I

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"CONTROL DE DISEÑO EN TAJO CON DRON PHANTOM IV PRO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS"

PRESENTADO POR:

EDGARDO OSWALDO NINA RAMOS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"CONTROL DE DISEÑO EN TAJO CON DRON PHANTOM IV PRO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS"

Examen Profesional aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N°505-2022-UNAM, de fecha 15 de julio de 2022.

ASESOR .....
Dr. Arquímedes Leon Vargas Luque.

BACHILLER .....
Edgardo Oswaldo Nina Ramos.

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
SECRETARIA FEDATARIO

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 004

ACTA DE TITULACIÓN

I. Modalidad:

Examen Profesional

II. Documento de aprobación:

Resolución de Comisión Organizadora N°505 - 2022 - UNAM

Fecha: 15-07-2022

III. Título de Informe de Examen Profesional:

"CONTROL DE DISEÑO EN TAJO CON DRONE PHANTOM IV PRO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS"

Bachiller: Edgardo Oswaldo, NINA RAMOS

Asesor Principal: Dr. Arquímedes León, VARGAS LUQUE

Co-Asesor :

IV. Se dictamina con las siguientes notas:

Examen Escrito: 15 Entrevista: 17 Promedio: 16

Promedio en letras: Dieciséis por lo que: Sí [x] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 08:30 horas, del 09 de agosto del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado.

Dr. Marcos Luis, LUISDE PÉREZ
Presidente del comité de grados y títulos
de Examen Profesional
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Dr. Arquímedes León, VARGAS LUQUE
Director
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Edgardo O., NINA RAMOS
Bachiller

Dr. Arquímedes León, VARGAS LUQUE
Asesor
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Oswaldo y Elvira por su apoyo incondicional, y a mi esposa e hijo por inspirarme a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Moquegua, por haber permitido desarrollarme intelectualmente, así como a los docentes Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por los conocimientos y consejos impartidos los cuales impactaron de manera positiva en mi formación profesional.

A mis compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniera de Minas por el permanente apoyo brindado.

RESUMEN

El presente informe de Examen Profesional se realizó en función a la problemática que existe con la seguridad al ejecutar labores de levantamiento topográfico durante el control de diseño del tajo, en zonas de riesgo, donde se compromete la integridad de los colaboradores de Mining Company Services, Empresa que presta servicios de Topografía a Southern Perú Copper Corporation en la Unidad Minera Cuajone.

Teniendo como objetivo principal asegurar y mejorar la integridad del personal al momento de realizar los levantamientos topográficos del control de diseño en Mina Cuajone mediante la implementación de un Dron Phantom IV Pro.

Para materializar el objetivo se recolectó información de las operaciones de levantamiento topográfico en campo y se determinó las características principales del Dron Phantom IV Pro, para la ejecución de los trabajos en el tajo Cuajone.

Finalmente, mediante la implementación de un Dron Phantom IV Pro se pudo realizar los trabajos topográficos de forma remota, desde un punto seguro y garantizando la integridad física de los trabajadores de la empresa.

Palabras Clave: Dron, Integridad del Trabajador, Topografía, Control del diseño.

ABSTRACT

This Professional Examination report was carried out based on the problems that exist with safety when executing topographic survey tasks during the design control of the pit, in risk areas, where the integrity of the collaborators of Mining Company Services is compromised. Company that provides Topography services to Southern Peru Copper Corporation in the Cuajone Mining Unit.

Having as main objective to ensure and improve the integrity of the personnel when carrying out the topographic surveys of design control in Mina Cuajone through the implementation of a Phantom IV Pro Drone.

To materialize the objective, information was collected from the topographic survey operations in the field and the main characteristics of the Phantom IV Pro Drone were determined, for the execution of the works in the Cuajone pit.

Finally, through the implementation of a Phantom IV Pro Drone, it was possible to carry out the topographical work remotely, from a safe point and guaranteeing the physical integrity of the company's workers.

Keywords: Drone, Worker Integrity, Topography, Design Control.

ÍNDICE

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTO IV

RESUMEN V

ABSTRACT VI

ÍNDICE VII

ÍNDICE DE FIGURAS X

ÍNDICE DE TABLAS XI

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS XII

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

ASPECTOS GENERALES 2

1.1.Descripción de la Empresa 2

1.1.1.Ubicación 2

1.1.2.Accesibilidad 3

1.1.3.Visión y Misión 3

1.1.4.Historia 4

CAPÍTULO II 5

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 5

2.1.Levantamientos Topográficos 6

2.1.1.Levantamientos en Cortes de Pala – Cargador LT 6

2.1.2.Levantamientos de Stocks y Botaderos 7

2.1.3.Levantamiento de Perímetro de Proyectos de Perforación .. 8

2.2.Marcaciones Topográficas 9

2.2.1.Marcación de Pre-corte 9

2.2.2.Marcación del Perímetro de Proyecto para Perforar 9

2.2.3.Marcación de los Polígonos de Mineral..... 10

2.2.4.Marcación de Material sin Disparar o para Direccionar el Minado 11

2.2.5.Marcación de Tiros Cortados y Back up..... 11

2.3.Controles Topográficos en Mina..... 12

2.3.1.Control de Perímetro de Proyecto de Voladura Post - Disparo..... 12

2.3.2.Control de Muestras de Mineral 13

2.4.Labores Críticas en Levantamientos Topográficos..... 13

2.4.1.Levantamiento de Zonas de Minado 14

2.4.2.Levantamiento de Taludes 14

2.4.3.Levantamiento de Proyectos Disparados Post-Voladura ... 14

2.5.Dron Phantom IV Pro y su aplicación 15

2.5.1.Dron 15

2.5.2.Aplicación en los levantamientos 17

CAPÍTULO III 20

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 20

3.1.Antecedentes 20

3.1.1.Antecedentes Internacionales 20

3.1.2.Antecedentes Nacionales..... 22

3.2.Objetivos 24

3.2.1.Objetivo General 24

3.2.2.Objetivo Especifico 24

3.3.Justificación 24

CAPÍTULO IV 25

DISCUSIÓN Y APORTES 25

4.1.Discusión 25

4.2.Mejoras con el Dron Phantom IV Pro 26

4.2.1.Mejora en Zonas de Carguío, Botadero y Stock 26

4.2.2.Mejora en al levantar Áreas Disparadas 26

4.2.3.Mejora en el Control Geotécnico 27

4.2.4.Mejora en la Supervisión 28

4.2.5.Comparativo entre equipo Manual GPS y Dron 29

4.2.6.Mejora en la información suministrada a operaciones 29

CONCLUSIONES 33

RECOMENDACIONES 34

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 35

ANEXOS 38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - *Ubicación Geográfica de Mina Cuajone.* **2**

Figura 2 - *Realizando Levantamiento en Cresta de Pala 04* **7**

Figura 3 - *Pala 01 en STOCK de mineral 5%* **7**

Figura 4 - *Camiones descargando en el Botadero 5%* **8**

Figura 5 - *Perforadoras dentro del área del Proyecto de perforación* **8**

Figura 6 - *Topógrafo y ayudante realizando marcaciones de Pre-Corte* **9**

Figura 7 - *Proyecto de perforación delimitado* **10**

Figura 8 - *Polígonos de mineral en Pala 04* **10**

Figura 9 - *Estacas protegiendo material sin disparar en Pala 04* **11**

Figura 10 - *Back Up marcado en proyecto disparado* **11**

Figura 11 - *Revisión del perímetro del proyecto disparado* **12**

Figura 12 - *Obtención de Imágenes de Superficie* **16**

Figura 13 - *Trayectoria programada del Dron en Pix4d* **17**

Figura 14 - *Dron PHANTOM IV Pro* **18**

Figura 15 - *Controlador de Dron Phantom IV Pro* **18**

Figura 16 - *Operación de Dron Phantom IV Pro* **19**

Figura 17 - *Zonas de carguío de Pala 6 en Fase8* **26**

Figura 18 - *Levantamiento de Superficies Disparadas* **27**

Figura 19 - *Levantamiento de taludes con Dron* **288**

Figura 20 - *Vía de acarreo transitada por camiones* **300**

Figura 21 - *Vista de perfil diferenciando el levantamiento entre GPS y Dron* **311**

Figura 22 - *Superficie a partir de GPS* **311**

Figura 23 - *Superficie a partir de Dron* **322**

Figura 24 - *Vista de material esponjado* **322**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - *Accesibilidad* **..... 3**

Tabla 2 - *Equipos de operación manual de topografía* **..... 6**

Tabla 3 - *Peligros y Riesgos en zonas de levantamiento* **..... 13**

Tabla 4 - *Comparación entre GPS y Dron* **..... 29**

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

MDT: Modelo Digital de Elevaciones.

GPS: Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).

VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado.

RPA: Remotely Piloted Aircraft (Aeronaves pilotadas a Distancia).

CSV: comma separated values (Valores Separados por Comas).

IPERC: Identificación de peligros y Evaluación de Riesgos y Controles.

S.A.C.: Sociedad Anónima Cerrada.

INTRODUCCIÓN

En el Último Siglo las empresas Mineras han optado por optimizar sus operaciones en todos los sectores, en la búsqueda de incrementar productividad y seguridad de sus operaciones, siendo el caso de la implementación de tecnologías en las áreas de control y diseño del tajo; el uso de equipos aéreos de operación remota (Drones) así como un Sistema de Posicionamiento Satelital pueden captar Imágenes de alta resolución, permitiendo trabajar de manera rápida, versátil, confiable y precisa durante la ejecución de las operaciones Mineras.

En el presente Informe se describe sobre la implementación de un Dron Phantom IV Pro para asegurar y mejorar la seguridad de los colaboradores de la empresa contratista, durante la ejecución de levantamientos topográficos del control de diseño del tajo, en zonas de mayor riesgo en el Tajo Cuajone.

En el Capítulo I, Se detalla los aspectos generales de la empresa Contratista Mining Company Services.

En el Capítulo II, Se describe las actividades que fueron realizadas en el área de topografía en la Unidad Minera Cuajone.

En el Capítulo III, Se presentan los antecedentes, que son los resultados de otras investigaciones y la importancia que tienen en relación a la Implementación de un Dron.

En el Capítulo IV, Se Muestran los aportes y resultados con respecto a la implementación de un Dron Phantom IV Pro y el impacto sobre la seguridad en los levantamientos topográficos.

Y finalmente en el Capítulo V, se ubican las conclusiones del Informe y las recomendaciones en la implementación de un Dron Phantom IV Pro.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción de la Empresa

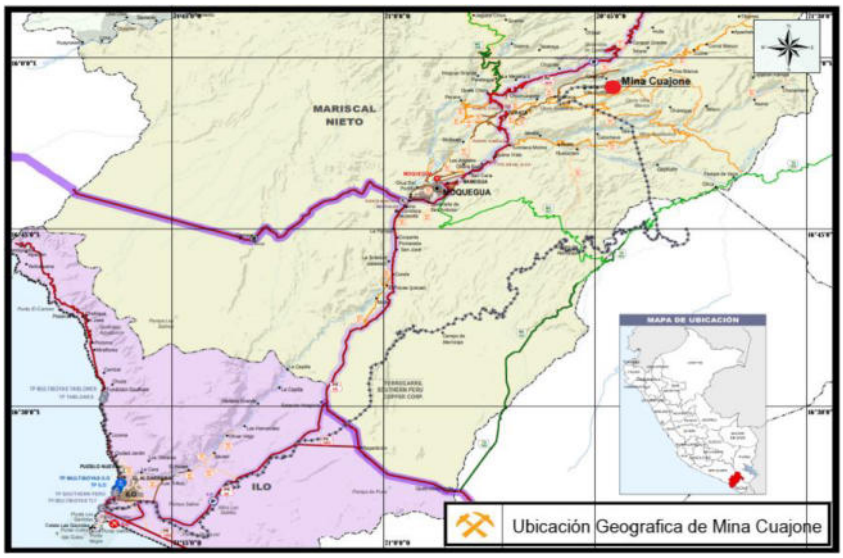
1.1.1. Ubicación

Oficinas Operativas de la Empresa Mining Company Services S.A.C. realiza sus actividades de topografía dentro de la Unidad Minera Cuajone al sur del Perú, en el departamento de Moquegua, en la provincia de Mariscal Nieto y distrito de Torata.

La Unidad Minera Cuajone está representada por las coordenadas UTM WGS84 zona 19 sur; 317,685 E 8,117,350 N y 319,515E 8,115,815 N, perteneciente a la carta nacional 35-u; Se emplaza entre los 3 150 y 3 500 m.s.n.m. (Figura 1).

Figura 1

Ubicación Geográfica de Mina Cuajone.



Nota: Adaptado de INGEMMET, 2020.

1.1.2. Accesibilidad

Para acceder a las oficinas de la empresa MINCOSER S.A.C. que está ubicado dentro de la Unidad Operativa Cuajone es por vía terrestre:

Partiendo desde cualquier ciudad de Perú se debe llegar hasta el departamento de Moquegua (Tabla 1), posteriormente se debe tomar la ruta hacia Torata y luego a la mina Cuajone.

Tabla 1

Accesibilidad

Tramo	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Moquegua - Samegua	5 km.	5 min.	Asfaltada
Samegua - Torata	70 km.	45 min.	Asfaltada
Torata - Cuajone	15 km.	30 min.	Asfaltada

Nota: Elaborado por el Autor.

1.1.3. Visión y Misión

Visión

Brindar soluciones integrales a sus clientes con compromiso, calidad y altos estándares en el cuidado de la seguridad, medio ambiente y responsabilidad social.

Misión

Ser Empresa líder a nivel nacional en brindar soluciones integrales y seguras a todos sus clientes.

1.1.4. Historia

La empresa Mining Company Services S.A.C. inicio sus actividades en mayo del 2002 iniciando sus primeros trabajados en los rubros de transporte de carga por carretera, y actividades de arquitectura e ingeniería.

Convirtiéndose en una empresa especializada en brindar soporte profesional, técnico y operativo para los procesos mineros, como:

- Lixiviación ácida o alcalina de minerales oxidados de cobre o auríferos.
- Trabajos en termo-fusión de tuberías, instalación y mantenimiento de sistemas de riego por aspersión y goteo, e instalación de geo-sintéticos para pads de lixiviación entre otros.
- Perforación DTH (con martillo de fondo), Perforaciones de pre-corte.
- Topografía y muestreo de minerales y blastholes.
- Topografía estructural mecánica, aérea mediante equipos aéreos no tripulados.
- Trabajos geotécnicos.
- Reparación de planchas en INOX y cobre.
- Mantenimiento de sistemas de lixiviación.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

En el área de topografía en la empresa Mining Company Services se realizó actividades relacionadas al control de diseño del tajo como son: levantamientos, marcaciones y controles topográficos, que son de gran importancia para el planeamiento diario de las operaciones en la Unidad Minera Cuajone.

También en trabajos de apoyo para las distintas áreas como: Geotecnia, perforación y voladura; que se encargan del control de diseño y operaciones dentro del Tajo.

Las actividades del área de topografía se realizan principalmente en los frentes de carguío, en zona de mineral y desmonte donde se ubican los equipos de carguío los cuales tienen distintas capacidades de cucharon; dichas actividades topográficas son ejecutados por 02 cuadrillas respectivamente, los días lunes, jueves y primeros días de cada mes; o cuando el área de planeamiento lo considere necesario.

Todas las actividades de campo se realizan con un mínimo de 02 integrantes (01 Topógrafo y 01 Ayudante de Topografía) los cuales están preparados para la ejecución de actividades topográficas dentro y fuera del tajo.

Cada cuadrilla de trabajo cuenta con sus respectivos equipos manuales de alta precisión para realizar las actividades rutinarias, y se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Equipos de operación manual de topografía

EQUIPOS	MODELO
Gps receptor TRIMBLE	R10
Gps controlador TRIMBLE	TSC3
Gps controlador TRIMBLE	TSC7
Radio repetidora externa TRIMBLE	TDL 450H

Nota: Elaborado por el Autor.

Se describe las actividades realizadas en el área de topografía, las cuales dan continuidad a las operaciones de la Unidad Minera Cuajone:

2.1. Levantamientos Topográficos

Se ejecuta de forma diaria, semanal y mensual dependiendo del tipo de trabajo o cuando el área de Ingeniería requiera actualizaciones topográficas del tajo. Los archivos generados por el GPS Controlador deberán exportarse en formato CSV.

Se menciona a continuación las distintas actividades relacionadas a levantamientos topográficos:

2.1.1. *Levantamientos en Cortes de Pala – Cargador LT*

Ya sea en una zona mineralizada o de material estéril, donde opera una Pala (Figura 2) o cargador LT, estos levantamientos se ejecutan diariamente en la cresta y toe del frente de carguío, y la información que es recolectada por el GPS se envía al área de Ingeniería, para poder elaborar el Plan Diario.

Figura 2

Realizando Levantamiento en Cresta de Pala 04



Nota: Elaborado por el Autor.

2.1.2. *Levantamientos de Stocks y Botaderos*

Los levantamientos en Stocks se realizan de manera similar a la zona carguío de una pala. Al momento de ejecutar el levantamiento en cresta del STOCK 5% (Figura 3), esta se realiza a 2 m. del borde por seguridad del topógrafo, ya que el Stock de Mineral está conformado de material suelto proveniente del Tajo (baja cohesión).

Figura 3

Pala 01 en STOCK de mineral 5%



Nota: Elaborado por el Autor.

Al realizar levantamientos en Botadero (Figura 4), se tiene como objetivo controlar el avance de deposición de material estéril y el nivel de piso, el cual debe mantenerse actualmente en la cota 3400.

Figura 4

Camiones descargando en el Botadero 5%



Nota: Elaborado por el Autor.

2.1.3. *Levantamiento de Perímetro de Proyectos de Perforación*

El topógrafo asistido por su ayudante, realizan el levantamiento del área de perforación posterior a que se haya botado con un cargador la berma de protección (Figura 5) para limitar el acceso de vehículos livianos, así como los camiones de acarreo, y esta información recolectada por el GPS se envía al Área de Ingeniería para que pueda realizar la constatación de los límites del proyecto o de alguna reconfiguración de los taladros primarios.

Figura 5

Perforadoras dentro del área del Proyecto de perforación



Nota: Elaborado por el Autor.

2.2. Marcaciones Topográficas

Para la ejecución de marcaciones en mina, el área de ingeniería envía los archivos correspondientes en formato CSV (Delimitado por comas) para poder cargarlo en el equipo controlador. Estos trabajos son: Pre-corte, Mallas de Perforación, Notas de CT, Polígonos, Limitaciones de Carguío, cabeza y pie de rampa entre otras.

Cualquier actividad topográfica que se realice en una zona donde se esté dando la operación de equipos, debe solicitarse permisos correspondientes a los supervisores encargados del frente de operación.

2.2.1. *Marcación de Pre-corte*

La marcación de pre-corte se realiza en mina con el apoyo de un ayudante, en la Figura 6 se observa al Topógrafo dejando marcas con pintura spray de color rojo y una estaca donde se coloca la numeración, ángulo de inclinación y profundidad respectiva.

Figura 6

Topógrafo y ayudante realizando marcaciones de Pre-Corte



Nota: Adaptado de **"**Topografía Aplicada en la Unidad Minera Cuajone" - Informe de Prácticas, Nina E. (2020).

2.2.2. *Marcación del Perímetro de Proyecto para Perforar*

La marcación del perímetro se realiza con chutas pintadas con spray rojo, para que así Supervisión de Perforación pueda habilitar el área, conformando la berma de protección como se puede observar en la Figura 7.

Figura 7

Proyecto de perforación delimitado



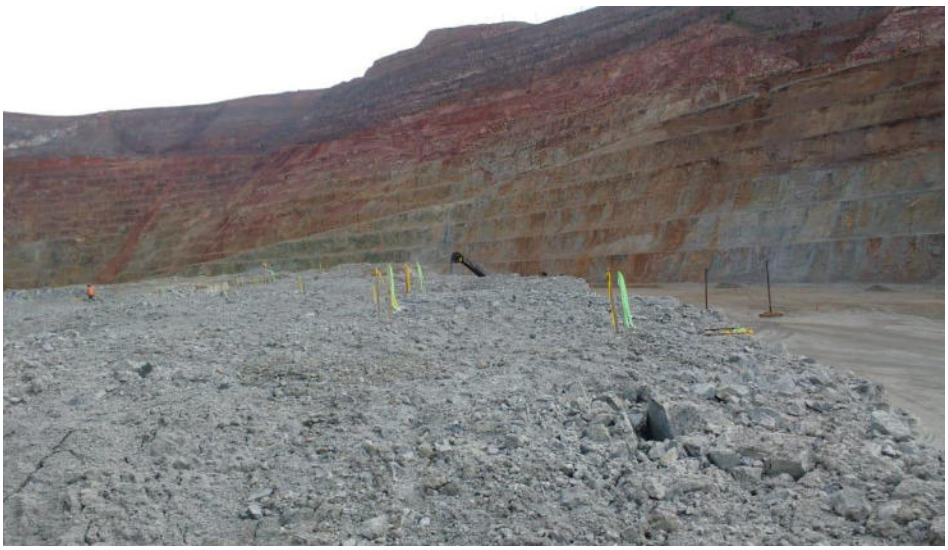
Nota: Elaborado por el Autor.

2.2.3. *Marcación de los Polígonos de Mineral*

Se realiza con el uso de la data proporcionada por Ingeniería y un plano donde figura la información de cada polígono, y las limitaciones entre el mineral de distinta ley (Figura 8) útiles para el carguío, además de estacas grandes, medianas y cintas de colores donde se coloca la información de polígonos.

Figura 8

Polígonos de mineral en Pala 04



Nota: Elaborado por el Autor.

2.2.4. *Marcación de Material sin Disparar o para Direccionar el Minado*

Marcación para proteger material sin disparar, direccionar el minado y proteger rampas o accesos, el marcado se realiza con estacas medianas y cinta roja (Figura 9) de acuerdo a la prioridad de operaciones o del plan diario.

Figura 9

Estacas protegiendo material sin disparar en Pala 04



Nota: Elaborado por el Autor.

2.2.5. *Marcación de Tiros Cortados y Back up*

Para la identificación de los tiros cortados y Back Up que se generan posterior a la voladura, se coloca un estacón con cintas de color rojo y amarillo, logrando identificar la ubicación del taladro como se muestra en la Figura 10, y poder tener los cuidados del caso, al momento de realizar el minado.

Figura 10

Back Up marcado en proyecto disparado



Nota: Elaborado por el Autor.

2.3. Controles Topográficos en Mina

Para los controles respectivos, el área de Ingeniería envía los archivos en formato CSV para poder cargarlo al Equipo Controlador (GPS). Para la ejecución de estos trabajos, el topógrafo ubica los puntos en campo que el equipo le indica y el ayudante apoya con la colocación de estacas medianas, en las que escribe la información del control respectivo, el cual le será útil al supervisor de operaciones.

Los controles se realizan en diferentes zonas del tajo como: control de toes y crestas de diseño de cada talud conforme la pala termina de Minar la zona; controles post-voladura; control de pendientes de Rampas en interior Mina y taludes en botaderos.

2.3.1. Control de Perímetro de Proyecto de Voladura Post - Disparo

El control se realiza posterior al disparo marcando los puntos del siguiente proyecto de perforación, de encontrarse estos puntos dentro del área donde la voladura dejo afectado la superficie (superficie esponjada o superficie hueca), este se reporta y dependiendo del supervisor de perforación o de cada situación se determina si se realiza una limpieza, se rellena o se realiza un levantamiento para el respectivo ajuste del siguiente proyecto como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Revisión del perímetro del proyecto disparado



Nota: Adaptado de **"**Topografía Aplicada en la Unidad Minera Cuajone" - Informe de Prácticas, Nina E. (2020).

2.3.2. Control de Muestras de Mineral

Para realizar el control de las muestras, se constata la ubicación de los taladros en el GPS y así asignarle la etiqueta correspondiente a cada bolsa con material que se envía a laboratorio posteriormente, esto a la vez se marca en un plano para el control de muestreo y salidas a concentradora.

2.4. Labores Críticas en Levantamientos Topográficos

Los trabajos topográficos tienen como principal objetivo suministrar información a las áreas involucradas a las operaciones para ejecutar trabajos en diferentes zonas del tajo como: frente de carguío, botaderos, stocks, vías, taludes, además de otros trabajos relacionados al control de diseño del tajo, los cuales son ejecutados de manera manual con un GPS diferencial (ANEXO D) y con Equipo Dron IV Pro, ambos equipos que entregan información de alta precisión.

Cada trabajo topográfico tiene distinto nivel de riesgo y peligro como se pueden observar en la Tabla 3, ANEXO A y ANEXO B, dichos trabajos están relacionados principalmente a los equipos que operan en la cercanía, inestabilidad de los taludes que tienen una inclinación de 70º y una altura de 15 metros, superficies accidentadas complican la transitabilidad de los colaboradores.

Tabla 3

Peligros y Riesgos en zonas de levantamiento

PELIGRO	RIESGO
Pala o Cargador en frente de carguío.	Aplastamiento, atrapamiento y golpeado por cucharón.
Equipos en movimiento.	Aplastamiento o atropello.
Taludes inestables.	Caída de rocas, deslizamientos y aplastamiento.
Superficies irregulares.	Caída a distinto nivel.

Nota: Elaborado por el Autor.

Otros peligros que están relacionados a las operaciones de levantamientos topográficos en el tajo, es el polvo y ruido dependiendo de la aproximación del topógrafo a un equipo que está operando en la zona en la cual se va a realizar un levantamiento; el ruido y el polvo pueden generar enfermedades ocupacionales como los son silicosis en el caso del polvo y pérdida auditiva por altos niveles de ruido por parte de los equipos, es por eso que se deben aplicar los controles respectivos como lo son el uso de Equipos de protección personal (tapones auditivos y respiradores con filtro contra el polvo).

Durante la ejecución de labores topográficas, existen riesgos los cuales podrían afectar al topógrafo cuando hace empleo del GPS diferencial el cual es un equipo manual, se menciona a continuación:

2.4.1. Levantamiento de Zonas de Minado

Al minar la pala, sea en zonas mineralizadas o desmonte, el equipo carga material fragmentado generando superficies verticales inestables (cara de banco) de las cuales pueden desprenderse material (caída de rocas) de diferente tamaño el cual puede generar daños irreparables al topógrafo en cuanto a su integridad física, este levantamiento se realiza tanto en el Toe como en la cresta para controlar el avance del equipo de carguío y realizar el plan de minado diario por parte del área de Planeamiento.

2.4.2. Levantamiento de Taludes

Para controlar y actualizar la topografía de los taludes, estos son en su mayoría inestables ya que hay presencia de rocas semi-desprendidas, y de superficies accidentadas que pueden significar un peligro para el topógrafo y su ayudante, que a su vez apoya como vigía ante cualquier evento de caída de rocas.

2.4.3. Levantamiento de Proyectos Disparados Post-Voladura

Al momento de hacer un control y levantamiento de un proyecto disparado, para conocer el impacto que tuvo la voladura sobre el terreno, y determinar si existe sobre rotura, aquí el topógrafo y su ayudante podrían estar expuestos a una contaminación por gases provenientes de la voladura, así como de superficie accidentada e inestable que puede comprometer su seguridad.

2.5. Dron Phantom IV Pro y su aplicación

2.5.1. Dron

A continuación, se describe aspectos importantes relacionados al Dron como sus componente y aplicaciones dentro del rubro minero operacional.

Este equipo También es denominado como VANT o Vehículo Aéreo No Tripulado, son equipos con capacidad de ejecutar vuelos de manera semiautónoma ya que se debe programar una ruta de vuelo.

El dron Phantom IV Pro se aplicó para realizar la captura de imágenes de alta resolución, por su capacidad de ejecutar vuelos para captar dichas imágenes, y por su facilidad en su operación y maniobrabilidad al realizar los trabajos en campo.

Componentes de un Dron Phantom IV Pro. El dron tiene principales componentes para que pueda ejecutar los vuelos de forma eficiente, teniendo el cuidado especial de todos los componentes, además de realizar siempre un mantenimiento preventivo (ANEXO C), son:

- Chasis.
- Motores.
- Reguladores.
- Controlador de Vuelo.
- Emisora RC.
- Hélices.
- Baterías.

Aplicaciones del Dron IV Pro. La aplicación del Dron ha permitido levantamientos con un alto grado de precisión y detalle, y los cuales han permitido obtener trabajos como:

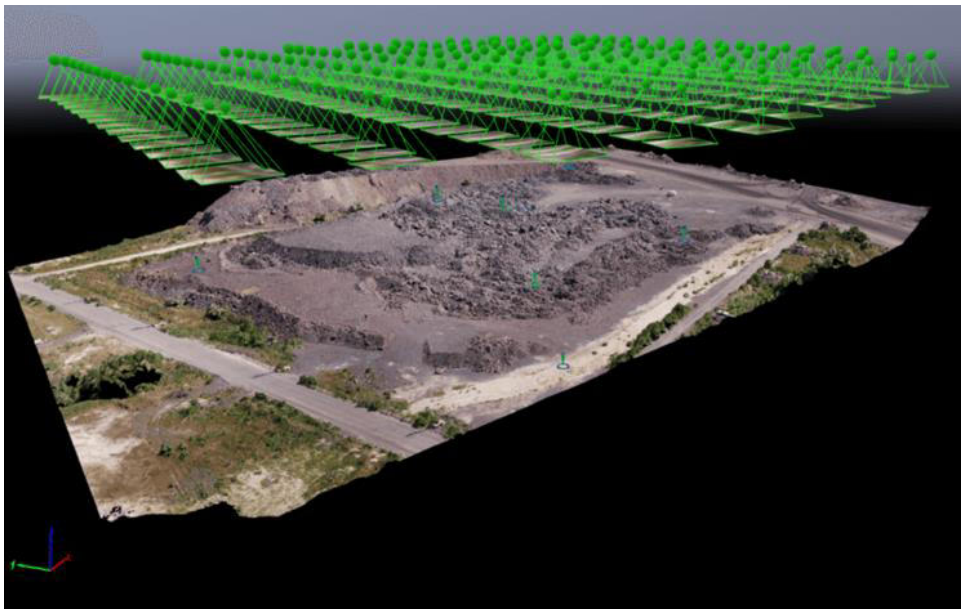
- Topografía inicial.
- Modelado 3D para diseño.
- Cálculo de Movimiento de Tierras.
- Cubicación de acopios.
- Supervisión de Obras Mineras.

Software para Procesar Imágenes del Dron. Los softwares que procesan imágenes fotogramétricas, generan modelos digitales en 2D, 3D o Nubes de puntos a partir de imágenes superpuestas como se observa en la Figura 12, y tomadas a distintos puntos de vista, de donde se puede calcular las distancia y ángulos exactos.

Entre los Softwares más empleados para procesar los datos recopilados por el Dron, se tienen los siguientes: Pix4D, DroneDeploy, Simactive, Agisoft, Bentley, ArcGIS y Autodesk; siendo Agisoft el software que se emplea generalmente para procesar las imágenes recopiladas por el Dron, así obtener la topografía y volúmenes para poder controlar los avances operativos dentro del tajo Cuajone.

Figura 12

Obtención de Imágenes de Superficie



Nota: Adaptado de "¿Cómo los drones están transformando el sector minero?", por DJI Enterprise, 2022.

Antes de ejecutar la recopilación de las imágenes por parte del Dron Phantom IV Pro, es necesario crear una trayectoria (Figura 13) el cual se realiza mediante Google Earth Pro y en el software Pix4d, donde se limita la zona de trabajo y en la cual el dron se desplazará y logrará capturar las imágenes de una determinada superficie.

Figura 13

Trayectoria programada del Dron en Pix4d



Nota: Elaborado por el autor

Los vuelos son programados con una duración aproximada de hasta 15 minutos, con el objetivo de asegurar la duración de carga de la batería, y acorde a las condiciones climáticas las cuales pueden afectar la captura de imágenes de la zona.

2.5.2. Aplicación en los levantamientos

Para realizar los levantamientos en zonas críticas los cuales representan un peligro tanto para los trabajadores como para los equipos, el Dron Phantom IV Pro ha presentado características versátiles para la captura de imágenes y en la operación del mismo.

Adicionalmente se pudo optimizar los tiempos para la obtención de información de áreas complejas por su accesibilidad, el cual permitirá tomar decisiones más rápidas y eficientes por parte de la supervisión o del área de planeamiento.

Las imágenes recopiladas por el Dron Phantom IV Pro (Figura 14) pueden procesarse en software y se pudo obtener superficies trianguladas, controlar el diseño del tajo y principalmente permitió proteger la integridad física de los trabajadores (topógrafo y ayudante) de la empresa contratista.

Figura 14

Dron PHANTOM IV Pro



Nota: Elaborado por el Autor.

El Dron Phantom IV Pro puede ser operado de forma remota desde un controlador (Figura 15), hasta una distancia máxima de 7 kilómetros, y con un tiempo de batería de 20 – 25 minutos de duración.

Figura 15

Controlador de Dron Phantom IV Pro



Nota: Elaborado por el Autor.

Con la aplicación del Dron Phantom IV Pro (Figura 16) se pudo realizar levantamiento de estas zonas las cuales están relacionados principalmente a peligros como caída de rocas, superficies irregulares, deslizamiento de taludes, polvo y ruido; además de que el dron puede capturar información de zonas relativamente inaccesibles y peligrosas de forma remota desde un controlador (Tablet).

Figura 16

Operación de Dron Phantom IV Pro



Nota: Elaborado por el Autor.

El Dron permitió recopilar información similar al GPS en cuanto a la precisión, pero adicionalmente se puede obtener data con mayor detalle a partir de las imágenes que captura la cámara de alta resolución, las cuales una vez procesadas permitirán calcular volúmenes con más precisión de la topografía en el tajo.

CAPÍTULO III

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes Internacionales

Se realizó una zonificación de riesgo por remoción de material en la cantera “El Pedregal” aplicando el método de Mora y Varhson el cual requiere parámetros como la sismicidad, litología y humedad; además fue necesario también determinar la morfología de terreno, el cual se realizó mediante el uso de un Dron (Mavic Pro) que permitió recopilar información cartográfica, apoyándose también de puntos referenciales y así poder procesar las imágenes; Para terminar obteniendo cartografía de toda el área que pertenece a la cantera “El Pedregal” a partir de imágenes de alta resolución captadas por medio un equipo aéreo semiautónomo (Dron) (Rojas y Romero, 2020).

En la reserva Minera de Granito de Cufre, se aplicó dispositivos de operación remota (Drones) que pueden trabajar con sistemas georreferenciales (GPS), además de ventajas de las imágenes como : alta resolución y rápida adquisición en zonas complejas, los cuales permiten una gran aplicación en el rubro Minero, en campos como Geología y Topografía; Por último se logró elaborar productos cartográficos geológicos y topográficos, los cuales permitieron estimar reservas de 40704 metros cúbicos de granito en hectárea de superficie (Guerrero y Carrión, 2018).

En Morelia México para determinar volúmenes de sólidos y lixiviados, la utilización de un Dron ha permitido realizar operaciones de levantamiento en áreas que son complicadas de acceder o que representan un riesgo para la salud y seguridad de los responsables del trabajo, y lograr obtener modelamientos 3D que se ajustan a la realidad de campo, mediante la captura de imágenes de alta resolución; los cuales han permitido tomar decisiones con un alto nivel de confianza y bajo condiciones seguras; Obteniendo como resultado final el

levantamiento de áreas con alto nivel de peligro, logrando establecer buena gestión de los residuos y lixiviados mediante la utilización de un Dron (Cruz, 2020).

En dicha investigación se muestra los riesgos laborales que existen al realizar mediciones topografías de la morfología, en las últimas décadas el control topográfico en el campo de la minería a cielo abierto ha evolucionado, desde el uso de equipos estacionarios como el teodolito o estación total a la utilización de Drones semi autónomos, y del impacto positivo que tuvo los avances tecnológicos sobre la seguridad de los colaboradores; Por último se concluye que es posible realizar levantamientos de manera segura con el uso de Drones, reduciendo la posibilidad de accidentes al ejecutar labores de levantamiento tanto en minería superficial como en subterránea (Sanmiquel et al., 2018).

Mediante la implementación de un Dron y adaptado con una cámara térmica el cual servirá para hacer supervisión y realizar mantenimiento predictivo de líneas eléctricas torres de telecomunicaciones en la ciudad de Guayaquil, a través de la metodología de prototipado, el cual permite ir acoplando nuevos elementos al proyecto; Finalmente se consiguió ejecutar las inspecciones termográficas la cual servirán para la toma de decisiones y agilizar los procesos, mediante la Implementación de un Dron, además de poder crear videos, los cuales permitirán ofrecer un respaldo para futuros estudios (Guacho y Carrera, 2018).

La minería ha sido para Chile de gran importancia ya que ha promovido el desarrollo de su país, es por eso que en la minería moderna es necesario aplicar nuevas tecnologías que permitan ejecutar las operaciones de forma segura, es por eso que los procesos como exploración y explotación deben adaptarse a las mejoras tecnológicas, siendo la topografía una actividad que compromete a todas las operaciones fundamentales dentro de la minería, y que con la creación de equipos tecnológicos (Drones) han elevado la precisión en el control de diseño de la mina y el control de las operaciones, logrando concretar un estudio de prefactibilidad para la creación de una empresa de prestación de servicios con Drones, para realizar tarea peligrosas, cumpliendo con los estándares de seguridad en el rubro minero (Jarpa, 2018).

Con el avance tecnológico, se puede lograr la aplicación de equipos de vuelo que pueden ser operados de forma remota con el objetivo de reducir tiempos de operación, además obtener información de gran precisión dentro del rubro agrícola; mediante la implementación de un dron, un sistema anticolisiones, y

softwares que permiten la interpretación de las imágenes captadas; se logró determinar el porcentaje de ocupación de la vegetación en un área de 200 metros cuadrados, obteniendo como resultado que el 65% estaba ocupado por vegetación (Tacuri y Olmedo, 2019).

Con la aplicación de un vehículo aéreo no tripulado (Dron), se pudo recopilar información en la construcción de un túnel en la ciudad de Cariamanga, careciendo en esta construcción poca visibilidad y espacios reducidos que ponen en riesgo al trabajador; Finalmente, se logró trabajar con vehículos aéreos no tripulados y detectar fisuras y grietas en la construcción de túneles a través de imágenes de alta resolución, en zonas donde el acceso es restringido para las personas, y así reduciendo la probabilidad de ocurrencia de accidentes (Chica, 2021).

3.1.2. Antecedentes Nacionales

La utilización de equipos de vuelo semiautónomos y sistemas de posicionamiento global han permitido conocer la morfología de los terrenos con un alto nivel de precisión, que son de mucha utilidad para el control operacional y la exploración geológica en la unidad minera Barrick Misquichilca. Con la implementación de un Dron se pudo reducir los riesgos operacionales comparados con el uso de equipos manuales como teodolitos o estaciones totales, y la obtención de cartografía con un desface de +-2 cm en planimetría y 1cm en altimetría (Berrocal y Rubén, 2019).

La implementación de Dron tiene el objetivo de mejorar el proceso operativo y reducir los costos involucrados al momento de captar información por medio de fotometría en la Minera Chinalco Perú; La aplicación de drones permite la recopilación de información de alta precisión con ayuda de equipos de posicionamiento global (GPS) permitiendo optimizar las operaciones de campo y la planificación de las mismas en la mina a cielo abierto Minera Chinalco S.A. (Matías, 2020).

En el presente estudio se describe que la aplicación de una aeronave no tripulada (Dron) y una cámara de alta resolución las cuales han permitido captar imágenes que una vez procesadas en software adecuado se consigue información de alta confiabilidad para los modelamientos en 3D, y para eso fue importante

ubicar puntos de control que son marcas en la tierra siendo de mucha utilidad al momento de realizar el trabajo en gabinete; y además se obtendrá un bajo nivel de error para la determinación de volúmenes procesados en las operaciones como remediación y estabilidad de taludes, diseño y ejecución de Haul Road, drenaje de mina, presa de relaves, así como en áreas de mecánica de rocas y voladura de rocas (Paucar, 2019).

En esta investigación se propone la aplicación de sistema de aeronaves pilotadas de forma remota para la supervisión de carreteras en la zona selvática del Perú, el cual pudo reducir en un 70% el tiempo de recorrido, y mediante la cual se busca reducir tiempos y costos para realizar dicho trabajo, utilizando un sensor CMOS en el RPAS pudiendo reducir en 5% el tiempo de captura de imágenes, equipo Dron Phantom 4 Pro para la recopilación de imágenes de alta resolución y el software Agisoft, Metashape para procesar la información, posibilitando la optimización de las operaciones de levantamiento de fallas en carreteras (Peña y Peña, 2020).

Se ha buscado implementar un Dron y por medio de un software de geolocalización, se ha maximizado el rendimiento en la siembra estableciendo puntos de siembra en el fundo de palma aceitera WITPALM, y así incrementar la productividad de la superficie de siembra por medio del impacto de capsulas de pinturas lanzados a una altura de 15 metros desde el Dron hacia la superficie; Finalmente se logró la reducción de los costos y tiempos operativos, y mejorar la distribución de la siembra en un área de 100 metros cuadrados a una velocidad de 1.5 m/s (Chávez-Arroyo y Rodríguez, 2019).

Mejorar los índices de vegetación en la agricultura a través de un dron de tipo Mono-rotor el cual permitirá obtener información, mediante imágenes de alta precisión y detalle, el Dron ha sido capaz de realizar vuelos pre-programados sobre el Fundo Altamirano – Ica, Finalmente se consiguió mediante la implementación de un Dron un vuelo autónomo de 9 min, se logró determinar Índices de vegetación abarcando una superficie de cultivo de 20 Ha. en corto plazo y efectiva, además de poder incrementar la producción y ganancias en el fundo Altamirano (Tello y Herrera, 2019).

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo General

- Implementar un Dron Phantom IV Pro para mejorar la seguridad en los levantamientos topográficos del control de diseño de tajo Cuajone, en la Empresa Mining Company Service S.A.C.

3.2.2. Objetivo Especifico

- Conocer las mejoras operativas que ofrece el Dron en los levantamientos topográficos de control del diseño y las operaciones en el tajo.

- Determinar el impacto de la implementación de un Dron, al suministrar información de los levantamientos topográficos a las áreas operativas de Mina

3.3. Justificación

El Desarrollo del Informe se justifica en mejorar la seguridad de los colaboradores mediante la implementación de un Dron Phantom IV Pro que tiene la capacidad de recopilar información de alta precisión, además de ser operado remotamente, permitiendo asegurar la salud e integridad de los involucrados en las operaciones topográficas de campo, y la reducción de tiempos de operación.

Tomando como base los antecedentes internacionales y nacionales, en los proyectos que describen la implementación de un Dron, Concluyen en resultados positivos, tales como: la reducción de las posibilidades de accidente, reducción de tiempos operativos, mayor precisión y detalle al momento de recopilar información de campo, además de un incremento de la productividad al realizar los levantamientos topográficos.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN Y APORTES

4.1. Discusión

En este informe se muestra que se pudo recopilar imágenes de alta calidad mediante un Dron Phantom IV Pro de zonas de alto nivel de riesgo, sin exponer a los topógrafos mejorándose la seguridad, ya que el equipo pudo ser operado de forma remota; estos resultados guardan relación con Cruz (2020) que mediante la aplicación del dron pudo obtener levantamientos de volúmenes de sólidos y lixiviados los cuales están ubicados en áreas con alto nivel de peligro; también coincidiendo con San-miguel et al. (2018) que señalan que mediante el empleo de un dron se puede obtener imágenes de zonas superficiales y accidentadas sin exponer a los trabajadores, ya que este equipo semiautónomo pudo ser operado de forma remota desde un punto seguro.

Rojas y Romero (2020) Emplearon un equipo semiautónomo (Dron) para obtener la cartografía de una cantera de agregados, así como Guerrero y Carrión (2018) que mediante un dron y un sistema georreferencial GPS lograron obtener productos cartográficos tanto geológicos como topográficos de hectáreas de granito, ambas investigaciones obtuvieron la cartografía a partir de imágenes de alta resolución; los cuales coinciden con los resultados del presente informe, donde se pudo obtener topografías de la superficie de distintas zonas de la mina con alta grado de precisión y detalle de la morfología del terreno .

Peña y Peña (2020) mediante la aplicación de Dron pudo reducir en 5% el tiempo de captura de imágenes para levantamiento de fallas en las carreteras, Chávez-Arroyo y Rodríguez (2019) consiguieron Incrementar la productividad mejorando la distribución de siembra de un área de 100 metros cuadrados a una velocidad de 1.5 m/s con el uso de Dron semiautónomo; en el presente trabajo se ratifica dichos resultados, ya que se pudo mejorar los tiempos de operación pasando de 30 a 15 minutos al momento de recopilar datos.

4.2. Mejoras con el Dron Phantom IV Pro

Con la aplicación del Dron Phantom IV Pro se consiguió mejoras en cuanto a los levantamientos que son necesarios para dar continuidad a las operaciones de campo, además de mejorar la seguridad de los colaboradores que ejecutan el levantamiento desde un punto distante.

Se mencionan las mejoras que se consiguieron con el Dron Phantom IV Pro:

4.2.1. Mejora en Zonas de Carguío, Botadero y Stock

En zonas de carguío (Figura 17), en botaderos y Stocks; donde el tráfico de equipos de acarreo es constante y existe la posibilidad de que un topógrafo puede sufrir algún accidente o incidente, el Dron operado de forma remota permitió realizar el levantamiento de dichas zonas, con vuelos de 15 minutos aproximadamente, las imágenes recopiladas fueron procesadas y se logró calcular los volúmenes de avance sin exponer a los topógrafos.

Figura 17

Zonas de carguío de Pala 6 en Fase8



Nota: Elaborado por el Autor.

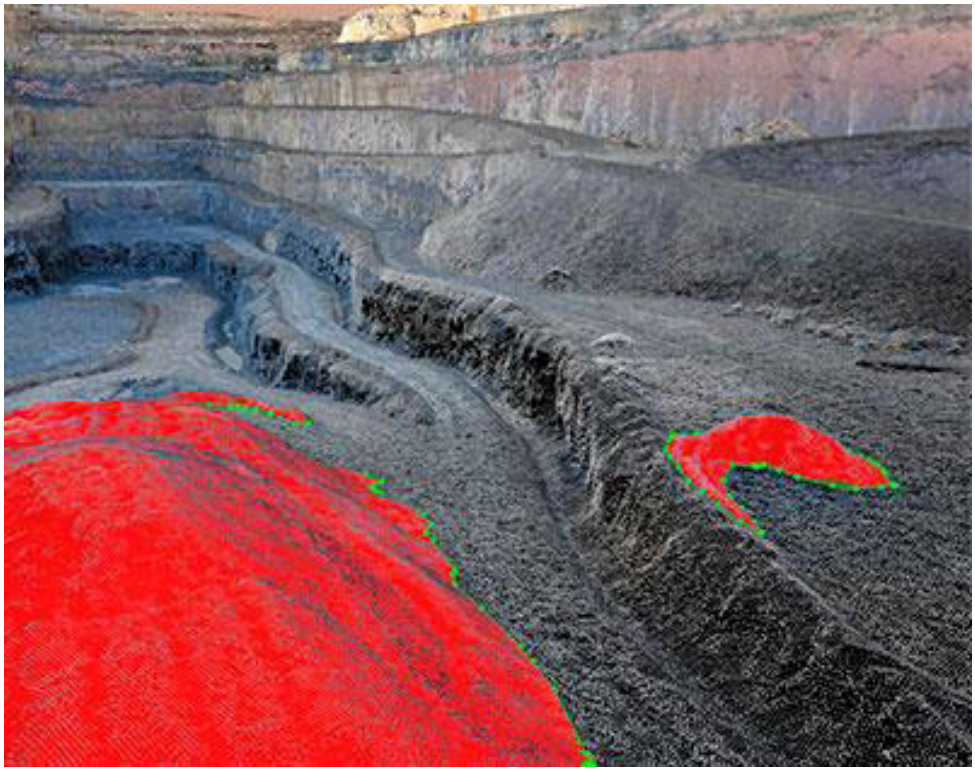
4.2.2. Mejora en al levantar Áreas Disparadas

A través de las imágenes que captura el Dron se logró procesar y determinar con mayor precisión la superficie esponjada (Figura 18) y área de influencia de los proyectos disparados, para realizar el plan de minado de manera

precisa sin exponer al topógrafo a peligros como: superficies irregulares, la posible exposición a gases post voladura que pueden comprometer la salud de los trabajadores.

Figura 18

Levantamiento de Superficies Disparadas



Nota: Adaptado de “Los drones como equipo de Minería”, por PIX4D, 2022.

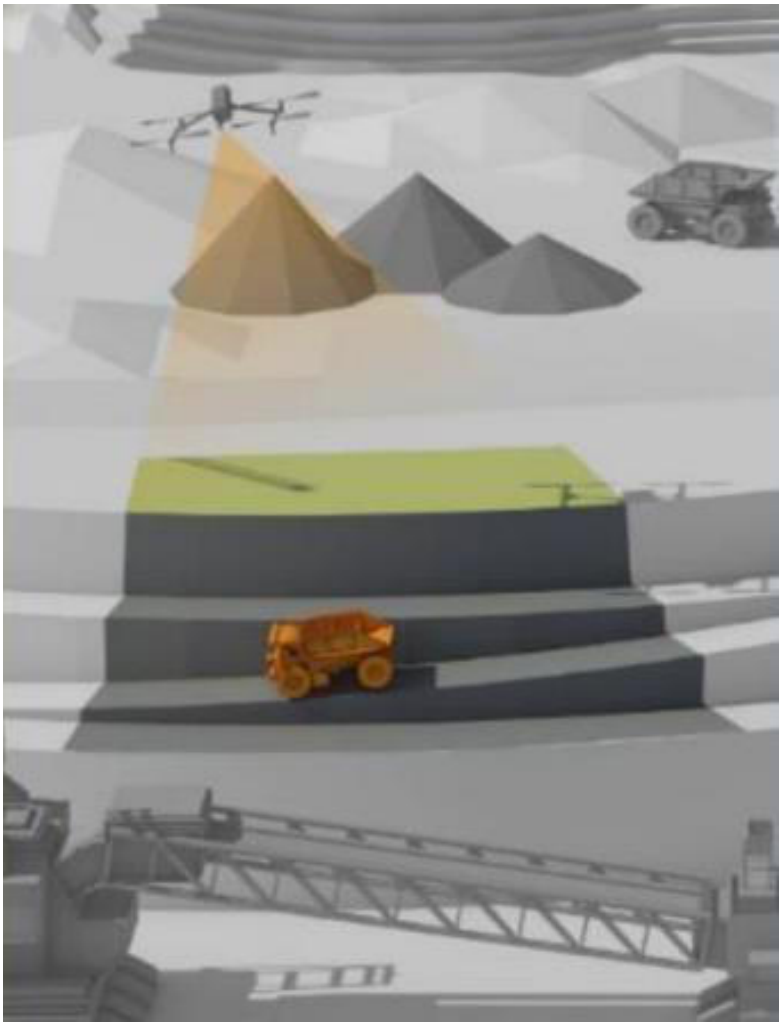
4.2.3. Mejora en el Control Geotécnico

El Dron operado desde un punto seguro facilitó el control y levantamiento de taludes, áreas que son peligrosas por la probabilidad de caída de rocas o deslizamiento de material suelto, y que representan un peligro para el trabajador al momento de controlar el toe, la cresta y la pendiente de la cara del talud; además de que ayudó a mejorar el control de diseño del tajo.

Los levantamientos de la superficie topográfica de los taludes (Figura 19) son realizados con el objetivo de controlar la deformación de la cara de banco, así como las estructuras y rellenos que están emplazados en dicha zona.

Figura 19

Levantamiento de taludes con Dron



Nota: Adaptado de “Aplicación de un dron para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú S. A., Morococha 2020”, Matías F.,2020.

4.2.4. Mejora en la Supervisión

El Dron al ser controlado de forma remota permitió supervisar de manera anticipada áreas que podrían significar un peligro para los trabajadores, la supervisión al tener una visión de la zona de trabajo consigue tomar decisiones más asertivas para la ejecución del trabajo.

Además, puede utilizarse en diferentes áreas de mina como es el caso de planta concentradora, el cual permitiría una rápida inspección que zonas a las cuales podría tomar mucho tiempo para que un personal ingrese, ya que podría necesitarse andamios en el caso de zonas altas e implementos adicionales de seguridad.

4.2.5. Comparativo entre equipo Manual GPS y Dron

A continuación, en la Tabla 4 se describe la diferencia entre un GPS y un Dron en cuanto a sus aspectos operativos, información que fue recolectado de los trabajos en campo, siendo la seguridad una principal ventaja en la operación del Dron, ya que se opera a distancia.

Tabla 4

Comparación entre GPS y Dron

	Equipo para Levantamiento Topográfico	
Ítem Comparativo	**GPS**	**Dron Phantom IV Pro**
Tiempo	30 min – 45 min.	5 min – 15 min.
Precisión	Alta precisión.	Alta precisión.
Nivel de detalle	Medio.	Alto.
Forma de Uso	Manual.	Autónomo.
Seguridad	Al ser utilizado manualmente, el topógrafo está expuesto a diferentes peligros.	El topógrafo esta más seguro ya que el Dron puede operarse remotamente.

Nota: Elaborado por el Autor.

4.2.6. Mejora en la información suministrada a operaciones

La información que se suministra al área de operaciones que proviene del dron es más precisa y tiene mayor detalle, permitiendo un mejor cálculo del tonelaje y volumen de zonas dentro del tajo, se puede conocer a detalle del avance en botaderos, el volumen de los stocks, además de poder obtener imágenes 3d del talud para poder hacer análisis de inestabilidad entre otros.

Al realizar levantamientos de vías de acarreo (Figura 20) con el dron se podrá realizar el trabajo de manera práctica, a la vez de que el trabajador estará en un punto seguro, distante del tránsito de los equipos de acarreo, además a

partir de esta data se logra realizar análisis más precisos sobre el desgaste de neumáticos ya que se puede obtener superficies de las vías con mayor detalle.

Figura 20

Vía de acarreo transitada por camiones



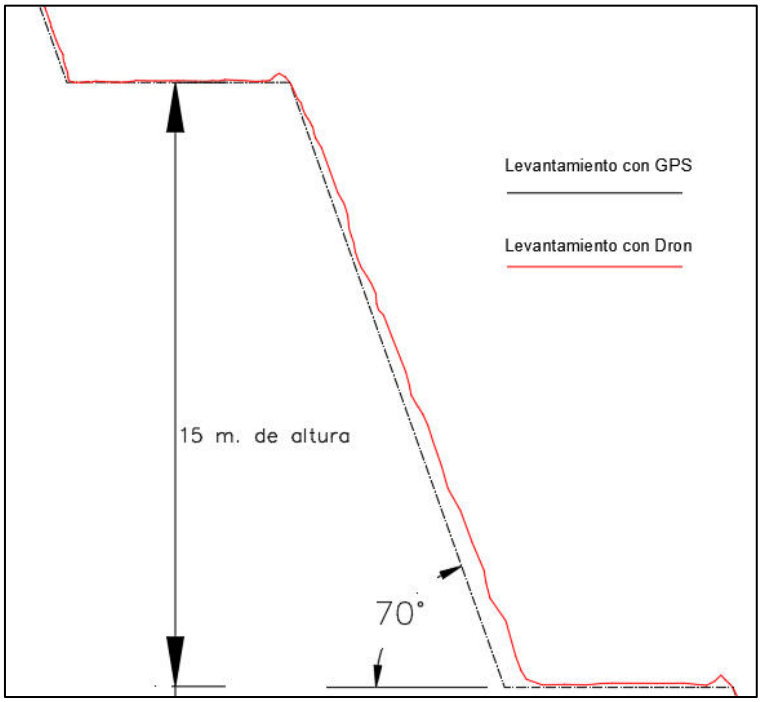
Nota: Elaborado por el Autor.

Los levantamientos que son ejecutados por el dron, permiten obtener información volumétrica de stocks de mineral, obteniendo data de alta precisión y detalle el cual permitirá controlar el tonelaje que ingresa y sale del Stock, por ende, controlar con mejor precisión él envió de material a chancadora.

Como se observa en la Figura 21 la variación en el detalle de levantamiento con GPS y Dron, se puede distinguir que el levantamiento con Dron permite un cálculo más exacto del volumen de material que se ha removido, así como en otros casos donde se sobre rotura, haciendo que las conciliaciones de minado sean optimas, donde se podrá controlar mejor el diseño de los taludes.

Figura 21

Vista de perfil diferenciando el levantamiento entre GPS y Dron

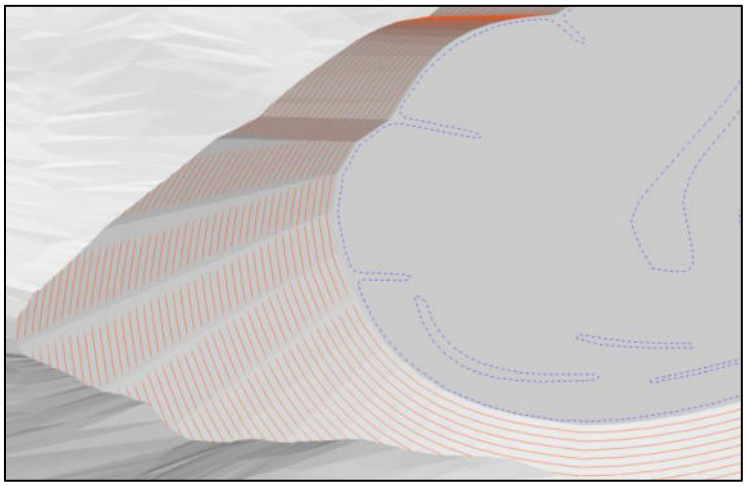


Nota: Elaborado por el Autor.

El levantamiento con GPS en el botadero se puede recolectar información con alta precisión, pero con bajo nivel de detalle, ya que por el método y seguridad no se puede levantar las crestas de las bermas ni crestas de botaderos, teniendo como resultado una superficie que carece de detalle y por tanto un volumen impreciso (Figura 22).

Figura 22

Superficie a partir de GPS



Nota: Elaborado por el Autor.

El levantamiento con dron como se puede observar en la Figura 23, permite recopilar información y obtener superficie 2 – 4 % más cercano al real respecto al levantamiento con GPS, lográndose un mejor cálculo del volumen y tonelaje los cuales son útiles para las áreas operativas; además de permitir a los supervisores mejor toma de decisiones, sin arriesgar la seguridad de los colaboradores.

Figura 23

Superficie a partir de Dron

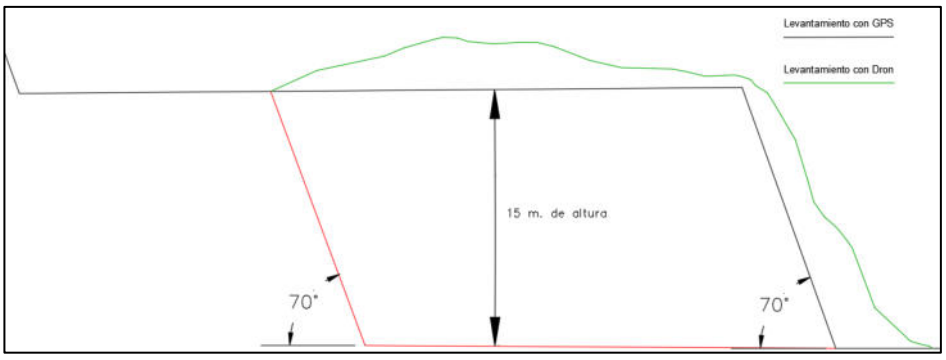


Nota: Área de Geotecnia.

El Dron puede utilizarse para supervisar zonas como banquetas o zonas de deslizamiento que son áreas críticas en cuanto a la seguridad, y poder tomar mejores decisiones con respecto a los trabajos a realizar en este tipo de áreas; También se puede recolectar imágenes y conocer con mayor precisión el esponjamiento (Figura 24) de la superficie disparada el cual se acerca al 100%.

Figura 24

Vista de material esponjado



Nota: Elaborado por el Autor.

CONCLUSIONES

- Con la implementación del equipo tecnológico Dron Phantom IV Pro, se consiguió mejorar la seguridad en los levantamientos topográficos del control de diseño en el tajo Cuajone, en la Empresa Mining Company Service S.A.C.

- Se registraron mejoras operativas en los levantamientos topográficos con el Dron Phantom IV Pro, pasando de 30 minutos a 15 minutos al recopilar datos, y disminuyo el riesgo de que el topógrafo se accidente ya que el Dron es operado remotamente.

- Se determino un impacto positivo en la información suministrada a las áreas operativas de Mina, realizando levantamientos de superficies con Dron, obteniéndose volúmenes en 2 – 4 % que se aproximan más al resultado real, además que el nivel de detalle se aproxima al 100% con los resultados obtenidos en campo.

RECOMENDACIONES

- Contar con asesoría especializada para evitar problemas técnicos con el Dron Phantom IV Pro como lo son: duración de las baterías, conectividad del dron con el controlador, así como el mantenimiento de los equipos.

- Promover la capacitación del personal en la operación del equipo Dron de manera correcta y efectiva, para que los datos recopilados tengan un alto grado de confiabilidad.

- Contar con un software adecuado que pueda recolectar información en tiempo real para poder hacer más productivo las operaciones en los levantamientos topográficos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berrocal, J. & Rubén, R. (2019). *"Optimización en el proceso de cartografía con tecnología drones en la compañía minera Barrick Misquichilca S.A."* (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.) Perú. *http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3608*

Chávez-Arroyo, R., y Rodríguez, W. (2019). *"Diseño e implementación de un drone hexacóptero con software de geolocalización para señalar puntos de siembra en el Fundo de Palma Aceitera Witpalm."* (Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma, *Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica*.) Perú.
http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2471

Chica, D. (2021*). "Evaluación tecnológica de vehículo aéreo no tripulado (dron) para el control de riesgos laborales en la construcción de un túnel en la ciudad de Cariamanga-Ecuador"* (Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Maestría en Seguridad, Salud e Higiene Industrial.) Ecuador.
http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/58944

Cruz, H. (2020). *"Determinación de lixiviados y volumen de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto, mediante el uso de dron, caso región Morelia."* (Tesis de Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental.) México.
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4642

DJI Enterprise (2022). *"¿Cómo los drones están transformando el sector minero?"*, [Figura]
https://enterprise-insights.dji.com/es/experiencias/drones-transforman-sector-minero

Flores, J. (2014). *"Aplicación de tecnología en tiempo real con Sistemas de posicionamiento global para los procesos de ore control en bloques mineralizados Mina Cuajone."* (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.) Perú.
http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3873

Guacho, J. y Carrera, E. (2018). *"Inspección termográfica de líneas eléctricas y torres de telecomunicaciones implementado en DRON dentro de la ciudad de Guayaquil."* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones.) Ecuador.
http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34607

Guerrero, S., Faraone M., y Carrión R. (2018). *"Aplicación de fotogrametría y modelación 3d en geología y minería; el granito de Cufré."* (Revista investigaciones DINAMIGE - MIEM.) Uruguay. *https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/01_Aplicacion_de_fotogrametria_y_modelacion_3d_en_geologia_y_mineria_el_granito_de_cufre_0.pdf*

Jarpa, B. (2018). *"Estudio de Pre-factibilidad para la creación de una empresa que preste servicios con drones en la industria minera."* (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello.) Chile. *http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/11061*

Matías, R. (2020). *"Aplicación de un dron para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú SA, Morococha 2020."* (Trabajo de Investigación, Universidad Continental, Escuela Académico profesional de Ingeniería de Minas.) Perú. *https://hdl.handle.net/20.500.12394/8698*

Minería Sostenible (2020). *"Osinergmin supervisará gran minería usando drones durante la Fase 1 de reactivación económica"*, [Figura] *https://www.mineriasostenible.org/2020/05/osinergmin-supervisara-gran-mineria.html*

Nina, E. (2020). ***"****Topografía Aplicada en la Unidad Minera Cuajone"* - Informe de Prácticas – Universidad Nacional de Moquegua – (Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.) Perú.

Paucar, A. (2019). *"Aplicación de fotogrametría digital de objeto cercano en infraestructura mina, Proyecto Minero Las Bambas – Apurímac."* (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.) Perú. *http://hdl.handle.net/20.500.12918/5088*

Peña, E. & Peña, L. (2020). *"Propuesta de levantamiento de tipos de fallas asistido por el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS) para intervenir en carreteras de bajo volumen en Lima provincias."* (Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.) Perú. *http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3899*

PIX4D (2022). *"Los drones como equipo de Minería",* [Figura] *https://www.pix4d.com/es/industria/mineria*

Riaño, R. (2018). "Metodología para el diseño de un vuelo fotogramétrico usando UAV´ S." (Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.) Colombia. *http://hdl.handle.net/11349/13097*

Rojas, M. y Romero, J. (2020). *"Análisis de la minería mediante la generación de cartografía por medio de drones (UAV) como implementación de análisis de riesgos en el Municipio de Une Cundinamarca."* (Proyecto de trabajo de Grado en Modalidad de Monografía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería Catastral y Geodesia.) Colombia. *http://hdl.handle.net/11349/25632*

Sanmiquel, L., Bascompta, M., Vives, J. y Freijo M. (2018). *"Análisis de la influencia de la evolución tecnológica en los riesgos laborales que afectan las mediciones topográficas."* (ORP Journal, 777-788.) España. *http://hdl.handle.net/2117/123678*

Tacuri, J. y Olmedo, W. (2019). *"Implementación de un dron anticolisiones capaz de seguir una trayectoria pre establecida para la elaboración de un mapa de la tasa de ocupación vegetal en una zona."* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.) Ecuador. *http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10898*

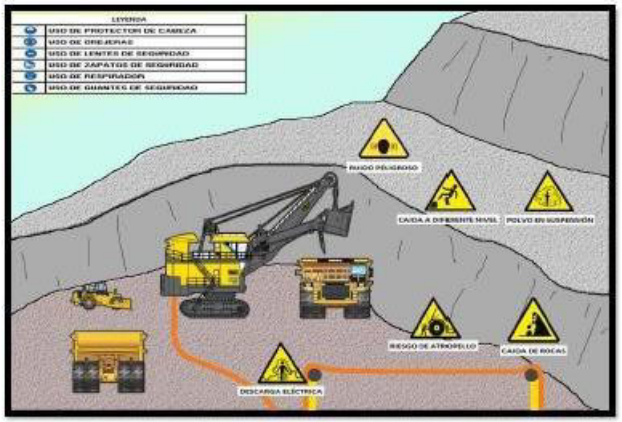
Tello, C. y Herrera, E. (2019). *"Diseño e implementación de un drone de ala fija para el estudio de índices de vegetación para la agricultura de precisión en el Fundo Altamirano-Ica."* (Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica.) Perú. *http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2747*

ANEXOS

ANEXO A

Mapa de riesgos en área de carguío.

AREA
CUAJONE
FECHA
10/01/2020
LUGAR
MINA
PELIGRO
Equipos en Movimiento, Equipos estacionados, Taludes inestables, Superficies irregulares, Polvo, Ruido, Radiación Solar, Herramientas Manuales, Factores Climáticos adversos, Sobreesfuerzo Físico, Cables eléctricos energizados, Plantas secas / punzantes,
CONSECUENCIAS
Atropellos, Atrapamiento, Aplastamientos, Caídas a distinto / mismo nivel, Exposición al Polvo, Exposición al Ruido, Irritación en la piel, Golpes, cortes, Limitada visibilidad, Riesgos Disergonómicos (dolores, fatiga muscular), Shock eléctrico por Contacto con cables, Cortes y pinchazos.
CAUSAS
Ingresar a áreas sin autorizaciones, Malas prácticas de Manejo, Ubicarse en zonas cercanas al radio de giro, No realizar evaluación previa de la zona de trabajo, ni ver zonas de deslizamiento, Uso inadecuado de EPP's, Incumplimiento de PETS, Intento de ahorrar tiempo y esfuerzo, mal discernimiento.
CONTROLES EXISTENTES
Coordinar Autorizaciones, Manejo Defensivo, Vigía permanente, Transitar/Caminar con precaución, EPP's, Respetar señalizaciones, Herramientas de Gestión, Capacitaciones.
PLANES DE CONTIGENCIA EXISTENTES
Plan de respuestas a emergencias



ESCENARIO REPETIDO EN LAS DIFERENTES ÁREAS DONDE REALIZAMOS LAS ACTIVIDADES DIARIAS

TIPO CONSECUENCIA
☑ Daños Personales ☑ Daños a la Propiedad ☐ Daños al Proceso ☐ Daños al M. Ambiente ☐ Daños a la Imagen

EVALUACION INICIAL
CONSECUENCIAS: Fatal
PROBABILIDAD: Podría Ocurrir
RIESGO: Alto

CONCLUSION DEL ANALISIS DEL RIESGO
Area de trabajo con riesgos altos y aceptables.

MEDIDAS PROPUESTAS PARA LA REDUCCION DEL RIESGO:
Solicitar Autorizaciones de ingreso a cualquier área antes de realizar una tarea, Comunicación Efectiva, IPERC, PETS, Capacitación, Vigía en Taludes, Supervisión permanente, Uso de EPP, Señalizaciones, Uso de radios de comunicación.

EVALUACION FINAL
CONSECUENCIAS: Lesion Permanente
PROBABILIDAD: Rara Vez
RIESGO: Bajo

CONCLUSION DEL ANALISIS DEL RIESGO
Area de trabajo con riesgos controlados. Area segura para el trabajo

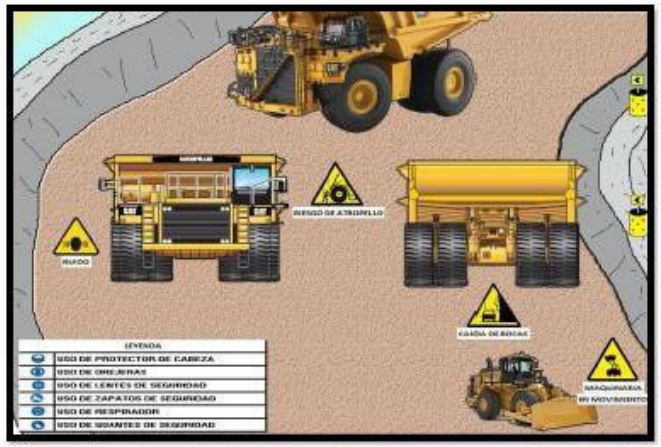
FECHA DE REVISION: 10/01/2020 RESPONSABLE: Ing. Luis Antonio Carl Arizaca SEGUIMIENTO: Ing. Residente / Ing. Seguridad

Nota: Mapa de riesgos de MINCOSER S.A.C.

ANEXO B

Mapa de riesgos en vías.

AREA
CUAJONE
FECHA
10/01/2020
LUGAR
MINA
PELIGRO
Equipos en Movimiento, Equipos estacionados, Taludes inestables, Superficies irregulares, Polvo, Ruido, Radiación Solar, Herramientas Manuales, Factores Climáticos adversos, Sobreesfuerzo Físico, Cables eléctricos energizados, Plantas secas / punzantes,
CONSECUENCIAS
Atropellos, Atrapamieto, Aplastamientos, Caidas a distinto / mismo nivel, Exposición al Polvo, Exposición al Ruido, Irritación en la piel, Golpes, cortes, Limitada visibilidad, Riesgos Disergonómicos (dolores, fatiga muscular), Shock eléctrico por Contacto con cables, Cortes y pinchazos.
CAUSAS
Ingresar a áreas sin autorizaciones, Malas prácticas de Manejo, Ubicarse en zonas cercanas al radio de giro, No realizar evaluación previa de la zona de trabajo, ni ver zonas de deslizamiento, Uso inadecuado de EPP's, Incumplimiento de PETS, Intento de ahorrar tiempo y esfuerzo, mal discernimiento.
CONTROLES EXISTENTES
Coordinar Autorizaciones, Manejo Defensivo, Vigia permanente, Tránsitar/Caminar con precaución, EPP's, Respetar señalizaciones, Herramientas de Gestión, Capacitaciones.
PLANES DE CONTIGENCIA EXISTENTES
Plan de respuestas a emergencias



ESCENARIO REPETIDO EN LAS DIFERENTES ÁREAS DONDE REALIZAMOS LAS ACTIVIDADES DIARIAS

TIPO CONSECUENCIA
☑ Daños Personales ☑ Daños a la Propiedad ☐ Daños al Proceso ☐ Daños al M. Ambiente ☐ Daños a la Imagen

EVALUACION INICIAL
CONSECUENCIAS: Fatal
PROBABILIDAD: Podria Ocurrir
RIESGO: Alto

CONCLUSION DEL ANALISIS DEL RIESGO
Area de trabajo con riesgos altos y aceptables.

MEDIDAS PROPUESTAS PARA LA REDUCCION DEL RIESGO:
Solicitar Autorizaciones de Ingreso a cualquier área antes de realizar una tarea, Comunicación Efectiva, IPERC, PETS, Capacitación, Vigia en Taludes, Supervisión permanente, Uso de EPP, Señalizaciones, Uso de radios de comunicación.

EVALUACION FINAL
CONSECUENCIAS: Lesion Permanente
PROBABILIDAD: Rara Vez
RIESGO: Bajo

CONCLUSION DEL ANALISIS DEL RIESGO
Area de trabajo con riesgos controlados. Area segura para el trabajo

FECHA DE REVISION: 10/01/2020 RESPONSABLE: Ing. Luis Antonio Cari Arizaca SEGUIMIENTO: Ing. Residente / Ing. Seguridad

Nota: Mapa de riesgos de MINCOSER S.A.C.

ANEXO C

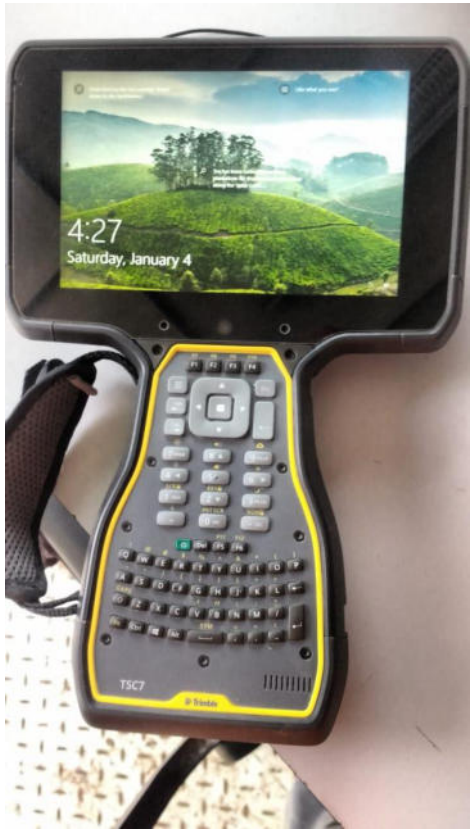
Dron PHANTOM IV Pro.



Nota: Adaptado de “Dron Phantom IV Pro”, por DELTOC, 2022.

ANEXO D

Equipos GPS utilizados de forma Manual.



Nota: Elaborado por el Autor.



Nota: Elaborado por el Autor.

ANEXO E

Mapa Topográfico del tajo Cuajone



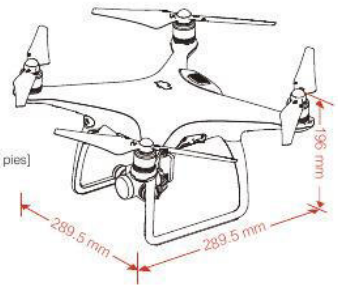
Nota: Área de Ingeniería Mina (SPCC).

ANEXO F

Especificaciones técnicas de Dron Phantom IV Pro

Especificaciones

• **Aeronave**	
Peso (batería incluida)	1380 g
Velocidad de ascenso máx.	6 m/s (modo Sport)
Velocidad de descenso máx.	4 m/s (modo Sport)
Velocidad máx.	20 m/s (modo Sport)
Altitud de vuelo máx. por encima del nivel del mar	6000 m (19 685 pies) (límite de altitud del software: 120 m [400 pies] por encima del punto de despegue)
Tiempo de vuelo máx.	Aprox. 28 minutos
Rango de temperaturas de funcionamiento	de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)
Sistemas de satélite	GPS/GLONASS
• **Gimbal**	
Rango controlable	Inclinación: de -90° a +30°
• **Sistema de detección de obstáculos**	
Rango de detección de obstáculos	de 0,7 a 15 m (de 2 a 49 pies)
Entorno de funcionamiento	Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)
• **Sistema de posicionamiento visual**	
Rango de velocidad	≤ 10 m/s (2 m sobre el nivel del suelo)
Rango de altitud	de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies)
Rango de funcionamiento	de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies)
Entorno de funcionamiento	Superficies con un patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)
• **Cámara**	
Sensor	1/2,3" Píxeles efectivos:12 M
Objetivo	FOV (campo de visión) 94° 20 mm (equivalente a formato de 35 mm) enfoque f/2.8 a ∞
Intervalo de ISO	de 100 a 3200 (vídeo); de 100 a 1600 (fotografía)
Velocidad de obturador electrónico	de 8 s a 1/8000 s
Tamaño de imagen máx.	4000×3000
Modos de fotografía fija	Disparo único Disparo en ráfagas: 3 / 5 / 7 fotogramas Horquilla de exposición automática (AEB): 3 / 5 fotogramas horquillados con sesgo de 0,7 EV Lapso de tiempo, HDR
Modos de grabación de vídeo	UHD: 4096×2160 (4K) 24 / 25p 3840×2160 (4K) 24 / 25 / 30p 2704×1520 (2,7K) 24 / 25 / 30p FHD: 1920×1080 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60 / 120p HD: 1280×720 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60p
Tasa bits máx. vídeo	60 Mbps
Sistemas de archivos compatibles	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Fotografía	JPEG, DNG (RAW)
Vídeo	MP4 / MOV (MPEG - 4 AVC / H.264)
Tarjetas SD admitidas	Micro SD; capacidad máx.: 64GB Se necesita clasificación clase 10 o UHS-1
Temperatura de funcionamiento	de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)
• **Control remoto**	
Frecuencia de funcionamiento	de 2,400 GHz a 2,483 GHz
Distancia transmisión máx.:	conforme con FCC: 5 km (3,1 mi); conforme con CE: 3,5 km (2,2 mi) (sin obstáculos, libre de interferencias)
Temperatura de funcionamiento	de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)
Batería	6000 mAh LiPo 2S
Potencia de transmisión (EIRP)	FCC: 23 dBm; CE: 17 dBm
Tensión de funcionamiento	7,4 V a 1,2 A
• **Cargador**	
Voltaje	17,4 V
Potencia nominal	100 W
• **Batería de vuelo inteligente (PH4 - 5350 mAh - 15,2 V)**	
Capacidad	5350 mAh
Voltaje	15,2 V
Tipo de batería	LiPo 4S
Energía	81,3 Wh
Peso neto	462 g
Temperatura de funcionamiento	de -10° a 40 °C (de 14° a 104 °F)
Potencia de carga máx.	100 W





Descargue el manual de usuario para obtener más información:
http://www.dji.com/product/phantom-4

※ Esta guía de inicio rápido puede modificarse sin necesidad de notificarlo con antelación.

CE 1313 RoHS

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:
(1) This device may not cause harmful interference, and
(2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

© 2016 DJI Todos los Derechos Reservados.
Designed by DJI. Printed in China.

Nota: Adaptado de "Dron Phantom IV Pro", por DELTOC, 2022.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Edgardo Oswaldo Nina Ramos
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 46664947
Correo electrónico : Edgardo.ninaramos@hotmail.com
Teléfono/Celular : 959043771

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado ( )
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía (X)
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis ( )
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico (X)

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : "CONTROL DE DISEÑO EN TAJO CON DRONE PHANTOM IV PRO PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS "
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.05
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Arquímedes León Vargas Luque
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01309736
c) ORCID : 0000-0001-7619-2844

FIRMA : 

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 46664947
NOMBRES Y APELLIDOS : Edgardo Oswaldo Nina Ramos

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 46664947

NOMBRES Y APELLIDOS : Edgardo Oswaldo Nina Ramos

FECHA : 2022

