer agujeros en la tierra en las que posteriormente se cargaran los explosivos.



Figura 06. Descripción gráfica de carga de explosivos.

- b) **Voladura:** Una concentración de explosivos colocados en los agujeros son detonados a control remoto, para romper el macizo rocoso.



Figura 07. Descripción gráfica de la voladura

- c) **Carguío:** A través de enormes palas y equipos de gran capacidad y tonelaje, se cargan los Dumper (camiones mineros), con material roto.



Figura 08. Descripción grafica de carguío de material.

- d) **Transporte:** Los camiones de gran tonelaje llevan la roca fragmentada a chancadora primaria o cancha de desmonte.

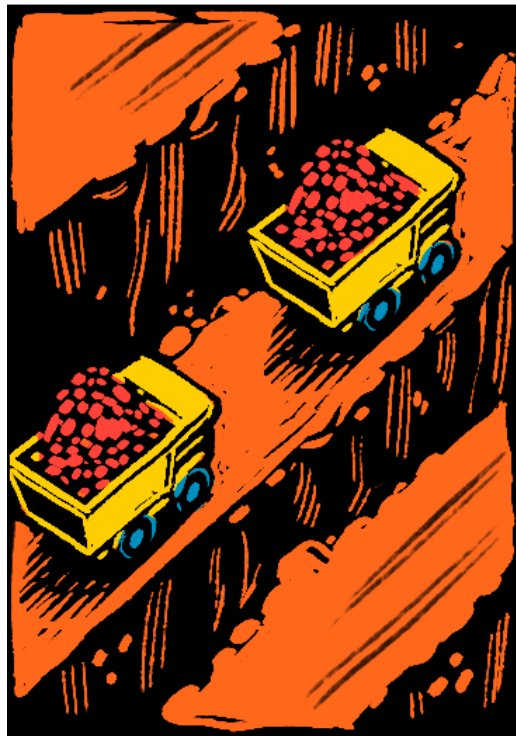


Figura 09. Descripción grafica del transporte de material.

2.2.1.3. Chancado

La función del chancado es disminuir la roca mineralizada en fragmentos más pequeños, a un tamaño de $\frac{1}{2}$ pulgada (1.27 cm) de diámetro aproximadamente, resulta obtener este tamaño para ser tratado en los siguientes procesos productivos. [17]



Figura 10. Representación del proceso Chancado.

Para obtener el tamaño deseado, estos equipos eléctricos de gran dimensión, van rompiendo las rocas hasta el tamaño esperado, cabe resaltar que no necesariamente la roca obtiene una medida precisa, para lograr la roca fragmentada pasa por tres niveles:

- a) **Etapa primaria:** La chancadora reduce el material a unos fragmentos de aproximadamente 8 pulgadas de diámetro.

- b) **Etapa secundaria:** El fragmento triturado se reduce a 3 pulgadas de diámetro aproximadamente.
- c) **Etapa terciaria:** Por fin la roca llega al tamaño deseado de ½ pulgada, así es trasladado el material por medio de fajas transportadoras hacia las pilas de material. Todo proceso por lo general es automatizado no necesita esfuerzo físico sobrehumano.

2.2.1.4. Molienda

Por medio de la molienda los fragmentos obtienen una granulometría de 0.18 milímetros, esto con el fin de encontrar las partículas más pequeñas de cobre, y poder separarlas lo más que se pueda de otras sustancias, luego se llevará a otra etapa en las que se trabajará para obtener la pureza máxima del material. [17]

Existen procedimientos para la molienda y así llevarlo a cabo, dependiendo del tipo de tecnología que adopte cada planta minera y son:

- a) **Molienda de bolas:** El molino de grandes dimensiones está constituido por bolas de acero en su interior, de 3 kilos y 3.5 pulgadas de diámetro, cuando va girando por espacio de 20 minutos el choque de estas bolas va reduciendo el material a un espesor de 0.18 milímetros, este tipo de molinos son adoptadas por plantas modernas.

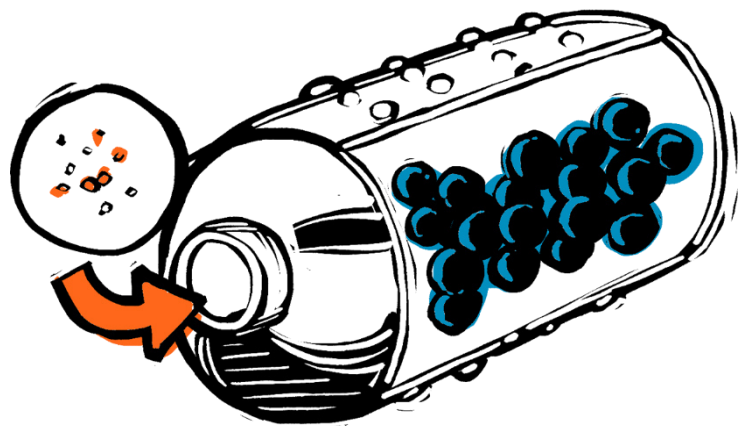


Figura 11. Modelo de molino tipo bolas.

- b) **Molienda tipo Sag:** Este tipo es más moderno, así como eficiente, el material que ingresa proviene directamente del

chancado primario, mas no del terciario, como las plantas convencionales, este material es mezclado con cal y agua, el movimiento de numerosas bolas de acero, así como la acción de partículas de diverso tamaño, reducen el material por medio de la caída libre y cuando el molino gira, de esta manera el chancado y molienda en conjunto son más efectivo y de mejor consumo de energía.

En este proceso se les agrega agua a los fragmentos de rocas así se forma un fluido lechoso, también agregamos reactivos para facilitar el siguiente proceso productivo: la Flotación.

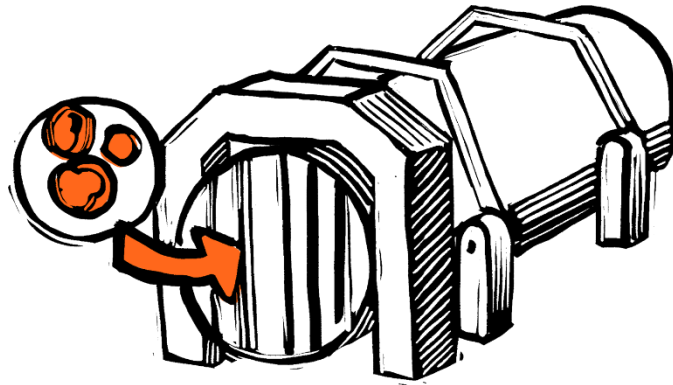


Figura 12. Modelo de molino tipo sag.

2.2.1.5. Flotación

El material obtenido de molienda es sumergido en enormes celdas de flotación, desde el fondo se bombea aire para generar burbujas, gracias a los reactivos añadidos en el proceso anterior, el cobre y molibdeno que nos interesa rescatar, ingresan a las burbujas y de esta manera suben a la superficie de la solución, y caen por los costados a unos estanques especiales, donde la pulpa resultante será secada a través de filtros quedando con una humedad de 9.5 %, lo que garantiza un proceso de alta calidad. Finalmente, el concentrado es depositado en pilas de almacenamiento, listas para ser transportada vía ferrocarril y comercializados a todo el mundo.

[17]

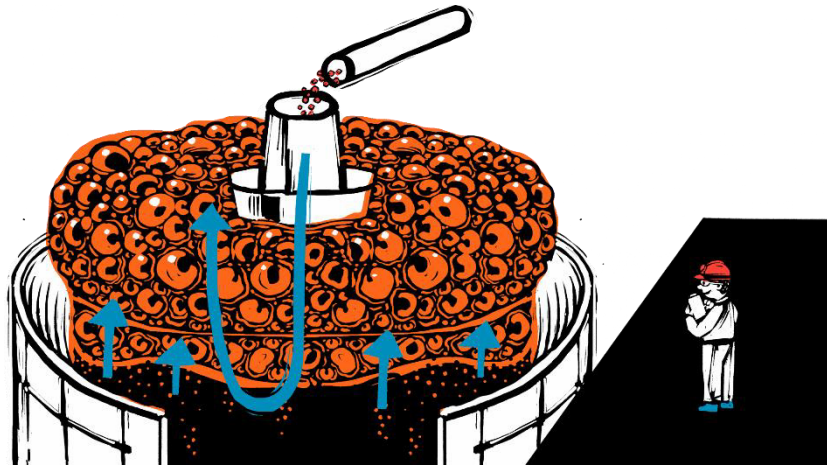


Figura 13. Representación del Proceso de Flotación.

Según lo mencionado en el proceso anterior se añade al material, diversos reactivos para que el cobre flote, estos son:

- a) **Reactivos colectores:** Su función es lograr que las partículas de cobre y molibdeno rechacen al agua, su principal objetivo es que el mineral se separe del agua, para que ingrese a las burbujas de aire.
- b) **Reactivos depresores:** Su propósito es el contrario a los reactivos colectores, los minerales que no interesa recolectar y se encuentran en las celdas prefieran al agua antes que el aire, así puedan sumergirse.
- c) **Reactivos espumantes:** Su propósito es generar burbujas, para que el cobre y molibdeno puedan protegerse del agua e ingresar a las burbujas de aire.
- d) **Otros aditivos:** Estos cumplen la tarea de conservar la estabilidad en la acidez del mineral, para que su ph tenga un valor determinado y así pueda llevarse sin problemas el proceso de flotación, un claro ejemplo de este aditivo es la cal.

2.2.2. Modelo Tecnológico

2.2.2.1. Dron

Son conocidos también como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), UAV (Unmanned Aerial Vehicle), o más conocido como dron, estos vehículos llamados aeronaves, que no necesitan tripulación para volar, son capaces de realizar vuelo de manera autónoma de forma

controlada y sostenible, son impulsadas por un motor de explosión, sea eléctrico o reacción.

Para el uso que se le pueda dar existen diferentes clasificaciones, podemos clasificarlo en dos grandes grupos: Para uso militar y de uso civil.

Los drones de uso militar ya son usados desde hace 100 años, en cambio el uso civil recién toma notoriedad desde la última década; en parte gracias a los grandes saltos que la tecnología ha obtenido en tema de procesadores rápidos, baratos, y que no decir de las baterías ligeras, todo esto ha permitido que los equipos sean usados para recreación y para uso de bajo costo para el rubro audiovisual.

[1]



Figura 14. Modelo de un dispositivo Dron.

2.2.2.2. Tipos de dron

De acuerdo a su fisionomía podemos clasificarlos, además del tipo de control o su uso. [1]

Tomando en cuenta su fisionomía los dividimos en tres grupos:

a) Multirrotores: Son los que más se han desarrollado en la actualidad, su composición está establecida por varios motores de manera independiente situado a cada extremo del aparato; partiendo del número de motores los clasificamos en tricópteros (3), cuadricópteros (4), hexacópteros (6), y octocópteros (8); el uso es totalmente desarrollado esto debido a la estabilidad, facilidad y maniobrabilidad que puede realizar, sin olvidar la forma estática de vuelo que adopta según se le indique, por otra parte su desventaja se resume en gran consumo de energía para sostenerse en vuelo y su prolongada autonomía entre 15 y 30 minutos, de magnifico uso en el campo audiovisual e inspección industrial.



Figura 15. Modelo de Dron hexacóptero de 06 motores.

b) Helicóptero: En cuanto a su fisionomía se asemeja a un helicóptero de tamaño pequeño, se compone de un solo motor principal, que le brinda gran capacidad de autonomía y carga; podemos mencionar modelos que tienen combustión interna que pueden mantenerse en aire alrededor de 01 hora sin repostar; su desventaja se pone de manifiesto en el aspecto mecánico, el uso de controles los ha convertido en los menos usados y accesibles, son ideales para fotogrametría y precisión en agricultura.



Figura 16. Dron tipo helicóptero.

- c) **Ala fija:** Su fisionomía se asimila a la de un aeroplano, su cuerpo principal acompañado de 02 alas que le dan la facilidad de planear, un rotor en la cola con propulsión eléctrica o de combustión; es el más eficiente en tema aerodinámico y autonomía de vuelo, en cuanto a su desventaja son los que menos carga pueden llevar consigo, debido a que no pueden permanecer inmóvil tienen menos agilidad de realizar maniobras, para despegue y aterrizaje necesitan una gran porción de superficie, pero su gran autonomía lo lleva a ser ideal en labor de fotogrametría y agricultura de precisión.



Figura 17. Dron tipo ala fija.

Además, podemos clasificarlo según el método de control:

- a) **Autónomo:** Este dron en mención para su control desde tierra no requiere de un piloto, mantiene su autonomía a través de sus sensores integrados y propios sistemas
- b) **Motorizado:** En este tipo de vehículos necesitamos la figura de una persona, su trabajo consiste en abastecer de información y realizar control del feedback del dron, el

equipo está programado para realizar su propio plan de vuelo, el operario a pesar de no controlar los mandos, si puede realizar que acción tomará el dron, también es común para trabajos de fotogrametría y agricultura de precisión.

- c) **Supervisado:** Un técnico opera el dron, realiza pocas tareas de manera autónoma.
- d) **Reprogramado:** El equipo realiza un plan de vuelo programado preliminarmente, por ello no existe los medios para realizar cambios de último momento.
- e) **Controlado remotamente (R/C):** Un técnico mediante una consola realiza el pilotaje del vehículo, resulta muy adecuado en labores audiovisuales y de inspección.

Por último y no menos importante resulta su clasificación según el uso:

- a) **Drones militares:** Tienen capacidad de bombardeo debido a que suelen ir armados, otras solo cumplen el rol de espionaje.
- b) **Drones civiles:** Este tipo de vehículos no tienen uso militar, pueden dividirse en:
 - i. **Drones de uso comercial:** Usados en el campo de la fotogrametría, multimedia, etc.
 - ii. **Drones para aficionados:** Tiene un uso en el plano de momentos libres (hobby).
 - iii. **Drones de uso gubernamental:** Importante para fuerzas del estado, bomberos, rescate.

2.2.2.3. Partes de un dron

Resulta importante antes que nada conocer de qué partes disponen estos equipos, para después plantear sus aplicaciones, las modificaciones que podríamos hacerles incluso la correcta elección del equipo, la gama de sensores de imagen, etc., sería algo que desconoceríamos en un inicio si no tenemos en cuenta el abanico de posibilidades previas. [1]

a) Marco

Constituye el armazón, el chasis, la unidad principal donde iremos ensamblando todas las demás partes, su característica es que debe ofrecer la más alta resistencia además de ser ligero, los materiales como el plástico, aluminio y por último la fibra de carbono son los materiales más usados, y este último cumple con el propósito de ser resistente y ligero a la vez.



Figura 18. Parte de un Dron el marco o chasis del dispositivo.

b) Motores, hélices y variadores

Representa las partes que mantienen en suspensión al equipo, los variadores brindan la potencia necesaria a cada motor, los motores tienen la función de hacer girar las hélices, y a la vez estas dirigen el movimiento del dron, cuando se incrementa la velocidad, el dron comienza a ascender y a descender cuando disminuye la velocidad, al combinar el grupo de hélices determinamos los movimientos del dron, al igual que el chasis las hélices son de fibra de carbón por su ligereza y gran resistencia.



Figura 19. Hélice de un Dron.

c) Controlador de vuelo

El llamado cerebro del equipo, el dispositivo donde todos los componentes van acoplados, establece según orden la señal que enviará a cada variador, para cumplir el movimiento deseado del dron, además permite estabilizar el dron de manera constante, en la actualidad los fabricantes desarrollan estos controladores más potentes, para obtener mejor estabilidad en el vuelo, teniendo como finalidad realizar operaciones con precisión.



Figura 20. Controlador de vuelo o movimiento del Dron.

d) Radio receptor (antena):

El encargado de recibir del control remoto la señal de radio enviada, que ha interpretado el movimiento del usuario convirtiéndolo en onda radial; los datos que se envían al controlador de vuelo, para realizar la instrucción es transformada en datos, recibida del radio receptor por la señal.

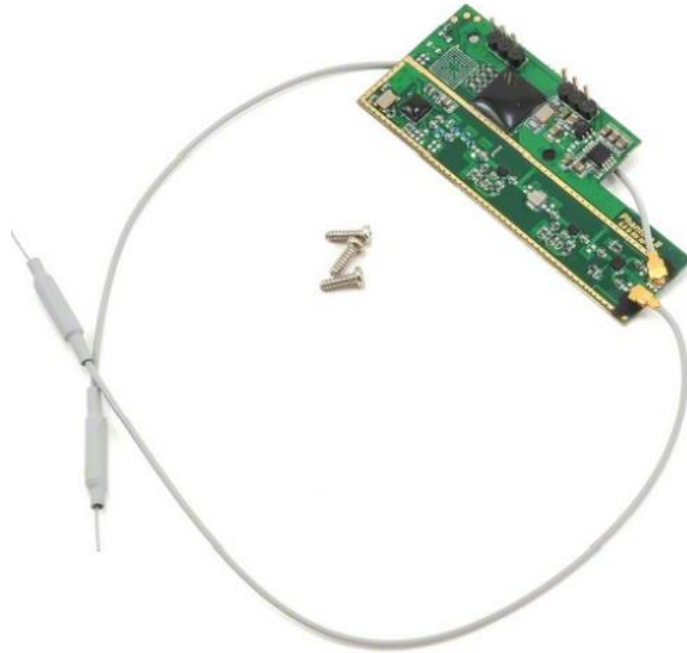


Figura 21. Radio receptor o control remoto.

e) Batería

La energía necesaria para todo el equipo proviene de la batería, por lo general son pesadas, por lo que es mejor utilizar las de polímero de litio, que aligeran su peso, estas ofrecen una autonomía de 15 a 30 min., dependiendo del tipo, con aumentar la cantidad de baterías podríamos pensar que aumentamos la autonomía, sin embargo, todo lo contrario, esto la dificulta.



Figura 22. Fuente de energía o batería.

f) GPS y brújula

Van conectados al controlador de vuelo, estos le dan la información de ubicación, altitud, y velocidad exacta; resulta relevante el programa que tenga el controlador, de esta manera se podrá automatizar el vuelo, para mantener su estabilidad, vuelo en cualquier dirección, así como una ruta predefinida; además realizan la georreferenciación de fotos y lograr posicionarlas a la hora de efectuar una fotogrametría.



Figura 23. GPS y brújula.

g) Estabilizador

Para la captura de fotos en el chasis del dron se puede instalar una cámara u otro sensor para captura de fotos, videos, imágenes infrarrojas, etc.; desde el aire, el sensor puede funcionar desde una cámara pesada profesional hasta una liviana GoPro, lo normal es usar un estabilizador para evitar movimientos propios del dron que puedan afectar las tomas, los gimbal absorben vibraciones que generan los motores, y además pueden corregir la inclinación de las cámaras para que logren permanecer siempre con la misma inclinación respecto al piso, los gimbal también pueden ser conectados al Controlador del Vuelo, por medio del control remoto el operario puede cambiar el ángulo de inclinación de la cámara mientras este suspendido en el aire.



Figura 24. Estabilizador para captura de fotos.

h) Cámaras / sensores

La elección que podamos darle al dron dependerá del uso que tendrá, montaremos el gumbal en un tipo de cámara y sensor, los más usuales son:

- **Cámara fotográfica/video:** Tiene más uso audiovisual, fotográficas, videos incluso para fotogrametría.

- **Sensor multiespectral:** Este sensor generalmente es de cuatro bandas, captura la luz en verde, el borde rojo y el infrarrojo cercano, estas características son propias de equipos usados en la agricultura, para obtener datos de como las plantas absorben la luz solar, para saber su salud, aspecto hídrico, etc.
- **Cámara infrarroja:** Muy útil para imágenes en la oscuridad, de vital importancia en trabajos de seguridad y vigilancia.
- **Cámara termográfica:** Dispositivo utilizado para saber la temperatura del objeto que estamos observando o analizando, muy común en trabajos de inspección industrial (equipos).



Figura 25. Cámara y sensor.

i) **FPV (First Person View)**

Trata de un sistema de transmisión y recepción que logra capturar la cámara en formato video, en tiempo real, así el operario puede ver lo que el equipo está observando, logramos esto conectando la cámara a un transmisor de video pequeño, que va adherido al dron y un receptor con cámara para accionarlo por control remoto, resulta muy útil en trabajos de altura para obtener gran vuelo y distancia muy segura, así se captura buenas tomas de manera muy segura.



Figura 26. Sistema de transmisión FPV.

j) Emisora o equipo de tierra

A través de este dispositivo controlamos manualmente y automáticamente el dron, con una emisora de radio para control manual, y también un ordenador portátil para programar la ruta que tendrá el dron, en la actualidad los equipos son programados con una Tablet incluso un equipo móvil esto con fines de hobby.



Figura 27. Emisora o equipo de tierra.

2.3. Definición de términos básicos

Riesgo Laboral: Se entiende como riesgo laboral a los peligros existentes en una profesión y tarea profesional concreta, así como en el entorno o lugar de trabajo.

Metalurgia: La metalurgia es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales a partir de minerales metálicos. También estudia la producción de aleaciones.

Faena Minera: Es el trabajo por turnos y muchas veces en zonas lejanas y en altura, pero cuentan con espacios de recreación, deporte y descanso.

Cartografía: La cartografía es la ciencia aplicada que se encarga de reunir, realizar y analizar medidas y datos de regiones de la Tierra, para representarlas gráficamente con diferentes dimensiones lineales, escala reducida

Fotogrametría: La fotogrametría es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

Cantera: Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.

Topografía: La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales.

Startup: Un startup es un tipo de compañía comercial que, por ser neófito o completamente nueva en el mercado, es considerada emergente o incipiente en lo que a la comercialización de su producto se refiere.

Prospección Minera: Son trabajos orientados al descubrimiento de depósitos minerales de interés económico.

Modelo analítico: Es un tipo de estudio científico basado en la experimentación directa y la lógica empírica.

Altimetría: La altimetría es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o "cota" de cada punto respecto de un plano de referencia.

Geodesia: Parte de la geología que determina de forma matemática la figura y magnitud de la Tierra o de gran parte de ella, y se ocupa de construir los mapas correspondientes.

Cátodos: Un cátodo es un electrodo que sufre una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al recibir electrones.

Sondajes: Las perforaciones de pequeño diámetro y gran longitud que se efectúan para alcanzar zonas inaccesibles desde la superficie o laboreos mineros.

Yacimiento: Yacimiento, en geología, es una formación en la que está presente una concentración estadísticamente anómala de minerales presentes en la corteza terrestre o litosfera.

Dumper: Es un vehículo utilizado en la construcción destinado al transporte de materiales ligeros, y consta de un volquete, tolva o caja basculante, para su descarga, bien hacia delante o lateralmente, mediante gravedad o de forma hidráulica.

Granulometría: La granulometría es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado o de un líquido multifásico.

Reactivos: Un reactivo es una sustancia o compuesto añadido a un sistema para provocar una reacción química, o añadido a probar si se produce una reacción.

Celdas de flotación: Son las maquinas donde se lleva a cabo el proceso de flotación.

Fisionomía: Fisionomía es el estudio detallado de la apariencia física y generalmente puede aplicar el rasgo de la cara de una persona, apariencia externa y cara que determina el carácter o el gesto de un individuo. Apariencia externa de las cosas o elementos.

Aerodinámica: La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que estudia las acciones que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre estos y el fluido que los baña, siendo este último un gas y no un líquido, caso este que se estudia en hidrodinámica.

Feedback: Capacidad de un emisor para recoger reacciones de los receptores y modificar su mensaje, de acuerdo con lo recogido.

Georreferenciación: La georreferenciación es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos.

Gimbal: Un gimbal es una plataforma motorizada y que se controla mediante una placa con varios sensores. Generalmente son acelerómetros y compás magnético que se encargan de mantener un objeto estabilizado en todo momento.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

El siguiente proyecto de investigación tiene como base el método científico, en el cual los fenómenos se pueden explicar, se crean relaciones entre los hechos, podemos tener una prueba de verdad es decir los resultados (hipótesis) pueden ser probados, tomaremos en cuenta lo citado por Mario Bunge, "El método científico es establecido como rasgo característico de la ciencia, esta puede ser pura o aplicada; si no hay ciencia no hay método científico, esto representa que no es infalible ni tampoco autosuficiente, es infalible por ello se requiere su perfeccionamiento a través de la estimulación de resultados, tampoco es autosuficiente, no funciona si no hay un conocimiento previo, que tenga que elaborarse o reajustarse.

3.2. Diseño de la investigación

Abordamos un estudio no experimental de carácter descriptivo - comparativo, esto debido a que pretende modificar la realidad existente con el único fin de crear un nuevo procedimiento que puede ser utilizado en el mismo contexto, se puede observar los resultados y descriptivo por el uso de un método centrado en el análisis, podremos caracterizar el objeto de estudio a la situación presentada concreta, lograremos señalar sus características, así como sus propiedades.

3.3. Población y muestra

a) Población

Para Ary, D. (1986): La población son los individuos que por lo menos comparten una característica esta puede ser, una ciudadanía, miembro voluntario, una raza, en nuestro caso estudiantes de una misma universidad, etc. "Para el presente trabajo la población está constituida por los procesos productivos en las minas a cielo abierto a nivel nacional".

b) Muestra

"La muestra estará constituida por los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020".

3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Usaremos la técnica de recolección de datos denominada observación, ya que permite evidenciar las peculiaridades del objeto de estudio mediante la percepción sensorial, del mismo modo tomar antecedentes de algunos autores para enriquecer su exploración, realizar conjeturas preliminares de la información.

La observación tiene la ventaja que se puede utilizar en cualquier momento de la investigación

El instrumento consistió en guía de observación, que permitió anotar ocurrencias de los procesos productivos que se realiza en Minera Chinalco Perú S.A, Morococha 2020.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)

Para comenzar la presentación del tratamiento de datos resulta necesario comprender que los problemas que se presentan en la Mina a cielo abierto Minera Chinalco Perú S.A. Morococha, 2020, son debido a la necesidad de un dispositivo tecnológico Dron, que pueda optimizar el tiempo, calidad de la información al menor costo en cada uno de los procesos productivos.

Ya observamos en el capítulo anterior la definición de un dron, los diferentes tipos de dron, sus partes y sensores que están compuestos, a partir de necesidades específicas del sector minero podremos desarrollar nuevas aplicaciones.

En el presente trabajo hablaremos de minería a cielo abierto, porque ahí es donde los drones desarrollan el 100% de su potencial, al margen que se encuentren provistos de sensores de distancia.

4.1.1. Prospección

En este apartado el dron cumple el rol de detectar y estudiar recursos minerales geológicos, realizaremos una evaluación geomorfológica, este dispositivo realiza un modelado en 3D de una manera detallada en la planificación minera, incluso efectúa la detección precisa de la estructura geoquímica, mediante la fotogrametría ejecuta trabajos de Cartografía, Ortofotografía, e imágenes topográficas

La capacidad del dron en mapeo juega un papel muy importante y efectivo en la fase de exploración, la solución tradicional sería analizar imágenes satelitales, con drones sería obtener datos de nivel geoespacial con muy buena resolución brindando información exacta del terreno, así como su entorno, así como datos multi espectrales para establecer la existencia de afloramientos de minerales. Hablando de los beneficios logramos obtener una gran cobertura de área estudiada, el despliegue es rápido, así como la resolución, precisión y exactitud. [18]

A continuación, presentamos los métodos geofísicos que son aplicados en minería y son los siguientes:

Teledetección

A través de sensores multiespectrales que todos los satélites están equipados, obtenemos imágenes multiespectrales que los geólogos pueden utilizar para interpretar litologías de superficies, suelos y rocas, así identificar arcillas, óxidos, u otros tipos de suelo.

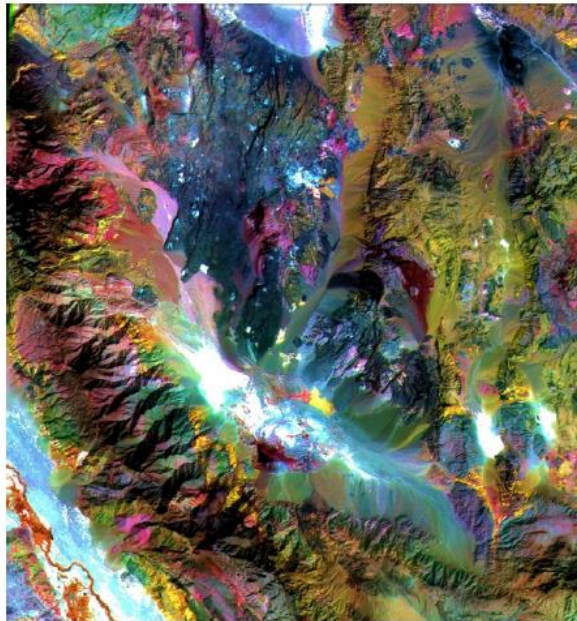


Figura 28. Imagen de Satélite ASTER. En la región se observa contenido de cuarzo que aparece de color rojo, rocas carbonatadas de aspecto verde, rocas volcánicas con contenido de magnesio y hierro de tono morado.

Magnetometría aérea

Cuando existe presencia de materiales magnetizables y estos están cerca de la superficie del subsuelo, ocurre una alteración en el campo magnético de la tierra, al adaptar un magnetómetro a nuestro dron realizaríamos trabajos de prospección magnetométricos.

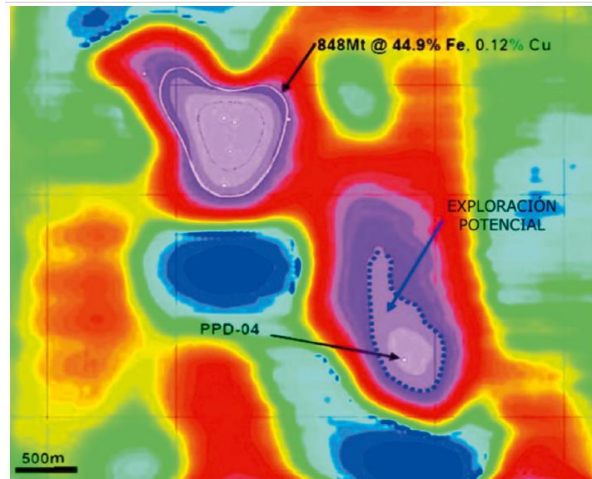


Figura 29. Mapa magnetométrico en un yacimiento metálico con presencia de Fe y Cu.

4.1.2. Control de operaciones transporte

Estos dispositivos nos ofrecen una posibilidad de ver de una manera diferente la operación minera que difiere de lo que estamos acostumbrados.

Los drones nos brindan una visión global amplia, logramos ver cuando un dumper carga en el frente de trabajo, la excavadora está preparada para asistirle, pero por ejemplo tenemos una situación de otra excavadora en otro punto opuesto de la mina, está paralizada sin producir porque el dumper hace un recorrido muy largo para descargar en chancadora, no existe una adecuada sincronización de equipos.

Los drones ofrecen un nuevo punto de vista la grabación es en tiempo real, esto ofrecerá al director facultativo la opción de corregir la coordinación entre equipos y maquinarias de línea amarilla.

Para obtener esta sincronía no se requiere de un gran equipo dron, ´por el contrario con un multirotor que esté en la capacidad de sobrevolar la mina cuando el facultado lo requiera sería suficiente, sumado a esto no es necesario que tenga sensores especiales, así el costo se reduce enormemente. [19]

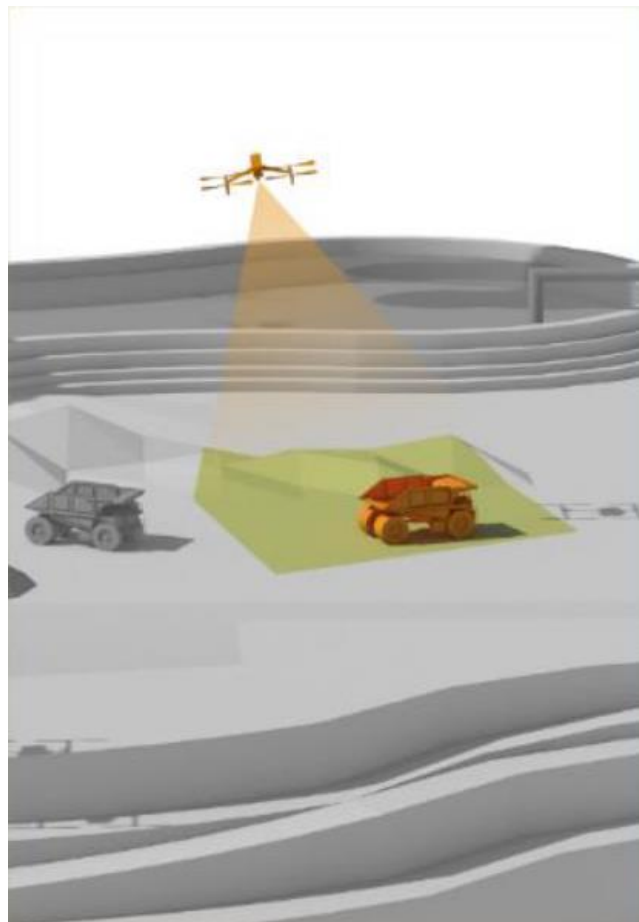


Figura 30. Gestión de equipos y maquinarias, monitoreo constante de la operación de transporte y acarreo.

4.1.3. Cálculo de Volúmenes

Se puede ofrecer información rápida e intuitiva, desde un punto de vista general de la mina, es decir podremos obtener datos volumétricos de las pilas y minerales extraídos; a través de una sola vista el facultado podrá verificar si algún acopio se agota demasiado rápido, o si se acumula y es necesario depurar.

Una solución tradicional sería realizar un levantamiento topográfico tradicional, por el contrario, con el uso de drones realizamos el cálculo de diferencias de volumen en modelos 3D de inspecciones; los beneficios que

obtendremos serian realizar un cálculo detallado de material extraído, esto sería inventariado posteriormente documentado, realizaríamos una supervisión de la producción, y finalmente identificaríamos un temprano retraso en el proceso de extracción de mineral. [20]

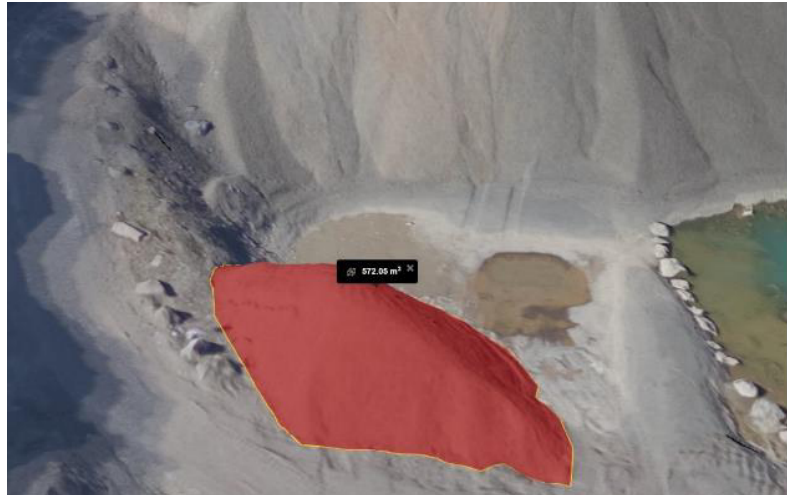


Figura 31. Cálculo y control de pilas y minerales extraídos, a través de la visión geoespacial.

4.1.4. Inspección técnica de chancadora y planta de tratamiento

Resulta no menos importante el uso de drones en la industria de inspección técnica.

Por medio de un dron multirotor lograríamos acercarnos a cualquier punto de las instalaciones sea chancadora o planta de tratamiento, donde creeríamos que sería totalmente inaccesible.

Los drones están equipados de una cámara de alta resolución, que nos permitirá observar el estado de las instalaciones, el estado de sus componentes, observaremos si es necesario reparar o cambiar alguna pieza, o si esta todo en perfectas condiciones.

También podemos darle un valor agregado a dron instalándole una cámara termográfica con el fin de reconocer mapas de calor, corroborar si la planta de tratamiento funciona adecuadamente o caso contrario presenta zonas que se sobrecalientan. [21]

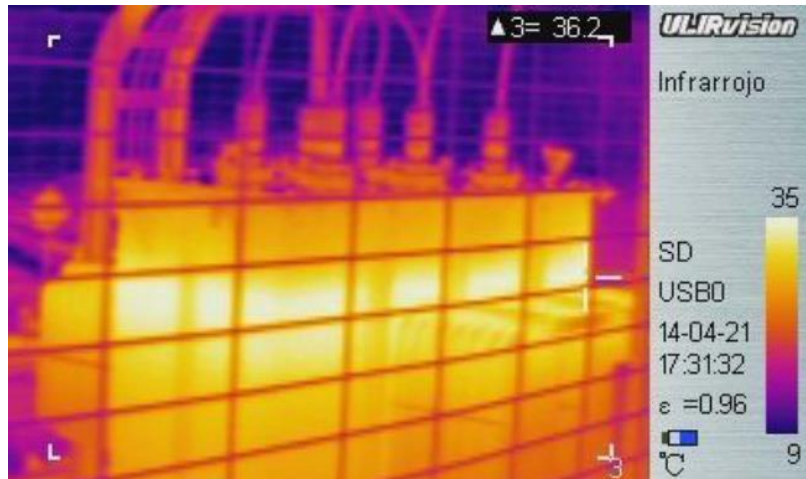


Figura 32. Inspección técnica con imágenes térmicas a través de un dron de una planta de tratamiento de mineral.



Figura 33. Inspección técnica con cámara termográfica, mediante dron de una torre de alta tensión.

4.1.5. Control Geotécnico y Geodésico

Es fundamental la estabilidad geotécnica, en terrenos de explotación y restaurados para garantizar la seguridad de la operación ante desprendimientos de tierras y rocas.

Por medio de drones, realizamos el seguimiento de taludes en fase de explotación, ante situaciones inseguras sea por diaclasas o fracturas que terminarían con desprendimiento de rocas de gran tamaño, ocasionando pérdidas materiales y recurso humano, llevando un control seguro en tiempo real de taludes restaurados podremos advertir anomalías, por último, también nos permitirá la detección de escombros sobredimensionados después de la voladura. [22]



Figura 34. Inspección del frente de explotación, detección automatizada de anomalías mediante dron.

4.1.6. Control de relaves

Si hablaríamos de la solución ante esta situación realizaríamos un levantamiento topográfico tradicional, pero utilizando un dron efectuaríamos un monitoreo hidrológico continuo, con un amarre geodésico preciso, verificaríamos la infraestructura, ante alguna desviación, fuga, fallas en los muros, filtraciones, deformaciones, etc.; el beneficio que obtenemos sería un menor riesgo para depósito de residuos, y una reducción de huella ambiental del paso de la industria minera en un entorno natural.

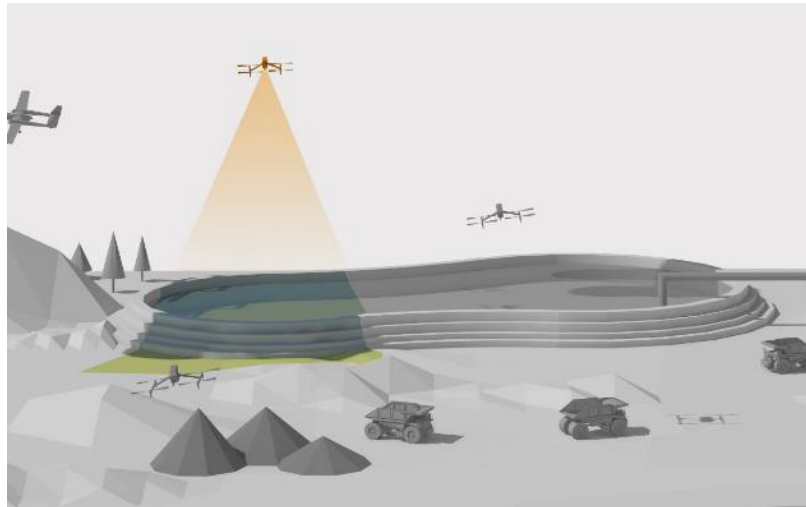


Figura 35. Inspección de las instalaciones de almacenamiento de residuos de mineral a través de drones.

4.1.7. Mantenimiento de fajas transportadoras

Por medio de la calidad de audio que nos ofrecen los equipos tecnológicos dron, verificamos los polines con fallas, las correas en mal estado, así también maquinarias defectuosas, por medio de las vibraciones superiores a los índices permitidos.

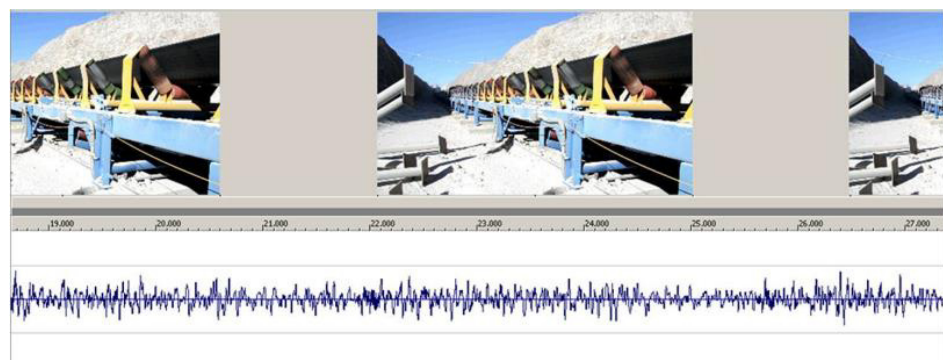


Figura 36. Inspección de fajas trasportadoras por medio de drones con calidad de audio.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Hipótesis General

“La implementación de un equipo tecnológico (Dron) mejora los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA, Morococha, Perú en el año 2020”.

Quedó manifestado en la figura 37 que la implementación de un equipo tecnológico dron, mejora los procesos productivos a través de la recolección de información, reducción de tiempo entre inspección –acción, inspección múltiple de toda la operación en una sola misión, mejora la productividad, asegura la trazabilidad de inspecciones, reduce la interacción hombre-máquina, controla incluso la voladura, ingresa a zonas inaccesibles para el ser humano.

Realizando la aplicación de una herramienta tecnológica dron, mejoramos los procedimientos productivos, ya que las soluciones basadas en este tipo de tecnología aportan una ciencia de datos de imágenes, aprendizaje automático, inteligencia artificial, y una plataforma de entrega de datos (resultados), para la optimización de la producción minera en general.

Que más que poder contar con un tipo de modelo tridimensional de la mina, así como su entorno aplicando ingeniería de precisión.

Este tipo de herramienta confiable presente en cada procedimiento productivo, nos brinda un inventario y supervisión de la mina, es decir recolecta información actualizada de sobre cualquier tipo de activo, para poder llevar una mejor planificación y gestión.

El uso de drones nos proporciona datos superiores, comparado con cualquier otra forma de medición en el levantamiento de información, los datos constituyen una superior precisión, ni que decir de la información resultante.

La adopción de este sistema ayudará a optimizar el mantenimiento de la mina y la reducción de costos de funcionamiento.

Mediante los análisis precisos de las imágenes advertiremos el estado de los equipos y maquinarias que operan en la mina, incluso en movimiento sin realizar pausas, para su respectiva evaluación y mantenimiento a programar.

Al realizar el modelado en 3D de la mina, encontraremos pendientes de pozos, zonas de deslizamiento de tierra, movimientos de rocas, fallas, fisuras o diaclasas, en frentes de explotación, caída de bloques, inspección técnica en alturas, ambientes que resultan tóxicos, donde exista presencia de gases, radioactividad, etc., es decir áreas peligrosas, esto no es inconveniente para el funcionamiento del equipo tecnológico dron, al contrario cuenta con sensores habilitados, que mejoran su maniobrabilidad en este tipo de terreno peligroso, hay que anteponer exponer al dron antes que nuestro recurso humano.

La facilidad de un dron nos permite acercarnos lo máximo posible a cualquier punto, como máquinas, instalaciones eléctricas, chancadora, fajas transportadoras, molinos, celdas de flotación, espesadores, plantas de tratamiento, así programaremos algún mantenimiento preventivo o correctivo, un valor agregado sería que la disposición de estos equipos están dotados de una calidad de audio superior, que nos permite percibir ruidos extraños que no son los habituales en equipos y maquinas en movimiento.

4.3. Discusión de Resultados

La implementación de un modelo tecnológico Dron, para mejorar los procedimientos productivos en la mina a cielo abierto, Minera Chinalco Perú S.A.; Morococha, 2020, se comenzó a utilizar en el año 2016 a modo de prueba, pero solamente con fines de Seguridad en la estabilidad de taludes de bancos, debido a los resultados que fueron totalmente positivos se está considerando llevarlos a un punto más amplio.

A través de este mecanismo se lograría tener el control en su totalidad de cada uno de los procedimientos productivos, obtener información en tiempo real, a menor costo y poder tomar decisiones lo antes posible.

Si se opta por la implementación de un modelo tecnológico Dron en cada uno de los procedimientos productivos, se lograría un ahorro sustancial económico, se mejoraría el proceso de mantenimientos en equipos y maquinarias.

Diversos autores citados en los antecedentes del problema, nos hablan de la aplicación de drones en el campo de la cartografía, hidrología, agricultura, seguimiento fitosanitario de masas forestales, extinción de incendios forestales, control de obras y evaluación de impactos, gestión de patrimonios y herencia cultural, seguridad y control de fronteras, mantenimiento de líneas eléctricas, auditorías energéticas con termografía aérea, periodismo, rescate, urbanismo, en fin innumerables usos, pero aún no se describen, las aplicaciones que tienen este tipo de aeronaves del tipo no tripuladas al sector de la minería, en sus diversos procesos productivos, temas que tratamos en el presente trabajo queremos dar a conocer el sin fin de aplicaciones que tienen los drones en el rubro minero.

4.3.1. Procesos productivos sin drones

En los procesos de una mina a cielo abierto de manera tradicional sin el uso de dispositivo dron, las inspecciones se realizarían de forma manual, accediendo a zonas peligrosas hasta donde se pueda, la información sería crítica, incompleta e imprecisa, el tiempo se alargaría, así como la mano de obra se incrementaría, la toma de decisiones se prolongaría la brecha sería cada vez más grande, por situaciones como estas los trabajadores no pueden obtener roles más valiosos, ni crear nuevas oportunidades para redirigir sus experiencias a otras tareas, que generan mayor impacto en la operación minera, también podemos mencionar el valor económico que resulta elevado; los que laboramos en mina sabemos el costo que genera un trabajo tradicional de prospección, por otra parte al hablar de estabilidad de taludes o pendientes pronunciadas no sabemos en qué momento podría realizarse un desprendimientos de bancos o derrumbes, sin los drones no tenemos una visión global de toda la operación minera, en cuanto a las máquinas y equipos una inspección tradicional toma demasiado tiempo, esto prolonga las reparaciones y sustitución de piezas, aun no se tiene un monitoreo de camiones, ni de calidad del aire, el control de polvo después de la voladura es deficiente.

4.3.2. Procesos productivos con drones

Los usos de drones así como las aplicaciones en los procesos productivos, mencionados en el presente trabajo se resumen en lo práctico de sus funcionalidad, su bajo costo operativo, el reemplazo de factor humano en

faenas peligrosas, la rapidez de diversas actividades, los drones utilizan un software que permite automatizarlo, se lanza y aterriza sin ninguna intervención humana, el dron realiza una inspección continua para estimar volumen de materiales, los drones parecen tener cada vez un papel importante en las operaciones mineras a nivel mundial, el siguiente paso es aplicarlo en minería subterránea.

4.3.3. Adopción de las decisiones

“Se opta por la implementación de un modelo tecnológico dron en la mina a cielo abierto Minera Chinalco Perú S.A., Morococha, 2020, debido a que brinda un sin fin de aplicaciones potenciales, para mejorar los procedimientos productivos, así obtener una minería más precisa, eficiente y sostenible ambientalmente.

PROCESO PRODUCTIVO	SIN DRON				CON DRON				OBSERVACION
	TIEMPO	COSTO	N° PERSONAL	PÉRDIDA	TIEMPO	COSTO	N° PERSONAL	PÉRDIDA	
Prospección	06 días	\$ 15 000 costo del trabajo \$ 6 000 costo del personal	10 personales	Parada de trabajo 24 horas, \$ 400 000	12 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 1 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	Después del 2do trabajo ya no se considera costo del equipo, debido a que la empresa realiza la compra del dispositivo Dron, el cual realiza 07 trabajos en los Procesos Productivos, la variación de costos y tiempo es muy considerable, ni qué decir de las paradas en la producción que generan enormes pérdidas.
Control de Operaciones Transporte	03 días	\$ 5 000 costo del trabajo \$ 3 000 costo del personal	5 personales	Parada de trabajo 12 horas, \$ 200 000	10 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 1 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	
Cálculo de Volúmenes	02 días	\$ 3 000 costo del trabajo \$ 3 000 costo del personal	5 personales	Parada de trabajo 12 horas, \$ 200 000	10 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 1 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	
Inspección Técnica de Chancadora y Planta de Tratamiento	05 días	\$ 10 000 costo del trabajo \$ 6 000 costo del personal	10 personales	Parada de trabajo 24 horas, \$ 400 000	24 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 2 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	
Control Geotécnico y Geodésico	06 días	\$ 15 000 costo del trabajo \$ 6 000 costo del personal	10 personales	Parada de trabajo 24 horas, \$ 400 000	12 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 1 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	
Control de Relaves	03 días	\$ 5 000 costo del trabajo \$ 3 000 costo del personal	5 personales	Parada de trabajo 12 horas, \$ 200 000	10 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 1 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	
Mantenimiento de faja transportadoras	05 días	\$ 10 000 costo del trabajo \$ 6 000 costo del personal	10 personales	Parada de trabajo 24 horas, \$ 400 000	24 horas	\$ 6 000 costo del equipo \$ 2 000 costo personal	02 personales	No existe, las labores no se detienen	

Figura 37. Cuadro comparativo de Procesos Productivos con y sin uso de Drones.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de la herramienta tecnológica de Dron, logra obtener activos digitales eficientes, en menor tiempo, costo y sin pérdidas, optimizando los procesos productivos en la mina a cielo abierto Minera Chinalco SA.
2. La implementación de un modelo tecnológico Dron, no solo consigue tomar datos, sino también permite estudiarlos, analizarlos, visualizarlos a detalle en tiempo real, de esta manera se convierte en información confiable, al alcance de cualquier usuario.
3. El uso de Drones minimiza los costos asociados a la operación, su uso mejora los procesos de control, de una manera rápida, segura y efectiva, se necesitaría de un reducido número de personas, minimiza la interrupción de labores en Operación.
4. Los drones son una importante alternativa en la supervisión de obras, hasta hace un tiempo estas labores eran muy peligrosas e inaccesibles para los trabajadores de las minas.
5. El empleo de un modelo tecnológico Dron mejora la calidad de la información, en tiempo real, hace tiempo se destinaba a tomar datos y valores en campo, de equipos y maquinarias en movimiento. Su rapidez permite tomar mejores decisiones frente a mantenimientos preventivos.
6. Después de haber recabado suficiente información, se ha elaborado una lista de las múltiples aplicaciones, en minería tanto en los procesos productivos como otras áreas, y son las siguientes: Prospección, topografía, control de operaciones, inspección técnica, prevención de riesgos laborales, control medioambiental, vigilancia, promoción audiovisual, servicios de emergencia y rescate.
7. Finalmente se puede concluir que el uso de este modelo tecnológico dron, se encuentra actualmente en pleno auge y desarrollo, las utilidades en mina ya las citamos en los capítulos anteriores, por ello veo la necesidad de transmitir estas aplicaciones, a las empresas mineras y proveedores de estos equipos, para difundir y fomentar su uso.

RECOMENDACIONES

1. Completar el estudio planteado con investigaciones de diseño experimental, resultaría interesante y muy productivo poner en práctica las múltiples aplicaciones descritas en el presente trabajo.
2. Resulta necesario en este tipo de equipo tecnológico dron contar con un sistema, CLOUD un acceso directo para poder visualizar los resultados de la información en cualquier lugar, tiempo y dispositivo.
3. Poner un especial cuidado en el momento de adquirir un dispositivo Dron, para los trabajos en minería, ya que los principales problemas que presentan estos equipos son: la duración de baterías, peso de baterías, y comunicación entre dron y operador, todo esto generaría una disminución en su óptimo rendimiento.
4. Debido a los constantes cambios en las tecnologías es conveniente usar nuevos instrumentos para futuras investigaciones, es el caso de Drones con tecnología Real Time Kinematic (RTK), que son los más usados en Ingeniería, ya que resultan más eficientes en los levantamientos topográficos, por su precisión geo espacial y mayor autonomía de vuelo.
5. Compartir las investigaciones realizadas en Minera Chinalco S.A., en especial las relacionadas con las tecnologías, en las diferentes áreas del proyecto, no solamente en los procesos productivos, para transferir estos conocimientos, y sirvan como sustento para los trabajos realizados con dispositivos Drones.
6. El procesamiento de la información recolectada con el modelo tecnológico Dron, podría ser complementada con un software o sistema para llevar un adecuado registro de los datos encontrados en cada uno de los procesos productivos de la mina, ante cualquier modificación o mantenimiento realizado.

Referencias Bibliográficas

1. **SANCHEZ GARCIA, Manuel.** (17/09/2017). "Proyecto Final de Carrera Uso y Aplicaciones de Drones en Minería". Manresa – España. Facultad de Ingeniería de Minas. (Capítulo 03, pp. 09-22).
2. **MAZUR, Michal, AÑEZ, Jorge Mario, TREJOS, Jorge.** (febrero 2019). "Soluciones Generadas por Drones para Minería". Cali, Colombia. PWC Drone Powered Solutions. (Capítulo 02, pp. 09).
3. **Fernando, PAZ ZAGACETA** (12-01-2018). "Automatización y Uso de los Drones en la Supervisión de Obras y MDT". Zaragoza, España. Ponencia Automatización, Drones en la Supervisión de Obras, MDT. (Capítulo 03, pp. 50-55).
4. **DIAZ CANTOS Oscar.** (2014-2015). "Drones y su estudio en el área de seguridad y salud laboral". Elche – España. Universidad Miguel Hernández, e Master Universitario. Publicado para la Prevención de Riesgos Laborales. (Capítulo 03, pp. 95).
5. **ALVAREZ VIEDNA Tomas Ignacio.** (2018). "Proyecto para el concurso Alpha Mining del Área de Minería y Metalurgia INACAP 2018" Copiapó – Chile. (pp. 90-97).
6. **Omar MONROY, Christopher Clark.** (2018). "La verdad de los Drones en la Industria Minera", 1 Rocket Mine de México, Díaz Ordaz 402 Monterrey NL. (Capítulo 04, pp. 09-30).
7. **PINTO D. Rodrigo.** (2016). "Drones la Tecnología, Ventajas y sus Posibles Aplicaciones" Sonami. (pp, 01-09).
8. **POSTIGO HUANQUI, Sergio Renato.** (dic. 2018). "Vehículo Aéreo no Tripulado para Vigilancia en ambientes cerrados con detección de personas y obstáculos a su alrededor". Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería. (Capítulo 03, pp. 82-95).
9. **JORGE BERROCAL, Richard Rubén.** (septiembre 2019). "Optimización en el Proceso de Cartografía con Tecnología Drones en La Compañía Minera Barrick Misquichilca S.A.". Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil. (Capítulo 03, pp. 105-111).
10. **FLORENTINO SORIANO, Ronald Cristian.** (2017). "Aplicación de Fotogrametría con RPAS para Mejorar la Efectividad en Cuantificación de la Explotación en la Cantera Santa Genoveva -2016". Lima – Perú. Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Civil. (Capítulo 03, pp. 75-80).
11. **FALCONI CANEPA, Giancarlo.** (29/01/2019). "Drones en Minería", Innovación Transformación Digital Productos Startups y Negocios Digitales. (pp. 20-25).

12. **DEL VALLE, José Carlos.** (2018). “Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia”. Lima. Vicepresidente de Finanzas y Administración de Antamina, para la revista Semana Económica.
13. **PARRA LAVADO, Regner Raúl.** (2019). La tesis “Modelo Analítico de los Parámetros para la Fotogrametría con Drones en obras viales”. Huancayo – Perú. Universidad Peruana Los Andes. Maestría en Ingeniería Civil. (Capítulo 03, pp. 80-84).
14. **CHAVEZ JULIAN Jessica, MORENO GASPAR, Erika Aracely.** (junio 2018). “Implementación de un Dron inteligente detector de gases tóxicos en las minas subterráneas”. Huancayo – Junín. Universidad Continental, Facultad de Ciencias e Ingeniería. (Capítulo 03, pp. 105).
15. **HUALPA ZARATE, Junior, ARROYO SOLANO, Marco.** (2018). “Fotogrametría, Geodesia y Topografía con Drones”. Huancayo – Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Civil. (Capítulo 03, pp. 57-60).
16. **SANCHEZ CACEDA, Luis.** (26/03/2019). “Sobrevolando los Riesgos: Uso de drones en la gestión de riesgos de desastres naturales”. Huancayo- Junín. Universidad Continental, Escuela de Posgrado. (Capítulo 03, pp. 50-58).
17. **ROJAS CORNEJO, Mariana.** (octubre 2009). “Descripción cuantitativa de los procesos de extracción y reducción de mineral en la minera de cobre CODELCO”. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería. (Capítulo 02, pp 13-15).
18. **RUALES SALAZAR, Diego Neptalí.** (04-01-2018). “Pertinencia del uso de Drones en la Caracterización Geo Espacial del módulo dos juntas del riego de la Comuna Morlán, Imbabura”. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte. Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. (Capítulo 05, pp. 72-74).
19. **ROMERO PAUCAR, Royer.** (octubre 2016). “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.” Huancayo, Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas. (Capítulo 03, pp. 109-112).
20. **FLORES BONIFACIO, Franco.** (2019). “Implementación de un modelo de bloques en los stocks de mineral en Minera Chinalco Perú”. Huancayo, Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas. (Capítulo 03, pp. 90-95).
21. **Williams, W. y Harris, and M.** (2002): ‘The Challenges of Flight-Testing Unmanned Air Vehicles’. Systems Engineering, Test & Evaluation Conference. Sydney. Australia.

22. Barnard, J. (2007): 'The use of Unmanned Air Vehicles in Exploration and Production activities. Barnard Microsystems Limited.