

Índice de contenido

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 1 |
| Problematización | 1 |
| Objetivos..... | 2 |
| Objetivo General | 2 |
| Objetivos específicos..... | 2 |
| Alcances | 3 |
| Marco Teórico | 4 |
| Minería a Cielo Abierto | 4 |
| Submétodos | 4 |
| Cortas..... | 4 |
| Descubiertas..... | 5 |
| Terrazas | 6 |
| Contorno | 6 |
| Canteras | 7 |
| Graveras..... | 8 |
| Minería Hidráulica..... | 8 |
| Planificación Minera..... | 9 |
| Planificación de Largo Plazo..... | 10 |
| Optimización | 11 |
| Diseño de Fases | 12 |
| Programación de la Producción..... | 12 |
| Valorización del Plan Minero..... | 12 |
| Reservas Mineras | 13 |
| Vida de la Mina..... | 14 |
| Leyes de corte..... | 15 |
| Carguío y Transporte | 16 |
| Selección de Equipos | 16 |
| Ritmo Óptimo de Explotación (ROE) | 16 |
| Recorrido del Transporte..... | 17 |
| Tiempo de Ciclo | 17 |
| Capacidad | 19 |

| | |
|--|----|
| Flota de equipos..... | 19 |
| Dron | 22 |
| Tipos de dron..... | 22 |
| Multirrotores..... | 22 |
| Helicópteros..... | 23 |
| Ala fija..... | 23 |
| Aplicaciones de drones en minería..... | 24 |
| Prospección..... | 24 |
| Topografía | 24 |
| Control de operaciones | 25 |
| Monitoreo de estructuras | 25 |
| Control medioambiental..... | 25 |
| Servicios de emergencias y rescate | 25 |
| Simulación | 25 |
| Metodología..... | 27 |
| Datos | 27 |
| Software | 27 |
| Procedimiento | 28 |
| Resultados..... | 30 |
| Caso de estudio | 30 |
| Diseño para equipos convencionales | 30 |
| Destinos..... | 32 |
| Plazo de proyecto | 33 |
| Flota de transporte y carguío para <i>pit</i> óptimo | 34 |
| Desplazamiento | 35 |
| Tiempo de ciclo..... | 36 |
| Flota de equipos | 38 |
| Operaciones unitarias con drones | 39 |
| Diseño para operación con dron | 41 |
| Destinos..... | 42 |
| Plazo de proyecto | 42 |
| Flota de drones..... | 43 |
| Desplazamiento | 44 |

| | |
|--|----|
| Tiempo de ciclo..... | 45 |
| Flota de equipos | 46 |
| Simulación | 47 |
| Evaluación económica | 53 |
| Inversión..... | 53 |
| Ingreso..... | 54 |
| Egresos | 55 |
| Flujo de caja | 59 |
| Análisis de resultados | 61 |
| Análisis del diseño | 61 |
| Análisis de flota de equipos | 62 |
| Análisis de evaluación económica | 63 |
| Conclusiones y recomendaciones | 65 |
| Conclusiones | 65 |
| Recomendaciones | 66 |
| Bibliografía..... | 67 |
| Apéndice..... | 69 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Diseño de extracción Cortas (Herrera, 2006)..... | 5 |
| Ilustración 2: Descubierta de Carbón (Herrera, 2006) | 6 |
| Ilustración 3: Método de Explotación Terrazas (Herrera, 2006)..... | 6 |
| Ilustración 4 Método Contorno (Herrera, 2006)..... | 7 |
| Ilustración 5: Cantera de Roca Hornamental (Herrera, 2006)..... | 7 |
| Ilustración 6: Gravera de áridos (Herrera, 2006)..... | 8 |
| Ilustración 7: Dragas, Equipo Utilizado en Minería Hidráulica (Herrera, 2006)..... | 8 |
| Ilustración 8: Tiempo de ciclo de transporte (Elaboración propia) | 18 |
| Ilustración 9: Tiempo de ciclo de carguío (Elaboración propia) | 18 |
| Ilustración 10: Dron Cuadricóptero Mavic 2 Pro (DJI, 2020)..... | 23 |
| Ilustración 11: Dron Helicóptero VAPOR 55 (AeroVironment, 2020) | 23 |
| Ilustración 12: Dron Ala fija UX11 (Delair, 2020) | 24 |
| Ilustración 13: Vista en planta de pit óptimo (elaboración propia) | 31 |
| Ilustración 14: Diseño operativo del pit final (elaboración propia) | 32 |
| Ilustración 15: Alza contenedor multinorma OCTB-1124 (Mecalux logismarket, 2020) ... | 40 |
| Ilustración 16 Diseño operativo del pit para dron, vista en planta (elaboración propia)..... | 41 |
| Ilustración 17 Vista transversal del rajo con y sin rampas (elaboración propia)* | 41 |
| Ilustración 18: Dron e.Yo Copter modelo One Tone (e.Yo Copter, 2018) | 43 |
| Ilustración 19: Modelo para simulación de equipos (elaboración propia) | 49 |

Índice de tablas

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1 | Parámetros de entrada pit optimiser | 31 |
| Tabla 2 | Características de diseño del rajo | 32 |
| Tabla 3 | Categorización del material mover en pit | 33 |
| Tabla 4 | Características de Camión minero CAT 789D | 34 |
| Tabla 5 | Características de pala hidráulica CAT 6030Fs | 35 |
| Tabla 6 | Distancias y velocidades según destino | 35 |
| Tabla 7 | Tiempo de ciclo de pala hidráulica CAT 6030FS | 36 |
| Tabla 8 | Variables que determinan balde efectivo de CAT 6030FS | 37 |
| Tabla 9 | Variables que determinan tolva efectiva de CAT 789D | 37 |
| Tabla 10 | Tiempo de ciclo de camión CAT 789D | 38 |
| Tabla 11 | Categorización del material mover en pit para dron | 42 |
| Tabla 12 | Características de dron e.Yo Copter one tone | 43 |
| Tabla 13 | Características de minicargador Bobcat S650 | 44 |
| Tabla 14 | Distancias y velocidades para rajo convencional | 44 |
| Tabla 15 | Distancias y velocidades para rajo sin rampas | 44 |
| Tabla 16 | Tiempo de ciclo de minicargador Bobcat S650 | 45 |
| Tabla 17 | Variables que determinan balde efectivo de Bobcat S650 | 45 |
| Tabla 18 | Variables que determinan carga efectiva de dron | 46 |
| Tabla 19 | Tiempo de ciclo dron en rajo con/sin rampa | 46 |
| Tabla 20 | Resultado de flota de equipos para rajo con y sin rampa | 47 |
| Tabla 21 | Recursos utilizados por proceso y equipo | 49 |
| Tabla 22 | Tiempo en cola por equipo y proceso | 50 |
| Tabla 23 | Tiempo no productivo por equipo y proceso | 50 |
| Tabla 24 | Equipos que pasaron por procesos no productivos y colas | 51 |
| Tabla 25 | Tiempo acumulado sin utilizar productivamente los equipos | 52 |
| Tabla 26 | Porcentaje de utilización por equipo | 52 |
| Tabla 27 | Flota real después de simulación de acuerdo a la utilización experimental | 53 |
| Tabla 28 | CAPEX de equipos en operaciones unitarias convencionales | 53 |
| Tabla 29 | Depreciación de equipos mineros convencionales | 54 |

| | |
|---|----|
| Tabla 30 CAPEX de equipos en operaciones unitarias con drones | 54 |
| Tabla 31 Depreciación de equipos para operación con drones | 54 |
| Tabla 32 Ingreso anual por venta de cobre de cada proyecto | 55 |
| Tabla 33 Consumo y costos de combustible por equipo | 56 |
| Tabla 34 Costo anual por mantenimiento de flota | 57 |
| Tabla 35 Costo anual de mantenimiento | 57 |
| Tabla 36 Resultado de costo mina para diseño sin rampas | 58 |
| Tabla 37 Egreso anual por operación de cada proyecto | 58 |
| Tabla 38 Flujo de caja anual por operación | 59 |
| Tabla 39 VAN de operación convencional y con drones | 60 |
| Tabla 40 Indicadores económicos según operaciones unitarias | 60 |

Índice de apéndices

| | |
|---|----|
| Apéndice 1: Tabla con detalle del desplazamiento de camión por banco | 69 |
| Apéndice 2: Tabla con detalle del desplazamiento de dron en rajo con rampas. | 70 |
| Apéndice 3: Tabla con detalle del desplazamiento de dron en rajo sin rampas. | 71 |
| Apéndice 4: Datos utilizados en simulación de camiones..... | 72 |
| Apéndice 5: Datos utilizados en simulación de drones. | 73 |
| Apéndice 6: Diagrama de simulación de camiones en software Arena. | 74 |
| Apéndice 7: Diagrama de simulación de drones en software Arena. | 75 |
| Apéndice 8: Flujo de caja proyectado a 10 años para proyecto con camiones. | 76 |
| Apéndice 9: Flujo de caja proyectado a 10 años para proyecto con drones. | 77 |