

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**DISEÑO DE SECUENCIA DE MINADO DE LA PALA ELÉCTRICA
P01, PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION EN LA FASE 5 DE
LA UNIDAD MINERA CUAJONE SOUTHERN PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

ULISES OTAZU QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**DISEÑO DE SECUENCIA DE MINADO DE LA PALA ELÉCTRICA P01,
PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION EN LA FASE 5 DE LA UNIDAD
MINERA CUAJONE -SOUTHERN PERÚ**

TESIS PRESENTADA POR:

ULISES OTAZU QUISPE

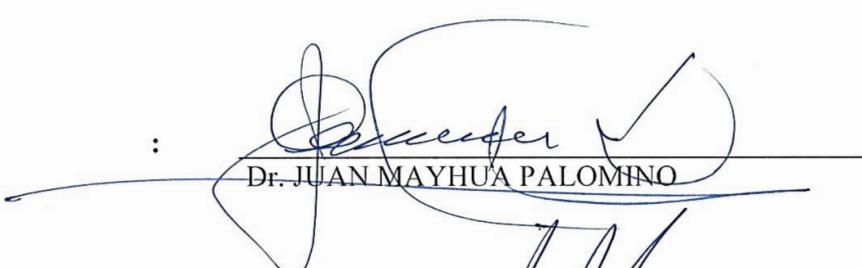
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:


Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

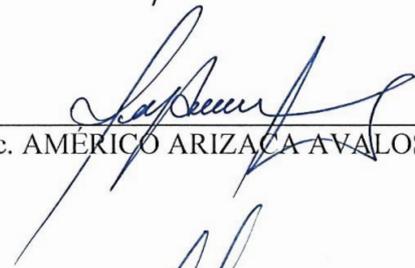
PRIMER MIEMBRO

:


Mg. MARIO SERAFIN CUENTAS ALVARADO

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. AMÉRICO ARIZACA AVALOS

DIRECTOR / ASESOR

:


Ing. ARTURO RAFAEL CHAYÑA RODRIGUEZ

TEMA: Diseño de secuencia de minado de la pala eléctrica

ÁREA: Diseño y planeamiento en minería

FECHA DE SUSTENTACIÓN 08 DE NOVIEMBRE DEL 2019

DEDICATORIA

Ala memoria de mi hermano Ariel, quien desde el mundo del silencio infinito, ilumina siempre mi camino.

A mis padres, Félix y Evangelina, porque creyeron en mí, dándome ejemplo digno de superación y entrega con mucho cariño y afecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su amor infinito, y brindarme salud y vida para culminar mis estudios superiores por el bienestar de mi familia.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano por permitir las aulas universitarias para mi formación académica y lograr mi profesión como ingeniero de minas.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, al personal docente y administrativo por haberme transmitido los conocimientos y orientación vocacional para mi formación profesional y así cumplir en el campo laboral.

Mi especial agradecimiento a la Unidad Minera Cuajone, por brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación, en especial al ingeniero Jesús Guerra Molina

ÍNDICE GENERAL**DEDICATORIA****AGRADECIMIENTO****ÍNDICE GENERAL****ÍNDICE DE TABLAS****ÍNDICE DE FIGURAS****ÍNDICE DE AGRÓNIMOS****RESUMEN** 15**ABSTRACT** 16**INTRODUCCIÓN** 17**CAPÍTULO I****INTRODUCCIÓN**

1.1 Planteamiento del problema 18

1.2 Formulación del problema 19

1.2.1 Problema general 19

1.2.2 Problemas específicos 19

1.3 Objetivos de la investigación 19

1.3.1 Objetivo general 19

1.3.2 Objetivo específico 19

1.4 Justificación de la investigación 20

CAPÍTULO II**REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1 Antecedentes de la investigación 21

2.2 Bases teóricas 25

2.2.1	Programa de producción	25
2.2.2	Programación de fases	27
2.2.3	Flota de equipos	28
2.2.4	Palas eléctricas	28
2.2.5	El tiempo de ciclo	32
2.2.6	Profundidad de corte óptima y producción	33
2.2.7	Ángulo de giro	33
2.2.8	Ciclo de trabajo de la pala eléctrica	33
2.2.9	Prácticas operacionales	36
2.2.10	Algunas dimensiones, diseños y especificaciones de pala típica	37
2.2.11	Producción de la pala eléctrica por ciclos	38
2.2.12	Tiempo del ciclo.	41
2.2.13	Ciclo por turnos	42
2.3	Indices operacionales.	44
2.3.1	Tiempo nominal	45
2.3.2	Tiempo mecánico	45
2.3.3	Tiempo disponible	45
2.3.4	Tiempo en reserva	46
2.3.5	Tiempo operativo	46
2.3.6	Demoras programadas	46
2.3.7	Demoras no programadas	46
2.3.8	Pérdidas operacionales	46
2.3.9	Tiempo efectivo	46
2.4	Consideraciones geométricas	46
2.4.1	Geometría básica de bancos	46

2.4.2	Acceso al mineral.....	48
2.4.3	Proceso de expansión.....	49
2.4.4	Posicionamiento de la pala eléctrica.....	51
2.5	Definiciones conceptuales.....	53
2.5.1	Diseño.....	53
2.5.2	Producción.....	54
2.5.3	Ciclo.....	54
2.5.4	Banco.....	54
2.5.5	Banco de minado.....	54
2.5.6	Fases de minado.....	54
2.5.7	Secuencia de minado.....	54
2.5.8	Mineral.....	55
2.6	Formulación de la Hipótesis.....	55
2.6.1	Hipótesis general.....	55
2.6.2	Hipótesis específicas.....	55

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Diseño de investigación.....	56
3.2	Tipo de investigación.....	56
3.3	Nivel de investigación.....	56
3.4	Metodología de investigación.....	57
3.5	Población.....	57
3.6	Muestra.....	57
3.7	Identificación y clasificación de variables e indicadores.....	57
3.8	Técnicas de recolección de datos.....	58

3.8.1	Datos generales de la pala.....	58
3.8.2	Determinación de ciclo de carguío	59
3.8.3	Determinación de otros tiempos muertos	59
3.9	Instrumentos de recolección de datos	60
3.10	Técnicas para el procesamiento de la información	60
3.10.1	Secuencia de minado.....	60
3.11	Ubicación	61
3.12	Geología regional.....	61
3.13	Geología local	62
3.14	Geología estructural	62

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1	Análisis de tiempos muertos de la pala eléctrica P01	63
4.1.1	Determinación de tiempos muertos.....	64
4.1.2	Producción diaria de la pala eléctrica P01 en la fase 5	64
4.1.3	Diseño de secuencia de minado anual de la pala eléctrica.....	65
4.1.4	Diseño de secuencia de minado para mes de enero 2017	66
4.1.5	Diseño de secuencia de minado para mes de febrero 2017.....	67
4.1.6	Diseño de secuencia de minado para mes de marzo 2017	68
4.1.7	Diseño de secuencia de minado para mes de abril 2017.....	69
4.1.8	Diseño de secuencia de minado para mes de mayo 2017	70
4.1.9	Diseño de secuencia de minado para mes de junio 2017	71
4.1.10	Diseño de secuencia de minado para mes de julio 2017.....	72
4.1.11	Diseño de secuencia de minado para mes de agosto 2017.....	73
4.1.12	Diseño de secuencia de minado para mes de setiembre 2017	74

4.1.13	Diseño de secuencia de minado para mes de octubre 2017	75
4.1.14	Diseño de secuencia de minado para mes de noviembre 2017	76
4.1.15	Diseño de secuencia de minado para mes de diciembre 2017	77
4.1.16	Resumen de la productividad anual de la pala eléctrica	78
4.2	Optimización de los tiempos de secuencia de minado de la pala eléctrica	79
4.2.1	Productividad anterior de la pala eléctrica	79
4.2.2	Productividad optimizada para el ángulo de 75° de la pala eléctrica	80
4.2.3	Cálculo de parámetros de producción por toneladas por ciclo	81
4.2.4	Cantidad de toneladas por hora.....	82
4.2.5	Comparación de la producción para diferentes ángulos de giro	82
4.3	Discusiones	84
CONCLUSIONES		86
RECOMENDACIONES		87
BIBLIOGRAFÍA		88
ANEXOS		91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características más importantes de las palas eléctricas	37
Tabla 2. Algunas propiedades para varios materiales que son importantes	39
Tabla 3. Factor de corrección de ángulo de giro.....	42
Tabla 4. Factor de traslado.....	44
Tabla 5. Variables e indicadores.....	58
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la pala P&H 2400XPB	58
Tabla 7. Tiempos de ciclo de carguío	59
Tabla 8. Tiempo muertos	59
Tabla 9. Determinación de tiempos muertos	64
Tabla 10. Ajuste de los tiempos muertos	65
Tabla 11. Operación de la pala para el mes de enero 2017.....	66
Tabla 12. Operación de la pala para el mes de febrero 2017	67
Tabla 13. Operación de la pala para el mes de marzo 2017	68
Tabla 14. Operación de la pala para el mes de abril 2017	69
Tabla 15. Operación de la pala para el mes de mayo 2017.....	70
Tabla 16. Operación de la pala para el mes de junio 2017	71
Tabla 17. Operación de la pala para el mes de julio 2017	72
Tabla 18. Operación de la pala para el mes de agosto 2017	73
Tabla 19. Operación de la pala para el mes de setiembre 2017.....	74
Tabla 20. Operación de la pala para el mes de octubre 2017	75
Tabla 21. Operación de la pala para el mes de noviembre 2017	76
Tabla 22. Operación de la pala para el mes de diciembre 2017	77
Tabla 23. Tiempos tomados para el ángulo de giro de 90°.....	79
Tabla 24. Disponibilidad y utilización de la pala eléctrica y el factor de traslado	80

Tabla 25. Factores para cálculo de la productividad de la pala eléctrica.....	80
Tabla 26. Tiempos tomados para ángulo de giro de 90° para la pala eléctrica	80
Tabla 27. Datos de disponibilidad promedio de la pala eléctrica	81
Tabla 28. Datos para el cálculo de productividad de la pala eléctrica	81
Tabla 29. Factores para determinar la cantidad de material	81

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Pala eléctrica de cable.....	29
<i>Figura 2.</i> Partes de la pala eléctrica.....	29
<i>Figura 3.</i> Parte inferior de la pala eléctrica	30
<i>Figura 4.</i> Parte superior de la pala eléctrica	30
<i>Figura 5.</i> Parte fontal del implemento de la pala eléctrica	31
<i>Figura 6.</i> Partes del balde de la pala eléctrica	31
<i>Figura 7.</i> Imagen del modo de operación de la pala	32
<i>Figura 8.</i> Fase de carga de la pala eléctrica.....	34
<i>Figura 9.</i> Fase de giro de la pala eléctrica	35
<i>Figura 10.</i> Fase de descarga de la pala eléctrica	35
<i>Figura 11.</i> Fase de retorno de la pala eléctrica.....	36
<i>Figura 12.</i> Características más importantes de las palas eléctricas	38
<i>Figura 13.</i> Índices operacionales ASARCO.....	45
<i>Figura 14.</i> Geometría del banco	47
<i>Figura 15.</i> Trabajo en rampa de acceso.....	48
<i>Figura 16.</i> Trabajo en rampa de acceso con dos camiones	49
<i>Figura 17.</i> Proceso de expansión de trabajo a inicios de ingresar a siguiente nivel	50
<i>Figura 18.</i> Pala trabajando según el método de corte frontal.....	50
<i>Figura 19.</i> Pala trabajando según el método de cortes paralelos.....	51
<i>Figura 20.</i> Posicionamiento de la pala en retroceso	52
<i>Figura 21.</i> Posicionamiento de la pala en avance paralelo.....	53
<i>Figura 22.</i> Fases de producción de la unidad minera Cuajone -2017	60
<i>Figura 23.</i> Ubicación geográfica de la Unidad Minera Cuajone.....	61
<i>Figura 24.</i> Distribución de tiempo para ángulo de giro de 90°	64

<i>Figura 25.</i> Distribución de tiempos optimizados para ángulo de giro de 75°	65
<i>Figura 26.</i> Secuencia de minado para el mes de enero	66
<i>Figura 27.</i> Secuencia de minado para el mes de febrero.....	67
<i>Figura 28.</i> Secuencia de minado para el mes de marzo	68
<i>Figura 29.</i> Secuencia de minado para el mes de abril	69
<i>Figura 30.</i> Secuencia de minado para el mes de mayo	70
<i>Figura 31.</i> Secuencia de minado para el mes de junio	71
<i>Figura 32.</i> Secuencia de minado para el mes de julio	72
<i>Figura 33.</i> Secuencia de minado para el mes de agosto	73
<i>Figura 34.</i> Secuencia de minado para el mes de setiembre.....	74
<i>Figura 35.</i> Secuencia de minado para el mes de octubre	75
<i>Figura 36.</i> Secuencia de minado para el mes de noviembre	76
<i>Figura 37.</i> Secuencia de minado para el mes de diciembre	77
<i>Figura 36.</i> Resumen de producción promedio anual representada en día.....	78
<i>Figura 37.</i> Resumen de disponibilidad de la pala eléctrica.....	79
<i>Figura 40.</i> Comparación de la producción para diferentes ángulos de giro.....	82
<i>Figura 41.</i> Comparación de producción de toneladas por mes de la pala eléctrica.....	83
<i>Figura 42.</i> Comparación de producción para distintos ángulos de giro	83

ÍNDICE DE AGRÓNIMOS

UM	: Unidad Minera
TMD	: Toneladas Métricas por Día
TM	: Toneladas
Yd3	: Yarda cubica
P01	: Pala eléctrica 01, P&H 2800 XPB
Nv	: Nivel del banco de minado
TC	: Toneladas por Ciclo
BC	: Capacidad nominal del balde
Ff	: Factor de llenado
Wb	: Densidad de roca fragmentada
Sw	: Factor de esponjamiento
Tc	: Tiempo del ciclo
TA	: Tiempo promedio
CBH	: Factor de corrección de altura
Cs	: Factor de corrección de ángulo de giro
Ct	: Ciclo teórico
MA	: Factor de disponibilidad Mecánica
TD	: Tiempo Disponible
UA	: Factor de Utilización
E	: Factor de Eficiencia de trabajo
P	: Factor de traslado de la maquina
Vm	: Velocidad de maniobra
SPCC	: Southern Perú Copper Corporation

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “DISEÑO DE SECUENCIA DE MINADO DE LA PALA ELECTRICA P01, PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION EN LA FASE 5 DE LA UNIDAD MINERA CUAJONE” desarrollado por la empresa minera Southern Perú, que se encuentra ubicado en la jurisdicción del distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto del departamento de Moquegua, actualmente viene desarrollo por el método de minado a tajo abierto, extrayendo minerales a gran escala como cobre y molibdeno, mediante el carguío de mineral y secuencia de minado de la pala eléctrica tiene problemas de retraso en la secuencia de minado en la fase 5 del nivel 3025. El problema de investigación plantea como objetivo general diseñar la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 P&H 2800 XPB para incrementar la producción en la fase 5 a partir del nivel 3025 en la Unidad Minera Cuajone, se determinó la producción anual, la producción mensual de la pala eléctrica y descripción de la secuencia de minado de manera muy detallada para, de esta manera tener un mejor desplazamiento y mejorar la producción, en el ámbito de la metodología de investigación es cuantitativo con tipo de investigación descriptivo aplicativo que consiste en la descripción e identificación de cada uno de los componentes esenciales de la secuencia de la pala eléctrica donde el estudio se realizó por un periodo de 3 meses obteniéndose una base de datos con información relevante de reportes de área de planeamiento. Se concluyó al disminuir el ángulo de giro de 90° a 75° , dicho dato influyó en el tiempo de ciclo de carguío de la pala eléctrica en 32.4 segundos. Se logró en incremento de la producción de 2,570.63 toneladas, disminuyendo el ángulo de giro de la pala eléctrica P01 de 90° a 75° , de 47,556.66 a 50,127.29 toneladas por día.

Palabras clave: Diseño, producción y secuencia de minado

ABSTRACT

The present research work entitled “DESIGN OF MINING SEQUENCE OF THE ELECTRIC SHOVEL P01, TO INCREASE THE PRODUCTION IN PHASE 5 OF THE CUAJONE MINING UNIT” developed by the mining company Southern Peru, which is located in the jurisdiction of the district of Torata, province of Mariscal Nieto of the department of Moquegua, is currently developing by the open pit mining method, extracting large-scale minerals such as copper and molybdenum, by loading ore and mining sequence of the electric shovel has delay problems in the mining sequence in phase 5 of level 3025. The research problem raises the general objective of designing the mining sequence of the electric shovel P01 P&H 2800 XPB to increase production in phase 5 from level 3025 in the Unit Minera Cuajone, the annual production, the monthly production of the electric shovel and description of the mining sequence of very detailed way to, in this way have a better displacement and improve production, in the field of research methodology is quantitative with type of descriptive application research that consists of the description and identification of each of the essential components of the sequence of the electric shovel where the study was carried out for a period of 3 months obtaining a database with relevant information from planning area reports. It was concluded by decreasing the angle of rotation from 90° to 75° , this data influenced the loading cycle time of the electric shovel in 32.4 seconds. It was achieved in an increase in production of 2,570.63 tons, reducing the angle of rotation of the P01 electric shovel from 90° to 75° , from 47,556.66 to 50,127.29 tons per day.

Keywords: Design, production and mining sequence

INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Cuajone de la empresa Southern Perú, actualmente está desarrollando una explotación a tajo abierto de minerales tales como cobre y molibdeno. El carguío lo realiza con palas eléctricas de gran dimensión de carga del mismo modo los equipos de transporte. Para el presente trabajo realizamos el estudio para la pala eléctrica (P01) P&H 2800XPB que tiene una capacidad balde de 59 toneladas con una disponibilidad promedio de 90% que está ubicado en la fase 5 del nivel 3025 en interior mina, la pala eléctrica (P01) tiene una capacidad de 46 Yd³ de balde y tiene que abastecer de mineral a concertadora en un 69%, donde existe muchos factores para que disminuya su producción diaria, uno de ellos es por la profundidad que se ubica y la plataforma de minado estrecho. En el carguío de mineral se presentan tiempos muertos a falta de un óptimo diseño de secuencia de minado, es muy necesario diseñar un plan de producción y detallar la secuencia de minado a partir de tiempos de ciclo de carguío, para así aumentar la eficiencia de la pala eléctrica P01, con disminuir en ángulo de giro de la pala eléctrica P01 de 90° a 75° en la fase 5 del nivel 3025 y optimizar los tiempos de secuencia de minado de la pala eléctrica P01, en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone Southern Perú.

El estudio de investigación se ha dividido en cuatro capítulos, en el Capítulo I, se considera la introducción del estudio de investigación, en el Capítulo II, se ha desarrollado la revisión de literatura, analizando las bases teóricas y definiciones conceptuales para realizar el estudio de investigación, en el Capítulo III, se ha descrito los materiales y métodos utilizados en la investigación, en el Capítulo IV, se muestra los resultados y discusiones del diseño de secuencia de minado de la pala eléctrica P01, para incrementar la producción en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La compañía minera Southern Perú en su Unidad Minera Cuajone, la producción diaria es de 525,000 TMD, la producción de mineral es de 87,000 TMD viene explotando los minerales de cobre y molibdeno con una ley promedio de Cu 0.611% y Mo 0.018% respectivamente, mediante el método de explotación a tajo abierto con cinco fases de minado y con equipos de gran dimensión, donde el carguío del mineral lo realiza con la pala eléctrica (P01) P&H 2800XPB con capacidad de 46 Yd³ de balde, donde se localizó deficiencias en la fase 5 del nivel 3025 tales como: retraso en la secuencia de minado de la pala a diario, falta de control de tiempo en ciclo de carguío de la pala eléctrica y como resultado de la evaluación tiene problemas de elevados tiempos de minado de P01 en la fase 5 del nivel 3025 y baja producción de toneladas por día, esta estructura de análisis conduce a que en la mina Cuajone se realicen diseños para ser ejecutados de manera optimizada, porque se trabaja con equipos de gran dimensión entre palas eléctricas, así como el movimiento de más de 50 camiones de acarreo y altos ritmos de producción debido al nivel de planificación otorgado por el largo plazo. En el carguío de mineral se presentan tiempos muertos a falta de un óptimo diseño de secuencia de minado, es muy necesario diseñar un plan de

producción y detallar la secuencia de minado a partir de tiempos de ciclo de carguío, para así aumentar la eficiencia de la pala eléctrica P01 y aumentar la producción en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone, la pala eléctrica P01, está ubicado en interior mina en la fase 5 en el nivel 3025 y cumple la función de alimentar a concentradora la producción de mineral diaria a un 69 %, es por ello muy importante el estudio ya que depende mucho de esta pala, él envío de mineral a concentradora.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar la secuencia de minado de la pala eléctrica P01, para incrementar la producción en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo analizar los tiempos muertos de la pala eléctrica P01, en la fase 5 a partir del nivel 3025 en la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú?
- b) ¿De qué manera optimizar los tiempos en la secuencia de minado de la pala eléctrica P01, en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar la secuencia de minado de la pala eléctrica P01, para incrementar la producción en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú

1.3.2 Objetivo específico

- a) Analizar los tiempos muertos de la pala eléctrica P01, en la fase 5 del 3025 en la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú
- b) Optimizar los tiempos en la secuencia de minado de la pala eléctrica P01, en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú

1.4 Justificación de la investigación

En la Unidad Minera Cuajone se trabaja en 5 fases: F-8, F-7, F-6B2, F-6 y F-5 y con 7 palas eléctricas ubicados estratégicamente en distintas fases, la fase 5 es de vital importancia para la unidad porque se encuentra en la etapa de producción, la pala eléctrica P01 se ubica en dicha fase realizando los trabajos de carguío de mineral para ser transportados a planta concentradora.

Por lo que es importante la coordinación de todas las áreas involucradas para llegar a un mismo objetivo de producción de cobre fino como resultado final. En tal sentido, se justifica la investigación por el *Diseño de secuencia de minado de la pala eléctrica P01, para incrementar la producción en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone -Southern Perú*, aplicando correctamente la solución de optimizar los procesos de minado para la producción de la pala eléctrica P01.

El presente trabajo tuvo una orientación netamente de planeamiento minería a tajo abierto, en producción y secuencia de minado de la pala eléctrica, principalmente empezando de la producción por hora de la pala eléctrica en toneladas diarias, del mismo modo se da la secuencia de minado por semana que debe seguir la pala eléctrica al momento de minar en un mes, para así tener una dirección correcta de minado y no poseer demoras o tiempos muertos en la operación, por otra parte es no prorrogar los planes anuales de minado de la Unidad Minera, por ello causa mucha pérdida, retraso en la producción y secuencia de minado, en consecuencia no se cumple el plan de desplazamiento de la pala eléctricas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

Gonzales Paihua, T. (2010), en su tesis *Diseño de minas a tajo abierto*, indica que: Para hacer los planes de minado por períodos, usamos como guía las fases de minado, así las primeras fases que en general pueden tener poco desbroce son minadas al inicio, mientras las fases sucesivas se puede iniciar el desbroce, con la finalidad de tener siempre mineral disponible para los procesos, aquí es donde se debe existir un balance adecuado para no tener años en los cuales el requerimiento de equipos sea inviable, el objetivo del plan de minado es proveer de manera constante de mineral a los procesos y tener el mayor VAN a través de la vida del proyecto, para ello se tiene una estrategia de ley de corte, generalmente los primeros años del proyecto las leyes que se envían son altas depositando parte del material en stocks que posteriormente serán minados, con esto se logra que el período de retorno de la inversión sea corto.

Tello Tamayo, S. (2017), en su tesis *Optimización del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo con el software Minesight en el tajo Ferrobamba, las Bambas - Apurímac 2017*, concluye que: La optimización de los cortes de minado para las distintas palas según el tipo de material a minar, se mejora las condiciones operativas para el

cumplimiento de los diseños de fase establecidos, pudiendo de esta forma realizar los controles topográficos diarios. Un buen plan de minado garantiza un óptimo desarrollo de la mina, considerando que las fases de minado deben ser las más adecuadas. Las consideraciones geométricas, del yacimiento están principalmente ligadas a su tamaño, a las consideraciones geomecánicas, ratio de minado, tamaño de equipos, etc. Sin embargo, en operaciones grandes; de cobre, oro, etc. Están siendo estandarizadas, en función a la altura de banco usual de 15 metros, y empleo de equipos como camiones de la misma capacidad, las palas y equipos de perforación; sin embargo, la variabilidad se da en yacimientos medianos o pequeños. En el diseño de las fases de minado, se debe garantizar la factibilidad de usar una determinada carretera de acceso para salir de las fases inferiores mientras se inicia el desbroce de la fase siguiente.

Pocohuanca Turpo, E. (2016), en su tesis *Optimización de carguío y transporte en tiempo real con aplicación de software JmineOPS en mina Cuajone – Southern Perú*, en su conclusión parcial indica: Palas esperando volquetes se incrementa de 29.77% a 34.34% estos valores indican que en el carguío con palas aún existe la tarea de lograr a optimizar hasta llegar a 10% que es el óptimo para las palas sin embargo es necesario considerar que las palas son eléctricas y no general la quema de combustible innecesario comparados con los volquetes en cola con lo que se logra optimizar el transporte de minerales.

Cotrado Cahui, R. (2017), en su tesis *Efecto del parámetro de fragmentación P80 en la velocidad de excavación de las palas electromecánicas en mina Cuajone*, indica: La aplicación básica de una pala eléctrica es cargar verticalmente el material hacia arriba (shovel up) comenzando desde el nivel del piso con el cucharón moviéndose dentro de la corte de trabajo o banco, siendo impráctico excavar por debajo del nivel del piso, a excepción de situaciones específicas o inusuales, la fuerza que hace posible esta operación es la combinación de la fuerza de izaje (hoist) y la fuerza de empuje/recojo (crowd). Además,

menciona que: Los tiempos que mayor consumen en el ciclo son el tiempo de carguío y los segmentos de tiempo de giro. Considerando un tiempo de ciclo de 25 segundos con un ángulo de movimiento de 60 grados en condiciones duras de excavación, para llenar el cucharón en el banco se requieren 6 segundos el cual es equivalente al 25 % del tiempo total del ciclo, el tiempo que le toma girar son acerca de 8 segundos que es el 32 % del tiempo total, uno o dos segundos para descargar el material en el equipo de acarreo, luego la pala gira para retornar a su posición de carguío el cual le toma un 35 % del tiempo total incluyendo el tiempo de descarga, finalmente se tiene el tiempo de acomodo del cucharón en el toe para comenzar con el siguiente ciclo, siendo dos segundos que representa el 8 % restante del ciclo total.

González Riquelme, H. (2017), en su tesis *Selección y asignación óptima de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto de la Universidad de Chile*, indica que: El plan de movimiento de material debe incluir también factores que representen la realidad, considerando las mantenciones realizadas a los equipos, junto con los factores operacionales relacionados con las personas que trabajan con ellos.

Una buena asignación de los equipos a su lugar de trabajo se ve reflejada no tan solo en el valor económico, sino que también en la continuidad con que se logra alimentar la planta con mineral y en el cumplimiento de plan de producción. Esto último es un resultado que dependerá del momento en el cual se comienzan a explotar las distintas fases de la mina en función de los tonelajes remanentes en las fases anteriores.

López Aburto, V. (2012), Diseño de operaciones mineras a cielo abierto en donde indica que: El tiempo teórico del ciclo para palas hidráulicas varía de 25 a 45 segundos por ciclo, dependiendo del tamaño de la máquina. El tiempo del ciclo para palas eléctricas resulta similar al de las hidráulicas.

El tiempo utilizado en la fase de giro del ciclo de cargado representa la parte más grande del ciclo completo. Mantener el arco de giro tan estrecho como sea posible ayuda a mejorar la eficiencia de la operación.

Un arco de giro de 70 grados se considera como estándar, por ejemplo, 100 % de rendimiento óptimo. Incrementar el arco de giro, hará que se reduzca el rendimiento, mientras que reducir el arco, lo incrementará. El mayor alcance de las palas eléctricas, les permite mantener un arco de giro óptimo por un número más grande de ciclos de cargado, antes de que sea necesario moverlas a una nueva posición. El operador de la pala hidráulica tendrá la opción de girar más para lograr un buen factor de llenado, o propulsar la pala más cerca de la cara de ataque. Ambas acciones tendrán un impacto negativo en los ciclos de cargado.

Gutiérrez Espinoza, P. (2013), en su tesis *Parámetros que influyen al llenado del cucharón de palas eléctricas para optimizar el carguío en minería a tajo abierto*, concluye que:

1. Los parámetros más importantes que influyen en el llenado del cucharón de las palas eléctricas son: fragmentación y esponjamiento, el turno de trabajo y operador.
2. El cálculo del porcentaje promedio del factor de llenado en función a la fragmentación, esponjamiento y pericia del operador, alcanzó a 98% en material excelente de roca pórfido dacítico monzonítico con fuerte alteración argílica.
3. Los parámetros determinables que influyen el llenado del cucharón de palas eléctricas, sirvieron para optimizar el carguío y calcular la productividad de las tres palas eléctricas, cuyas productividades alcanzaron: 5 419 TM/h, 8 224 TM/h y 8870 TM/h para palas modelos 2800, 4100C y 4100XPC respectivamente.

León Chávez, R. (2017), en su tesis *Proyectos de mejora y reducción de costos en una mina superficial de cobre*, indica que: Las palas eléctricas, como su nombre lo indica, trabajan mediante electricidad. Por ello, necesitan ser alimentadas mediante cables de alta tensión (7.2 KV). Además, es importante definir las correctas ubicaciones de los elementos que sirven de apoyo en la conexión de los cables eléctricos a las palas de tal manera que no atrasen la operación.

Puente aéreo pasacables: puente por el cual el cable eléctrico queda suspendido una altura de 15 metros aproximadamente a través de dos postes de madera los cuales tienen como base cada uno un neumático (dado de baja) de un camión minero (el poste de madera se encuentra unido al neumático mediante concreto). Además, el puente tiene como ancho de 15–18 m. La función del puente aéreo es que el camión minero pueda pasar por debajo evitando que aplaste al cable eléctrico que proporciona energía a la pala.

Ayudante: elemento que tiene la función de mantener tenso el cable de la pala y así evitar que la pala eléctrica pise su propio cable de alimentación de energía al momento que está minando el frente de carguío. Además, este elemento posee un arco en su parte superior, lo cual es importante ya que ayuda a que la pala pueda cargar al ayudante cuando tenga que desplazarse distancias muy cortas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Programa de producción

El objetivo de la programación de la producción es maximizar el valor presente neto y el retorno de la inversión que puede derivarse de la extracción, concentración y venta de algunos productos de un depósito de mineral. El método y la secuencia de extracción, el grado de corte y la estrategia de producción se verán afectados por los siguientes factores principales:

- Localización y distribución del mineral con respecto a la topografía y elevación.

- Tipos de minerales, características físicas y grado de distribución de tonelaje.
- Los gastos operativos directamente relacionados con la minería, procesamiento y conversión de la materia prima en una forma vendible.
- Los costos de capital inicial y de reemplazo necesarios para iniciar y mantener la operación.
- Costos indirectos como impuestos y regalías.

El procedimiento utilizado para establecer el programa de minería óptimo se puede dividir en tres etapas

- El primero define el orden de extracción o la secuencia de extracción
- El segundo define una estrategia de ley de corte que varía con el tiempo y será óptima para un conjunto dado de parámetros de producción
- El tercero define qué la combinación de tasas de producción de la mina, el molino y la refinería será óptimo, dentro de los límites establecidos por las limitaciones logísticas, financieras, marketing y otras.

Para desarrollar un programa de producción óptimo, primero se debe determinar una secuencia u orden de extracción dentro del llamado pit final.

La secuencia de extracción depende de dos subconjuntos de parámetros.

- El primero trata de la relación de banda asociado con la recuperación del mineral, el grado del mineral y la ubicación física del mineral con respecto a la disponibilidad a través del tiempo
- El segundo subconjunto de parámetros consiste en los costos asociados con el inicio y el mantenimiento de toda la operación.

Antes de que comience la planificación de la producción minera, ya se ha completado una gran cantidad de trabajos en exploración y modelado del depósito. A partir de ese trabajo, se han hecho una serie de suposiciones tentativas, incluido el método de extracción

más probable; por lo tanto, la altura del banco, el tamaño aproximado del equipo de carga y la selectividad de la extracción. También se han realizado otros trabajos de prueba y suposiciones con respecto al tipo de proceso necesario para recuperar el producto. Estos parámetros se usarán para estimar el rango más probable de costos de minería y procesamiento.

Los cronogramas para la planificación a corto plazo permiten usar cortes (polígonos) o sólidos en módulos de planificación interactivos, obteniéndose una comprensible selección de parámetros y configuraciones flexibles que permiten controlar la producción diaria, semanal y mensual.

2.2.2 Programación de fases

Las fases diseñadas por computadora pueden determinarse alimentando los datos desarrollados y almacenados en un modelo de bloque de computadora en un conjunto de programas que pueden usarse para calcular un límite de fase económica.

El objetivo es desarrollar superficies potenciales tridimensionales de igual beneficio en todo el depósito mineral. Cada superficie debe estar suficientemente espaciada para permitir un espacio adecuado para extraer las rodajas entre las superficies. Dado que la distancia entre las superficies potenciales de igual beneficio variará, se requerirán algunos ajustes manuales, así como la adición de caminos de acarreo fuera de una fase, de ser necesario el acceso restante para la siguiente fase.

Fases mineras, típicamente tres o más están activas en un momento dado durante la vida de la mina, de estos uno o dos estarían en proceso de ser desarrollados, otro será extraído por mineral y el último se está acercando al agotamiento de reservas. Una sección describirá un procedimiento que puede usarse para ayudar a secuenciar las fases de modo que se produzca el flujo de mineral deseado.

2.2.3 Flota de equipos

Una vez que se han desarrollado los planes de fase, se pueden examinar los requisitos de la flota de equipos. Se prepara un gráfico que muestra el movimiento de tonelaje total y las relaciones de desmonte/mineral. En dicho gráfico, el planificador puede ver qué se debe hacer para ajustar o suavizar la producción. En este caso, la velocidad de minado fue constante y el plan fue elaborado para lograr:

- Una buena mezcla de mineral.
- Buena exposición al mineral.
- Buenas condiciones de operación

2.2.4 Palas eléctricas

Una pala eléctrica, algunas veces se le conoce como una pala mecánica o una pala electromecánica, es una maquina diseñada especialmente para excavar y cargar materiales en una minería de superficie, estas usan motores eléctricos, engranajes reductores, tambores y cables para realizar todos los movimientos requeridos para excavar, cargar y propulsar. La pala eléctrica se muestra en la figura 1, son utilizados en variadas condiciones mineras y con cualquier dureza de roca.

Existen tres elementos que determinan la capacidad productiva de una pala electro-mecánica, los cuales son:

- Capacidad de balde
- Tiempo de ciclo
- Disponibilidad del equipo

Una pala eléctrica está diseñada para poder soportar una carga bruta máxima permitida, el cual está definido por la combinación del peso del cucharón y la capacidad del balde.

Estas palas, requieren de un programa de mantenimiento predictivo y preventivo para que pueda alcanzar su máximo rendimiento. Además, es imprescindible un programa de capacitación para los operadores.



Figura 1. Pala eléctrica de cable
Fuente: Komatsu Mining Corp, 2019

La pala eléctrica consta de tres ensamblajes mayores: La parte inferior, la parte superior y el implemento con su balde, como se aprecia en la figura 2.

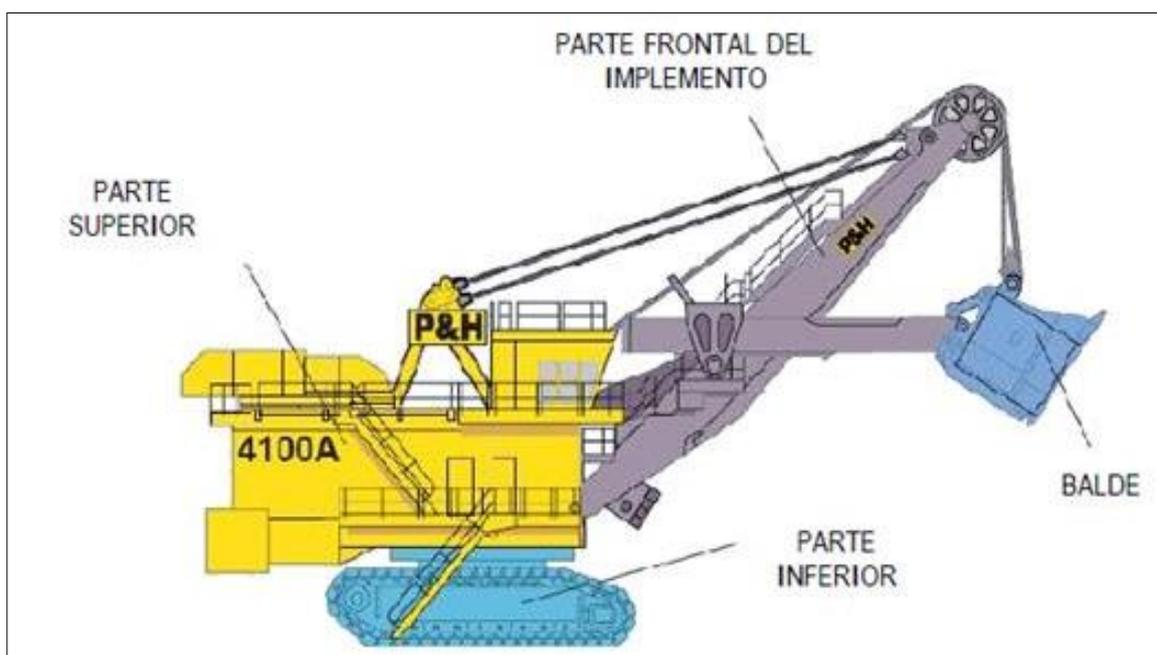


Figura 2. Partes de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

La parte baja provee una base estable para la maquina e incluye un sistema de orugas para su desplazamiento y una corona para el sistema de giro de 360°, como se aprecia en la figura 3.

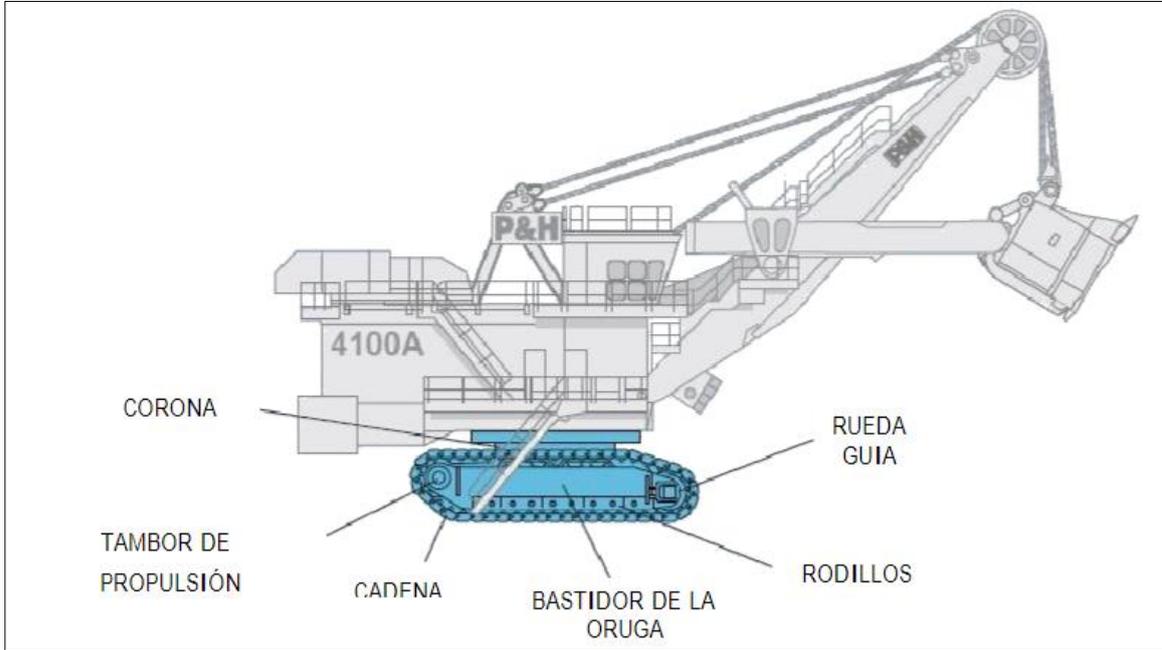


Figura 3. Parte inferior de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

La parte superior provee una plataforma para el izaje y el giro de la máquina, la pluma para el implemento, los gabinetes de control electrónico y la cabina del operador, figura 4.

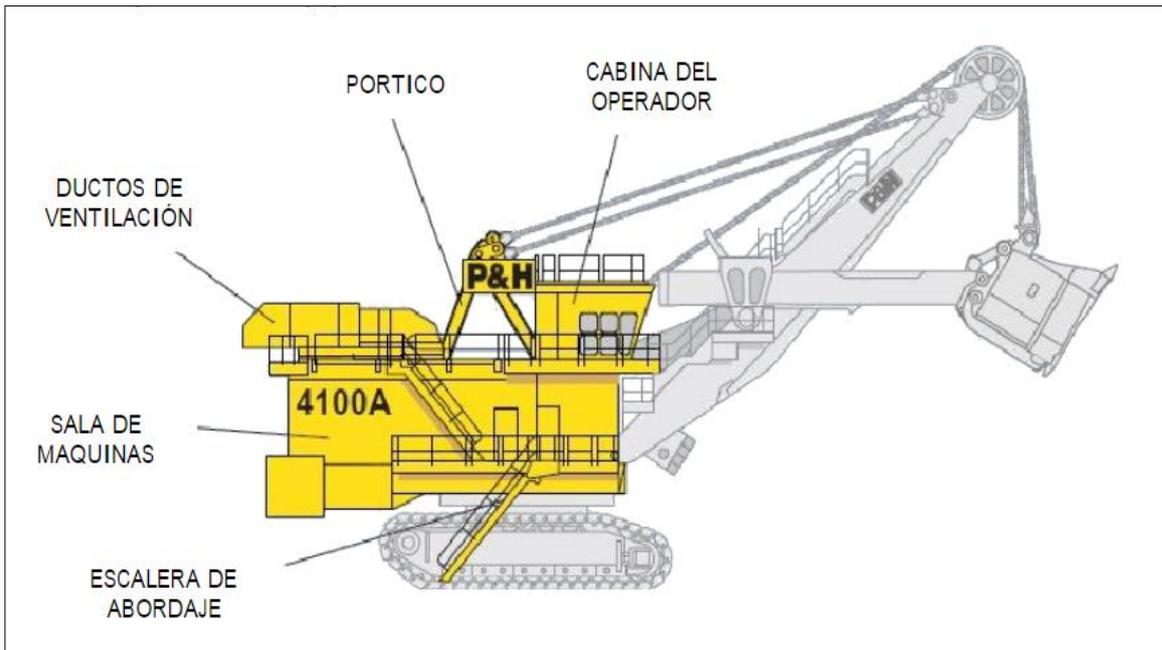


Figura 4. Parte superior de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

El implemento consiste en la pluma, el empuje del balde y el alza del balde al momento que realiza el llenado, figura 5.

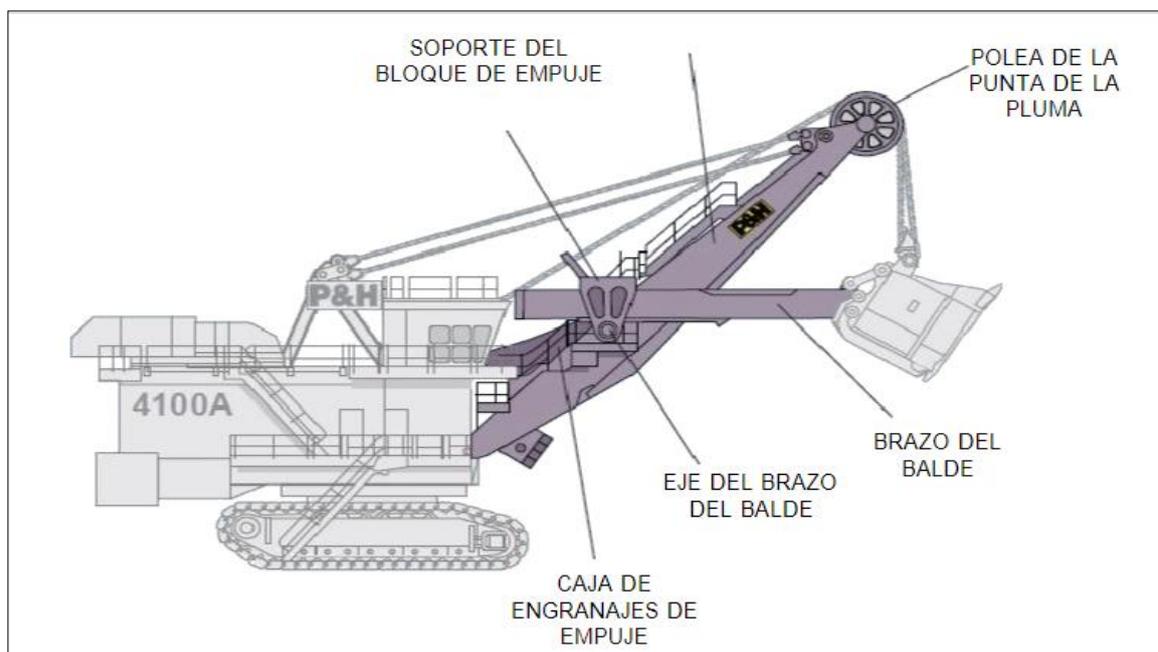


Figura 5. Parte frontal del implemento de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

Por último, en la pala también existe lo que se conoce como balde, que sirve para cargar el material y descargarlo en el vehículo de acarreo, figura 6.

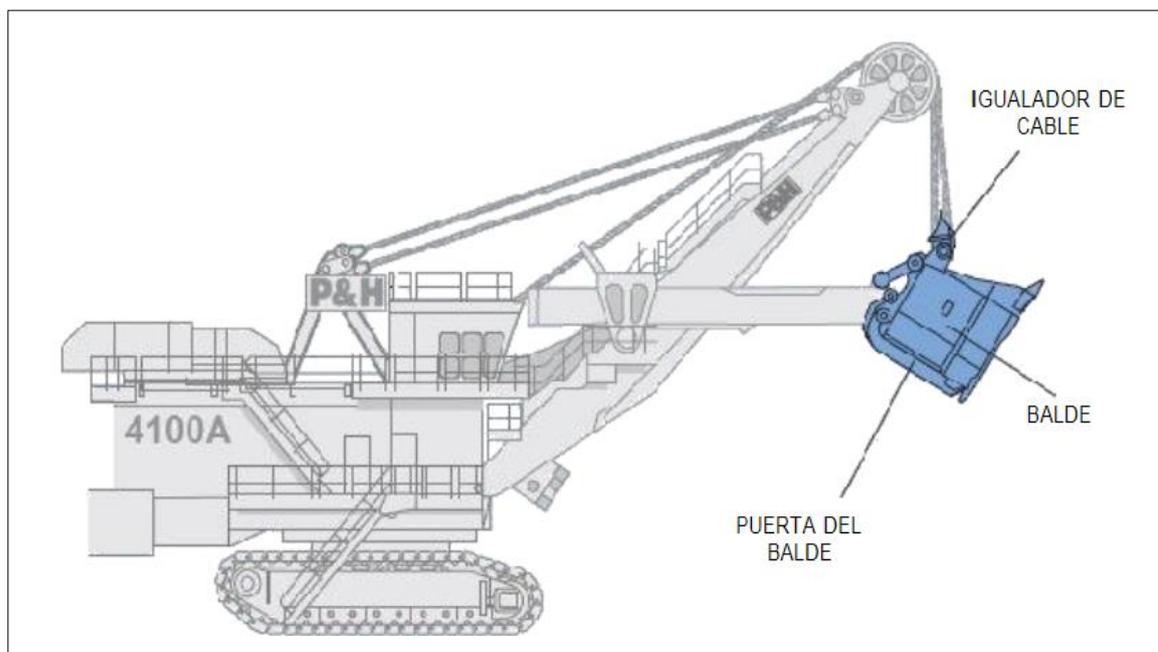


Figura 6. Partes del balde de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

2.2.5 El tiempo de ciclo

- Carguío del cucharón,
- Descarga
- Tiempo de giro

Siendo el tiempo de carguío un elemento considerable debido a que depende de varios factores, entre ellos: La habilidad del operador, naturaleza del material (fragmentación, altura de banco, densidad de material, fricción, etc.), diseño del cucharón, diseño de los accesorios del cucharón, características de los sistemas de control, por otra parte se considera al tiempo de giro como el segmento de tiempo más largo, la velocidad de este tiempo está determinado por la inercia, fuerza de torque desarrollado con respecto al centro de rotación y la velocidad máxima de giro. Con respecto a la disponibilidad del equipo, se menciona que depende básicamente de simplicidad del diseño, calidad de la manufactura, cumplimiento de los mantenimientos y obviamente evitar los abusos de operación (Profio, 1984).

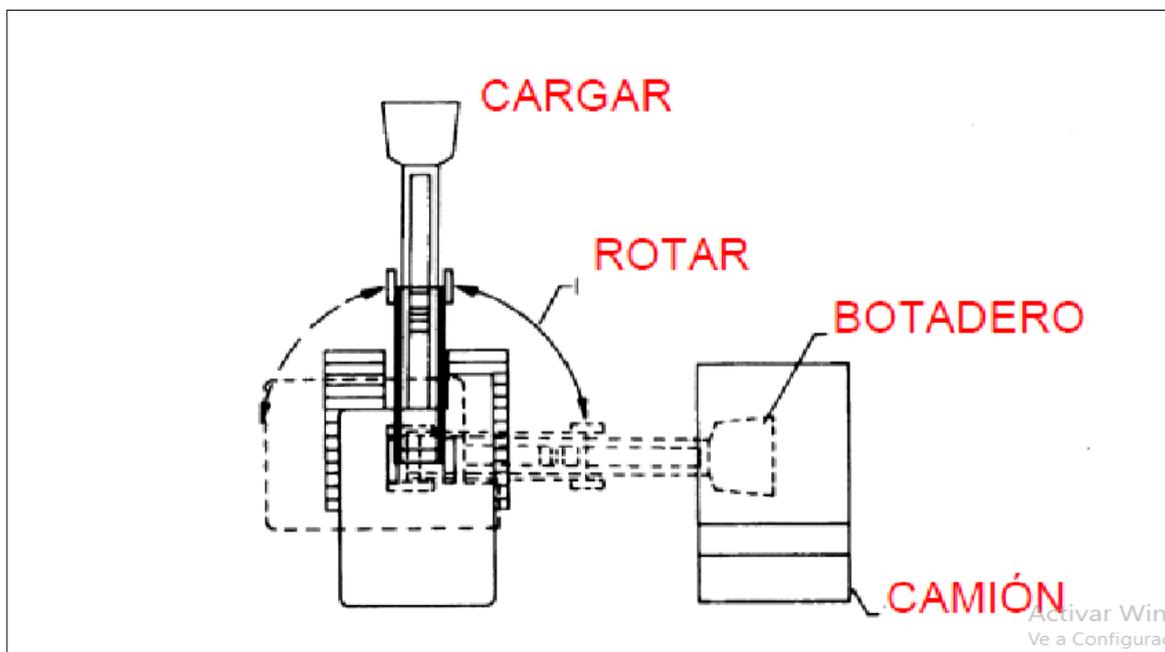


Figura 7. Imagen del modo de operación de la pala

Fuente: Tecsup, 2014

Las palas eléctricas de minería usan motores eléctricos, engranajes reductores, tambores y cables para realizar todos los movimientos requeridos para excavar, cargar y propulsar. La capacidad de esta máquina es típicamente de 25 m³ a 63 m³ (33 Yd³ a 82 Yd³). Para aplicaciones de rocas estándar.

2.2.6 Profundidad de corte óptima y producción

La profundidad de corte óptima es la que nos da la mayor producción y en la cual la pala al levantar la cuchara se llena completamente sin necesidad de repararla por la cara del material. La altura varía según la clase de terreno y el tamaño de la cuchara, la producción de una pala debe ser expresada en metros cúbicos o toneladas por hora basada en el volumen de medida en banco, pero en la realidad la producción de una pala tiende a ser menor que la producción ideal porque el equipo no siempre opera a su eficiencia pico y tampoco trabaja los 60 minutos por hora.

2.2.7 Ángulo de giro

El ángulo de giro de una pala es el ángulo horizontal, expresado en grados, entre la posición del cucharón cuando está excavando y la posición del cucharón cuando está descargando. El tiempo total del ciclo incluye la excavación, las maniobras de giro, la descarga y el retorno a la posición de excavación. Si el ángulo de giro se incrementa, el tiempo del ciclo también se incrementará; mientras que, si el ángulo de giro decrece, el tiempo del ciclo también será más corto si la pala está excavando con una profundidad óptima y se reduce el ángulo de giro de 90° a 60°, la producción se incrementará en 16%

2.2.8 Ciclo de trabajo de la pala eléctrica

El ciclo de trabajo para la pala eléctrica consta de cuatro fases:

- Carga
- Giro hacia el camión
- Descarga

- Retorno al banco

2.2.8.1 La fase de carga.

Involucra el movimiento de la carga del balde en el banco, cargando, elevado y limpiado del banco. Un apropiado balance de todos los movimientos durante la fase de carga es esencial para la eficiente y productividad, figura 8.

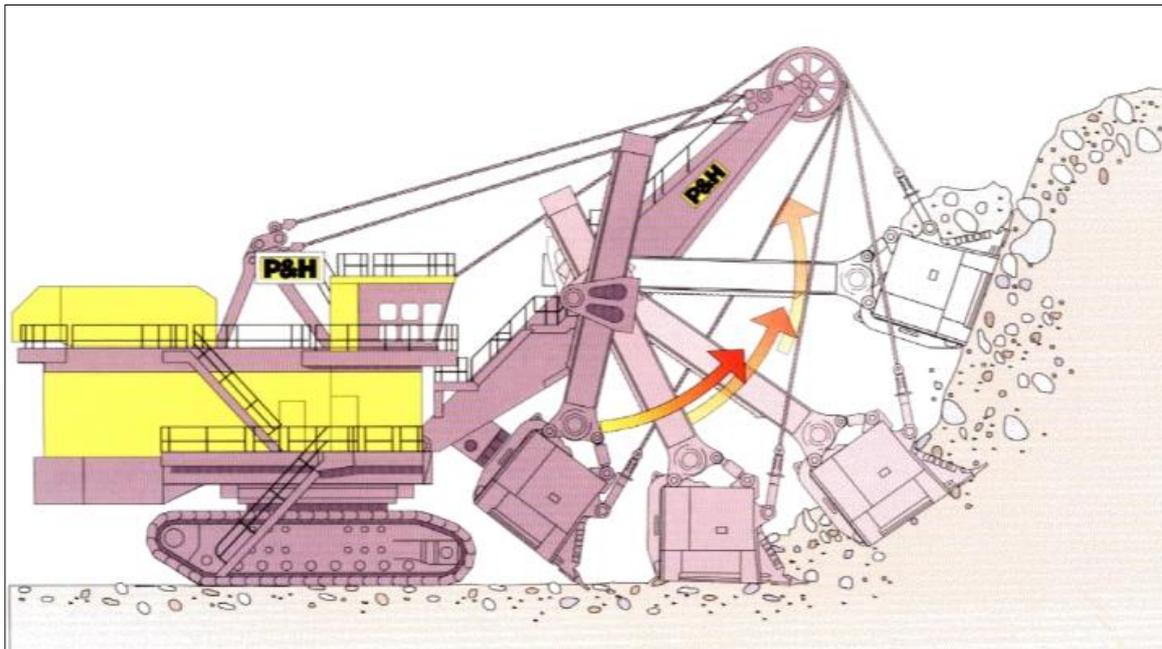


Figura 8. Fase de carga de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

2.2.8.2 La fase de giro.

Se inicia cuando el balde está completamente lleno. Durante esta fase el operador gira el balde a través de una trayectoria de giro planeada y una altura de descarga hasta estar posicionado sobre el camión de acarreo. El operador debe controlar el giro para asegurar una transmisión suave entre la aceleración y la desaceleración, figura 9

2.2.8.3 La fase de descarga.

Comienza cuando el balde se detiene sobre la unidad de acarreo y finaliza cuando el movimiento de giro termina y comienza el retorno del implemento al banco. Durante la fase de descarga, el operador abre el balde para descargar el material mientras controla la altura de descarga para evitar daños especialmente durante la primera descarga, figura 10.

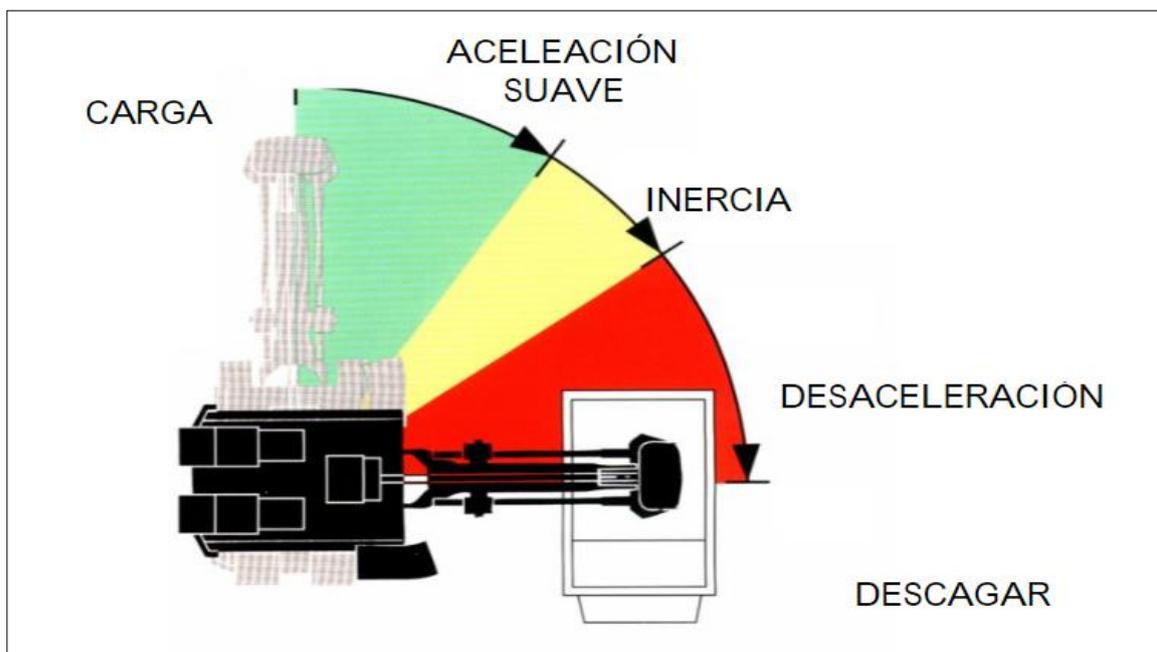


Figura 9. Fase de giro de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

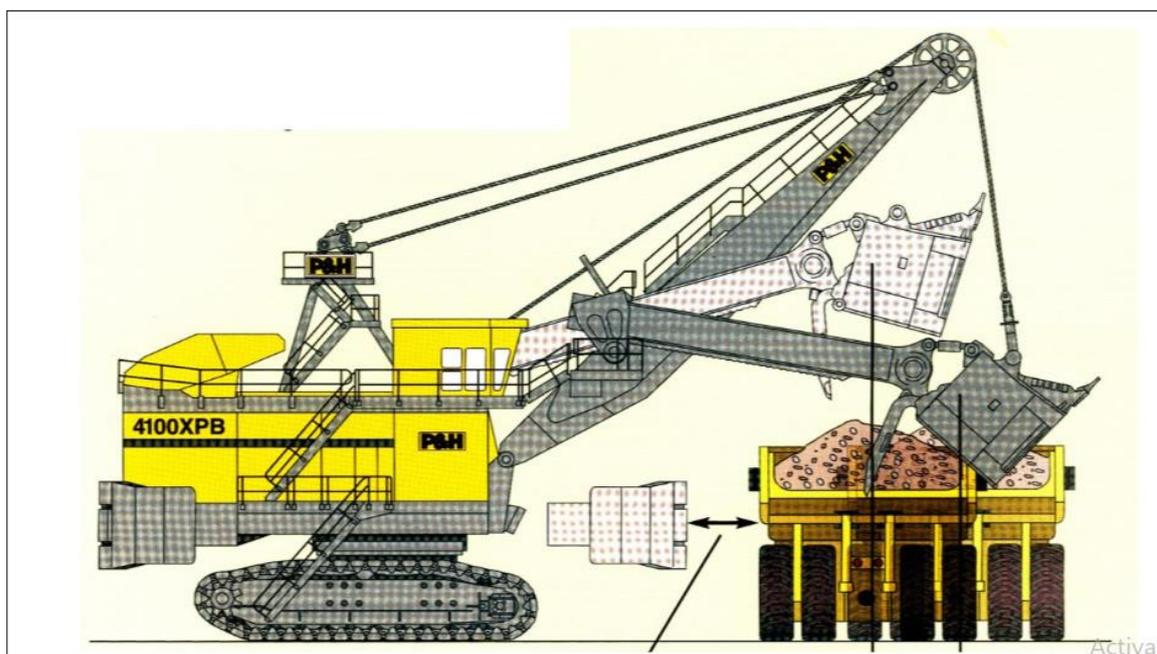


Figura 10. Fase de descarga de la pala eléctrica
Fuente: Tecsup, 2014

2.2.8.4 La fase de retorno.

Incluye el giro de la estructura superior del retorno al banco y bajar el balde a la posición adecuada para comenzar un nuevo ciclo de trabajo, figura 11.

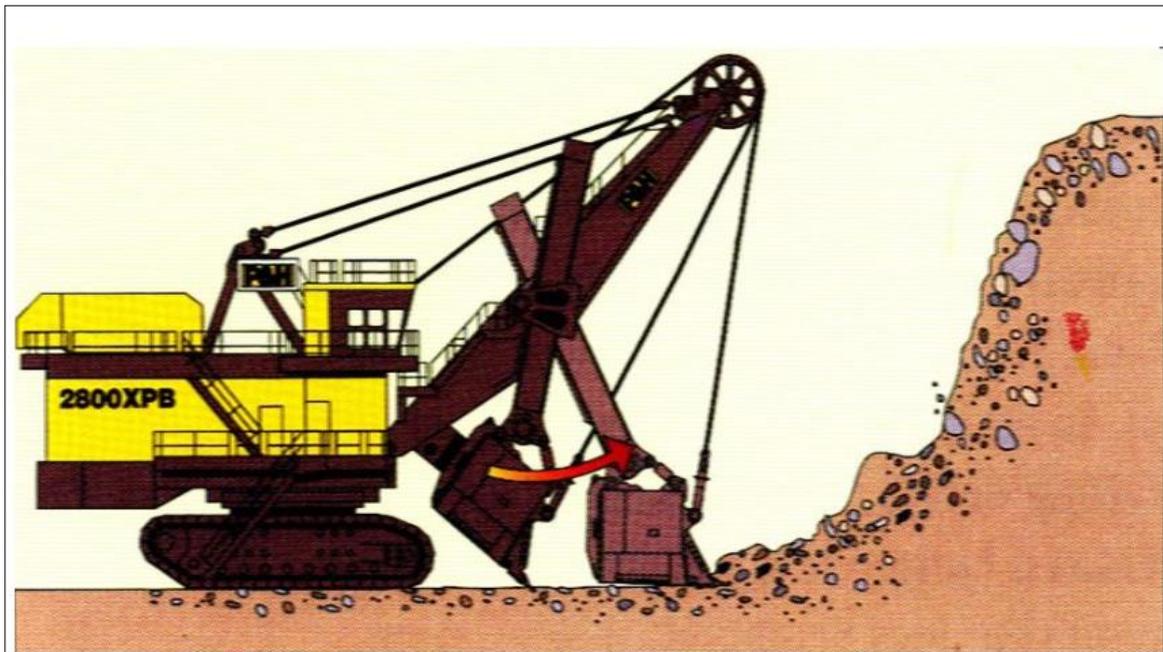


Figura 11. Fase de retorno de la pala eléctrica

Fuente: Tecsup, 2014

2.2.9 Prácticas operacionales

Existe una gran experiencia acumulada en el uso de palas eléctricas en operaciones mineras. Las prácticas comunes se pueden resumir brevemente de la siguiente manera:

- Los materiales fuertemente consolidados deben perforarse y pulirse antes de excavar.
- La pala debe operar en un piso nivelado y plano de excavación siempre que sea posible.
- La excavación cuesta abajo permite mayores fuerzas de empuje de excavación porque la gravedad aumenta resistencia de la máquina al movimiento lejos de la cara de excavación.
- Normalmente, la cara de excavación no debe ser más alta que la polea del punto de pluma.
- La punta del banco debe estar debajo de la parte trasera de la polea de punta o del eje del cargador.

- Es deseable realizar movimientos cortos y frecuentes para mantenga la pala cerca de la cara maximizando la efectividad de la multitud y las fuerzas de elevación.
- La penetración de la cara debe ser uniforme con una profundidad suficiente para llenar el cucharón en 2 o 3 longitudes de cucharón. Luego, el cucharón debe retirarse de la cara para minimizar el desplazamiento en el banco.
- Las buenas prácticas requieren cargar sobre la parte trasera del camión para evitar derrames cerca del conductor del camión. El cucharón vacío / cargado no debe balancearse sobre el personal u otro equipo.
- Cuando sea práctico, primero se deben cargar finos en el camión o la tolva para proporcionar un amortiguador para los materiales gruesos posteriores.
- El ciclo de excavación típico debería llevar de 25 a 35 segundos: excavar 24%, balancear cargado 32%, descargar y balancear vacío 34%, y posicionamiento de la cuchara 10%.

Se deben realizar giros intermitentes graduales para minimizar la acumulación de material en el costado de la pista (Martin J. , 1982, pág. 455).

2.2.10 Algunas dimensiones, diseños y especificaciones de pala típica

Las tablas 1 resumen algunas de las dimensiones importantes de la pala para varios modelos de pala, extraídos de las hojas de datos proporcionadas por P&H.

Tabla 1
Características más importantes de las palas eléctricas

Marca	Modelo	Altura de corte	Radio de corte	Altura de descarga	Radio a nivel del piso	Radio de giro de la cola	Nivel de ojo del operador
P&H	1900 AL	13	17.8	8.2	11.6	7	7.4
	2300XPC	13.5	21.3	8.5	14.2	10.1	7.9
	2800XPC	16.6	24.2	9.1	16.4	9.9	9.6
	4100XPC	16.8	23.9	9.5	16	9.8	10.1

Datos obtenidos de manual P&H
Fuente: Komatsu, 2019

La Figura 11 muestra una representación esquemática de la pala P&H 4100 XPC, que está cargando un camión de 400 Toneladas de capacidad. De esta manera, se puede verificar de manera fácil la coincidencia entre la geometría del camión y la pala.

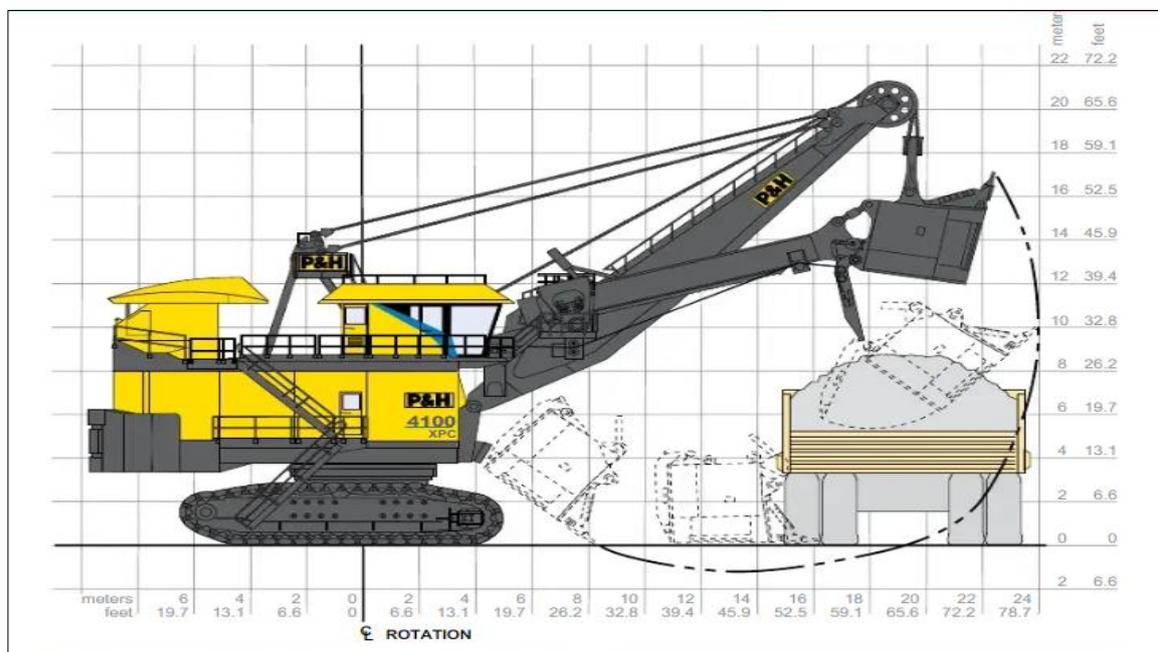


Figura 12. Características más importantes de las palas eléctricas
Fuente: Komatsu, 2019

2.2.11 Producción de la pala eléctrica por ciclos

Antes de describir el procedimiento de cálculo de producción de pala, es importante proporcionar algunos datos:

- Altura de banco estándar de 15 metros
- Ancho mínimo de minado de 75 metros
- Ancho de vías para volquetes es de 40 metros
- Gradiente de rampa de 8%

El ciclo de trabajo de una pala está determinado por la penetración del cucharón sobre el material a cargar, esta se eleva en el frente de carguío (pila de material) hasta que queda completamente llena, luego gira y descarga sobre la tolva del camión y nuevamente regresa el cucharón al frente de carguío. En la mina, el material que se va a cargar en el balde generalmente se debe aflojar primero de su posición in situ, esto a menudo se logra mediante

la voladura. Suponiendo que el material ocupa un volumen de un metro cúbico en su lugar, se esperaría que la misma cantidad de material ocupe un volumen mayor en condiciones sueltas, los valores del banco y las densidades de peso suelto para diversos materiales se dan en la Tabla 2 (Atkinson, 1992, pág. 1311)

Tabla 2
Algunas propiedades para varios materiales que son importantes

Rock	Specific gravity (bank)	Weight density lbs/bcy	Weight density lbs/lcy	Swell	Percent swell (%5)	Swell factor	Fill ability	Disability
Asbestos ore	1.9	3200	2885	1.4	40	0.71	0.85	M
Basalt	2.95	50000	3125	1.6	60	0.62	0.8	H
Bauxite	1.9	3200	2370	1.35	35	0.74	0.9	M
Chalk	1.85	3100	2384	1.3	30	0.76	0.9	M
Clay (dry)	1.4	2400	1920	1.25	25	0.8	0.85	M
Clay (light)	1.65	2800	2153	1.3	30	0.76	0.85	M
Clay (heavy)	2.1	3600	2666	1.35	35	0.74	0.8	M-H
Clay and gravel (dry)	1.5	2500	1923	1.3	30	0.76	0.85	M
Clay and gravel (wet)	1.8	3000	2222	1.35	35	0.74	0.8	M-H
Coal (anthracite)	1.6	2700	2000	1.35	35	0.74	0.9	M
Coal (bituminous)	1.25	2100	1555	1.35	35	0.74	0.9	M
Coal (lignites)	1.0	1700	1307	1.3	30	0.76	0.9	M
Copper ore (low-grade)	2.55	4300	2866	1.5	50	0.66	0.85	M-H
Copper ore (high-grade)	3.2	5400	3375	1.6	60	0.62	0.8	H
Earth (dry)	1.65	2800	2153	1.3	30	0.76	0.95	E
Earth (wet)	2.0	3400	2615	1.3	30	0.76	0.9	M
Granite	2.41	4000	2580	1.55	55	0.64	0.8	H
Gravel (dry)	1.8	3000	2400	1.25	25	0.80	1.0	E
Gravel (wet)	2.1	3600	2880	1.25	25	0.8	1.0	E
Gypsum	2.8	4700	3133	1.5	50	0.66	0.85	M-H
Limelite	3.2	5400	3857	1.4	40	0.71	0.85	M
Iro ore 40% Fe	2.65	4500	3214	1.4	40	0.71	0.8	M-H
Iro ore -40% Fe	2.95	5000	3448	1.45	45	0.68	0.8	M-H
Iro ore -60% Fe	3.85	6500	4193	1.55	55	0.64	0.75	H
Iro ore (taconite)	4.75	8000	4848	1.65	65	0.60	0.75	H
Limestone (hard)	2.6	4400	2750	1.6	60	0.62	0.8	M-H
Limestone (soft)	2.2	3700	2466	1.5	50	0.66	0.85	M-H
Manganese ore	3.1	5200	3586	1.45	45	0.68	0.85	M-H
Phosphate rock	2.0	3400	2266	1.5	50	0.66	0.55	M-H
Sand (dry)	2.0	2900	2521	1.15	15	0.86	1.00	E
Sand (wet)	2.0	3400	2956	1.15	15	0.86	1.00	E
Sand and gravel (dry)	2.0	3800	3304	1.15	15	0.86	1.00	E
Sandstone (pouros)	2.5	4200	2625	1.6	60	0.62	0.80	M
Sandstone (cemented)	2.65	4500	2812	1.6	60	0.62	0.80	M-H
Shales	2.4	4000	2758	1.45	45	0.68	0.80	M-H

Datos obtenidos de de capítulo 11 de libro de open pit mine planning and design
Fuente: Atkinson, 1992

2.2.8.1 Esponjamiento.

El porcentaje de aumento en volumen que ocurre cuando la roca es fragmentada y removida desde su posición inicial.

2.2.8.2 Porcentaje de esponjamiento.

Se define como porcentaje de aumento del material suelto = 100 (aumento - 1)

2.2.8.3 Factor de esponjamiento.

El factor de esponjamiento es incremento fraccional del volumen del material que ocurre cuando está fragmentado y ha sido sacado de su estado natural (volumen in situ) y depositada en un sitio no confinado (volumen no confinado). Puede expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje.

$$\text{Factor de esponjamiento} = \frac{1}{\text{esponjamiento}}$$

El factor de esponjamiento también puede expresarse como:

$$\text{Factor de esponjamiento} = \frac{100}{(100 + \% \text{ de esponjamiento})}$$

2.2.8.1 Capacidad de llenado o factor de llenado.

La capacidad de llenado o el factor de llenado es otro factor que debe tenerse en cuenta al estimar la producción por ciclo. Esto se refiere a la relación entre el volumen suelto de roca contenido en el balde de la pala y la capacidad nominal del balde (Martin R. , 2013, pág. 885)

$$\text{Capacidad de llenado} = \frac{\text{volumen suelto de roca (yd}^3\text{)}}{\text{capacidad nominal del balde (yd}^3\text{)}}$$

Se debe tener cuidado para asegurar que la capacidad de llenado o los factores de llenado y las capacidades de vaciado nominal vayan juntas. Para las palas, la capacidad nominal del balde es la capacidad de golpe. Las capacidades nominales para cargadores frontales. Por ejemplo, generalmente se refieren a una capacidad colmada. Al estimar los factores de relleno, se aplican las siguientes reglas generales:

- Un valor típico es de aproximadamente 0.85, pero a veces se citan valores más altos.
- Los factores de llenado serán más altos cuando el material sea fácil de excavar y más bajos donde sea difícil cavar.
- Donde el material se rompe fácilmente, los factores de llenado serán altos.
- Los factores de llenado son más altos para equipos grandes y más bajos para equipos pequeños, hay varias formas de expresar la producción por ciclo. En minería, es más común discutir toneladas. La ecuación básica se puede escribir.

$$Tc = Bc \times Ff \times Wb \times Sw$$

Donde:

Tc : Toneladas/ciclo

Bc : Capacidad nominal del balde (yd³)

Ff : Factor de capacidad de llenado

Wb : Densidad

Sw : Factor de esponjamiento

2.2.12 Tiempo del ciclo.

El tiempo promedio (TA) requerido para que una pala eléctrica complete un ciclo de cargado completo a través de:

- Llenado del balde
- Elevación y balanceo
- Descarga
- Volviendo y bajando el balde

Para ángulos de oscilación inferiores a 90 grados, el tiempo requerido sería menor.

Para ángulos mayores de 90 grados, sería más. Los tiempos de ciclo modificados pueden estimarse mediante la aplicación de los valores de un factor de corrección de ángulo de giro (Cs) (Martin R. , 2013, pág. 886)

Para los cuales se dan en la tabla 3

Tabla 3
Factor de corrección de ángulo de giro

Ángulo de giro (grados)	Factor de giro
45	1.2
60	1.1
75	1.05
90	1
120	0.91
150	0.84
180	0.77

Datos obtenidos de libro de open pit mine planning and design
Fuente: Atkinson, 1992

Con la inclusión del factor de corrección del ángulo de giro, el tiempo de ciclo estimado se convierte en:

$$T_c = \frac{TA \times CBH}{CS}$$

Donde:

T_c : Tiempo de ciclo

TA : Tiempo promedio

CBH : Factor de corrección de altura

CS : Factor de corrección de ángulo de giro de la tabla 3

2.2.13 Ciclo por turnos

Ahora que se ha determinado el tiempo para realizar un ciclo de pala, es posible calcular lo que realmente se desea, los ciclos por turno. Con esta información y la carga por ciclo, se puede calcular la producción por turno de la pala eléctrica.

$$T = 3600 H$$

Donde:

T : Producción por turno

H : duración del turno

El número teórico de ciclos que se podrían realizar es:

$$C_t = \frac{3600 H}{T_c} \times C_s$$

De hecho, el período de tiempo que la pala eléctrica está ciclando, es mucho menor que 3600H. Al examinar la producción de turnos de una pala eléctrica, es importante distinguir entre el tiempo de ciclo y el tiempo del turno.

El tiempo de ciclo es esa parte del turno cuando la pala gira entre el banco y el camión. La hora del turno es el tiempo total que un operador está asignado a la máquina. Para un turno de doce horas, el valor sería de 12 horas o 720 minutos. El tiempo de ciclo sería menor que el tiempo del turno debido a:

- Disponibilidad mecánica menos del 100% de disponibilidad de la máquina durante el turno programado.
- Factores operativos del trabajo menos del 100% de utilización del tiempo disponible. En
 - Viajar hacia y desde el lugar de trabajo
 - Tiempo de almuerzo
 - Tiempo de lubricación
 - Tiempo de espera
 - Tiempo perdido debido a las condiciones climáticas, gastado en reuniones de seguridad, etc.
- Tiempo de desplazamiento tiempo requerido para maniobrar la pala a la siguiente posición de carga.

Aquí se mantendrá separado. Para esta discusión, el factor de disponibilidad mecánica (MA) se definirá como:

Factor de disponibilidad mecánica (MA) se definirá como:

$$MA = \frac{\text{tiempo total} - \text{tiempo muerto}}{\text{tiempo total}}$$

Tiempo disponible (TD)

$$TD = \text{tiempo total} - \text{tiempo muerto}$$

Factor de utilización (UA)

La utilización de los equipos es el porcentaje del tiempo mecánicamente disponible en que el equipo se encuentra operando y realizando su función principal. Los tiempos de pausas, retrasos por cambios de turno, cierres de la mina debido a efectos de voladura, se deducen del tiempo disponible dividido por las horas mecánicamente disponibles.

$$UA = \frac{\text{tiempo de ciclo}}{\text{tiempo disponible}} = \frac{0.54}{10.876}$$

Factor de eficiencia del trabajo (E)

Tiempo requerido para maniobrar la pala a la siguiente posición de carga.

$$E = MA \times UA$$

Factor de traslado (P)

Tiempo requerido para maniobrar la pala o realizar su desplazamiento a la siguiente posición de carga en el mismo nivel.

Tabla 4
Factor de traslado

Minas a tajo abierto	Mina de múltiples bancos	Pozos de arena y grava	Canteras de cara alta
0.75	0.85	0.90	0.95

Datos obtenidos de capítulo 11 de libro de open pit mine planning and design
Fuente: Atkinson, 1992

2.3 Índices operacionales.

Una definición común de encontrar es que un equipo se encuentra en la condición disponible cuando está mecánica y eléctricamente habilitado para cumplir con su función de

diseño. Si no está en esa condición, entonces, está fuera de servicio o no disponible, ya sea por mantenimiento programado o por una falla eléctrica o mecánica.

Normas ASARCO (american smelting & refining Co) es el marco de referencia utilizado para definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación. Los sistemas de re portabilidad Distpatch y Jigsaw funcionan con esta norma.



Figura 13. Índices operacionales ASARCO

Fuente: Tapia Vega, 2018

2.3.1 Tiempo nominal

Tiempo durante el cual el equipo se encuentra físicamente en faena.

2.3.2 Tiempo mecánico

En este ítem se encuentra los tiempos destinados tanto para mantenimientos programados y reparaciones electromecánicas del terreno.

2.3.3 Tiempo disponible

Tiempo en que el equipo está habilitado y en buenas condiciones electromecánicas para operar.

2.3.4 Tiempo en reserva

Es aquel tiempo donde el equipo estando en condiciones mecánicas de operación no es utilizada en labores productivas, ya sea por el operador o superávit del equipo en ese momento.

2.3.5 Tiempo operativo

Corresponde al tiempo que el equipo se encuentra operando en faena con operador.

2.3.6 Demoras programadas

Tiempo de detección programada, cambios medios turnos.

2.3.7 Demoras no programadas

Tiempo de detención no programada, acomodados o limpieza de la plataforma.

2.3.8 Pérdidas operacionales

Tiempo de pérdidas operacionales, en donde el equipo se encuentra esperando a los camiones.

2.3.9 Tiempo efectivo

Tiempo que el equipo se encuentra realizando labores puras de producción sin colas, tareas para para el que fue adquirido.

2.4 Consideraciones geométricas

En esta sección se comentará acerca de las consideraciones que se requieren en torno a las dimensiones que deben poseer los sectores de acceso al mineral, comenzando desde conceptos básicos para luego comentar sobre las expansiones realizadas en los pits a medida que se extraen las distintas fases.

2.4.1 Geometría básica de bancos

La forma de extraer los distintos depósitos de mineral varía considerablemente en función del tamaño, forma, orientación y profundidad que posea el yacimiento. Para el caso

de las minas de cielo abierto, el cuerpo es minado desde la parte superior a la inferior por medio de una serie de capas horizontales de grosor uniforme llamadas bancos.

La extracción comienza en el banco superior y sólo cuando se expuso suficiente área de piso se continúa con el siguiente banco. Este proceso se repite hasta que se alcanza el banco inferior. Para permitir el acceso entre bancos se construyen accesos y rampas.

La minería a cielo abierto es altamente mecanizada, por lo que cada equipo debe contar con un espacio de trabajo que le permita operar eficientemente. Los procesos de perforación, carguío y transporte deben contar con un espacio de trabajo, el cual es considerado para el dimensionamiento de los bancos de trabajo.

Los bancos son la unidad básica de extracción donde sus partes se muestra en la figura 14. Las superficies entre bancos están separadas por una distancia conocida como: Altura de banco y la cara sub-vertical es la llamada cara.

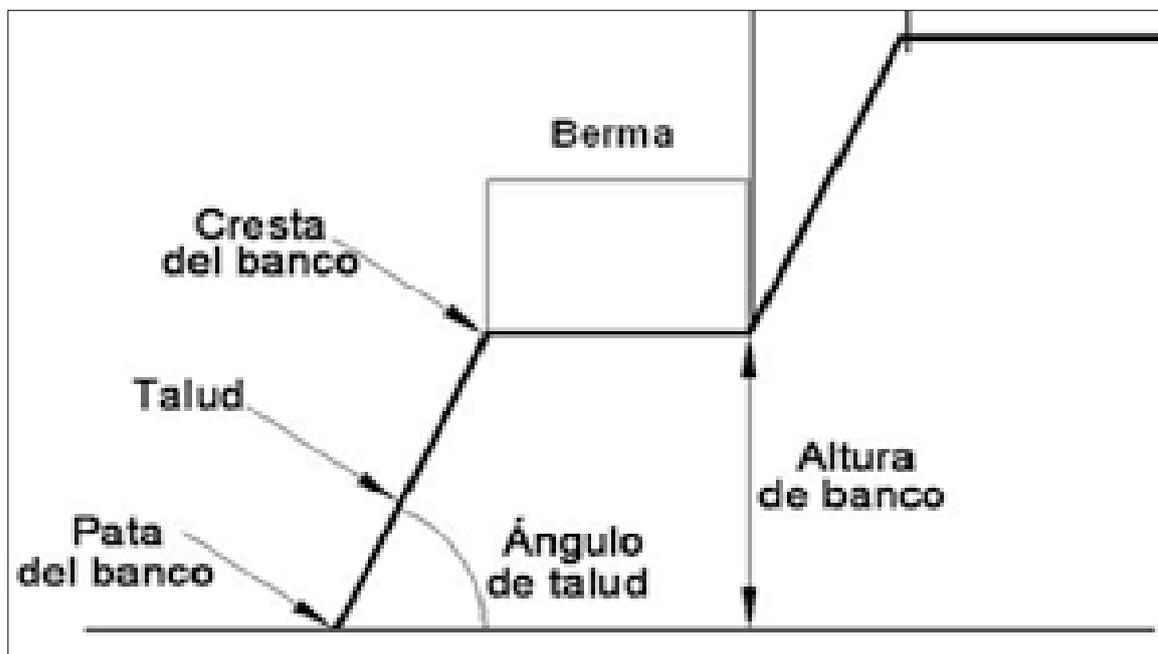


Figura 14. Geometría del banco

Fuente: Tello, 2017

Los bancos se dimensionan de acuerdo a los equipos que se utilicen, para el caso de la utilización de palas eléctricas, para la extracción del mineral, se deben considerar las características intrínsecas del yacimiento, como el tonelaje total, distribución de leyes. La

estrategia de producción se ve condicionada por las tasas de producción de mineral y estéril, requerimientos de mezcla y número de espacios de trabajo. Los requerimientos de producción conducen a cierta flota de equipos de acuerdo al tipo de flota y al tamaño de ellos.

2.4.2 Acceso al mineral

Antes de comenzar con la producción mayor en un banco, se debe establecer un frente vertical de excavación, más aún, se debe contar con una rampa que permita el acceso de la pala eléctrica y del camión.

El ancho mínimo del sector de carguío depende del equipo que se esté utilizando y de la configuración que se esté escogiendo:

- La pala se mueve entre los dos frentes de carguío, Figura 15 dejando espacio para un solo camión acuatado.
- La pala se ubica en el centro y extrae de ambos frentes, Fig. 16 permitiendo dos camiones acuatados.

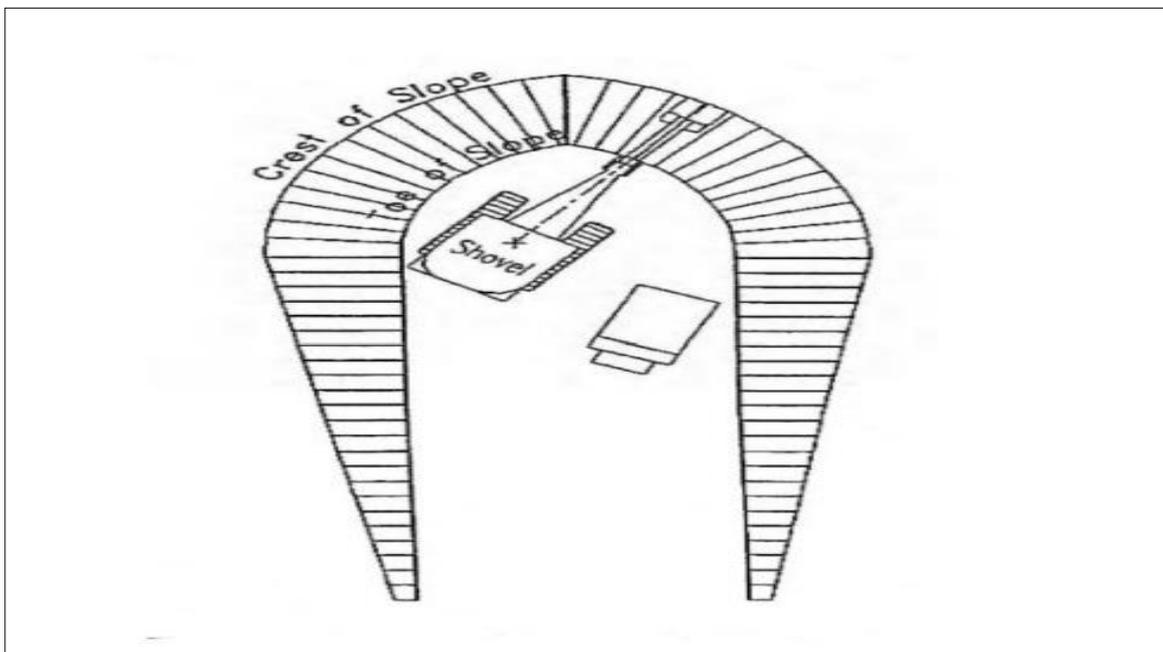


Figura 15. Trabajo en rampa de acceso
fuente: Gonzales, 2017

2.4.3 Proceso de expansión

Cuando la rampa de acceso alcanza la cota adecuada, el corte se debe expandir de manera lateral. Este proceso se ve en la Figura 17. Inicialmente se cuenta con un espacio operacional bastante limitado. Los camiones tienen que girar y acular en la parte superior de la rampa para luego bajar por ella retrocediendo hacia la pala eléctrica. Cuando el sector de trabajo se expande lo suficiente, el camión puede ingresar y maniobrar. Luego, cuando ya se cuenta con una mayor área de trabajo, se pueden ingresar más palas para que trabajen de forma simultánea.

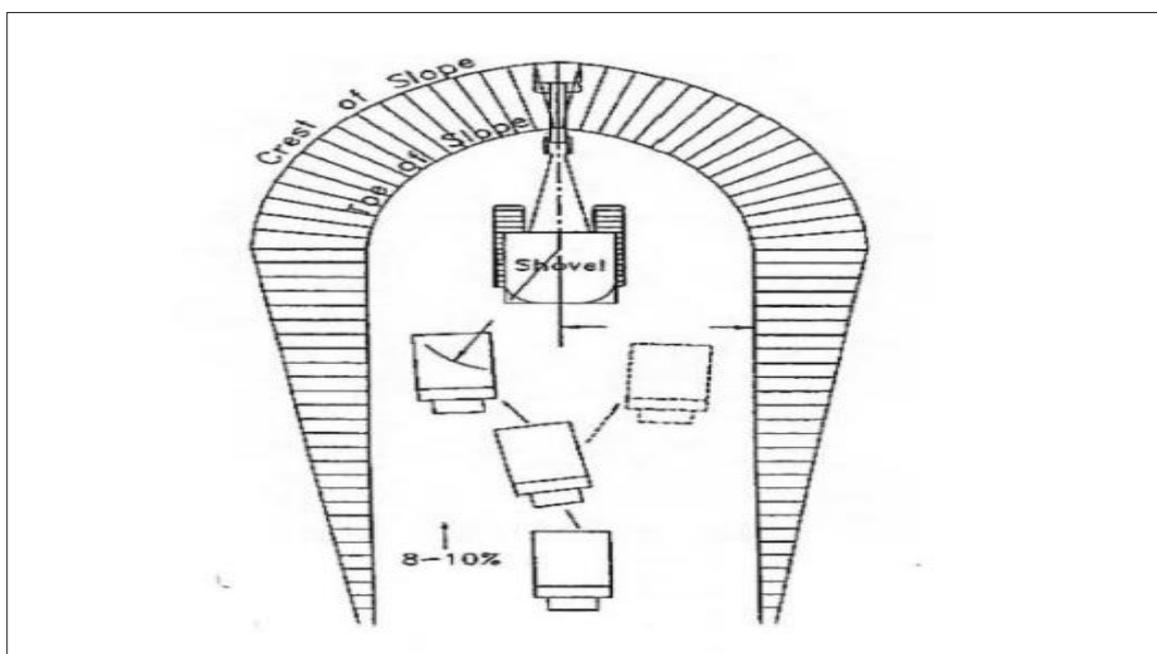


Figura 16. Trabajo en rampa de acceso con dos camiones

Fuente: Gonzales, 2017

Evolución de banco de trabajo: En la primera etapa el camión se detiene y aculata antes de entrar a la rampa; en la segunda, el camión entra y se aculata dentro del banco de trabajo. Vista en planta existen dos formas distintas de expandir los límites del banco:

- a) **Corte Frontal:** La pala se encuentra frente a la cara del banco y comienza a excavar hacia delante y costados, como se ve en la figura 18. De esta forma, se permiten dos puntos de carguío de camiones. El ángulo de giro del brazo de la pala va desde un máximo de 110 grados a un mínimo de 10 grados, mientras que el ángulo que permite

una operación eficiente es cercano a los 60°. Una vez que la pala penetra hasta el centro del equipo, este se mueve de manera paralela a la cara del banco para iniciar un nuevo corte frontal.

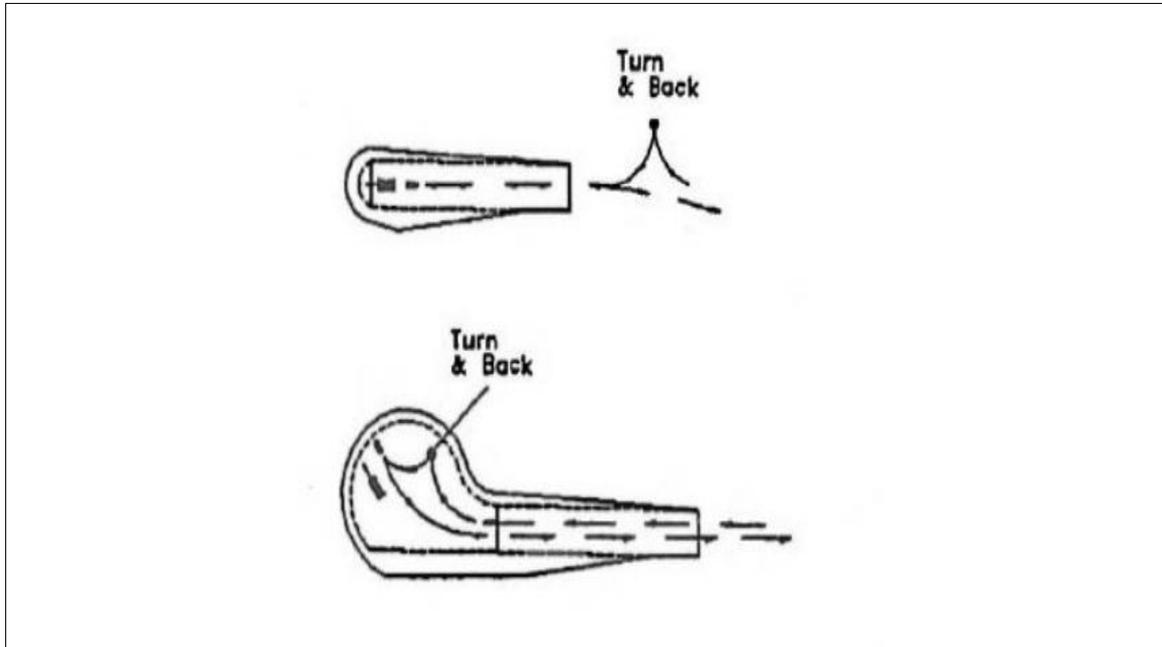


Figura 17. Proceso de expansión de trabajo a inicios de ingresar a siguiente nivel
Fuente: Gonzales, 2017

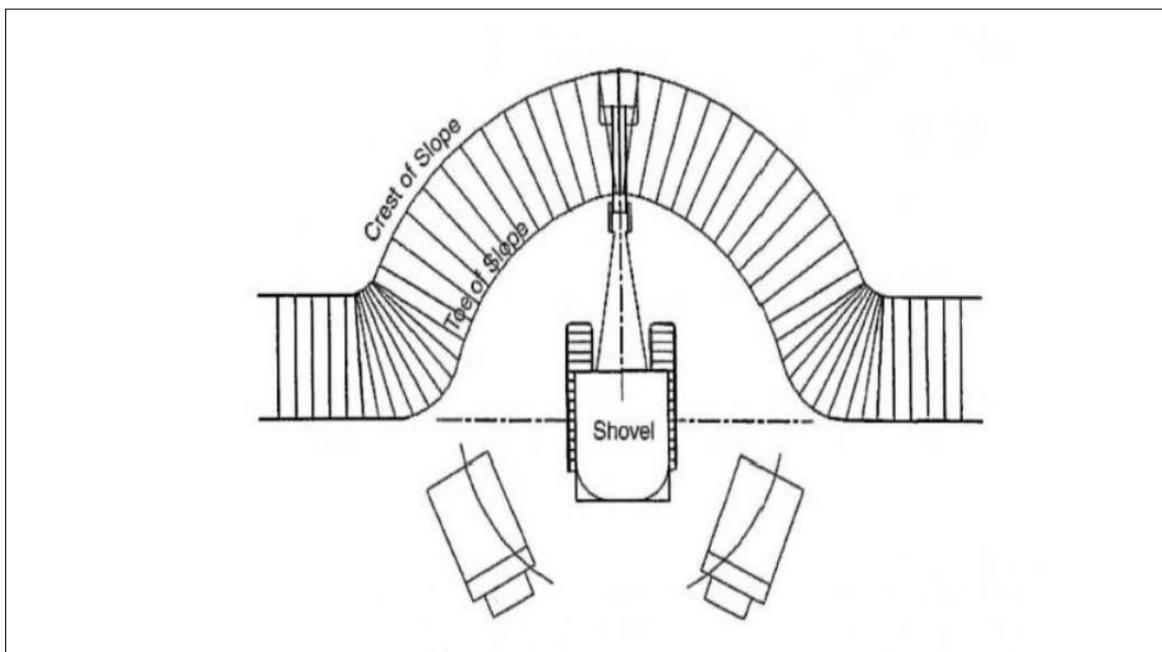


Figura 18. Pala trabajando según el método de corte frontal.
Fuente: Gonzales, 2017

Cuando la cara y el ancho del banco son lo suficientemente grandes, más de una pala puede trabajar en la misma cara. Desde el punto de vista de las palas es un método

altamente eficiente de operación, sin embargo, los camiones deben detenerse y realizar maniobras en reversa.

- b) **Corte Paralelo:** Los cortes paralelos se realizan cuando las limitaciones espaciales permiten que exista solo un acceso desde la rampa hacia la pala como se ve en la figura 19. Esto implica que el camión debe ingresar al banco, detenerse, girar y retroceder para ubicarse en el punto de carguío. A medida que se va abriendo área, puede darse el espacio para dos puntos de carguío de camiones.

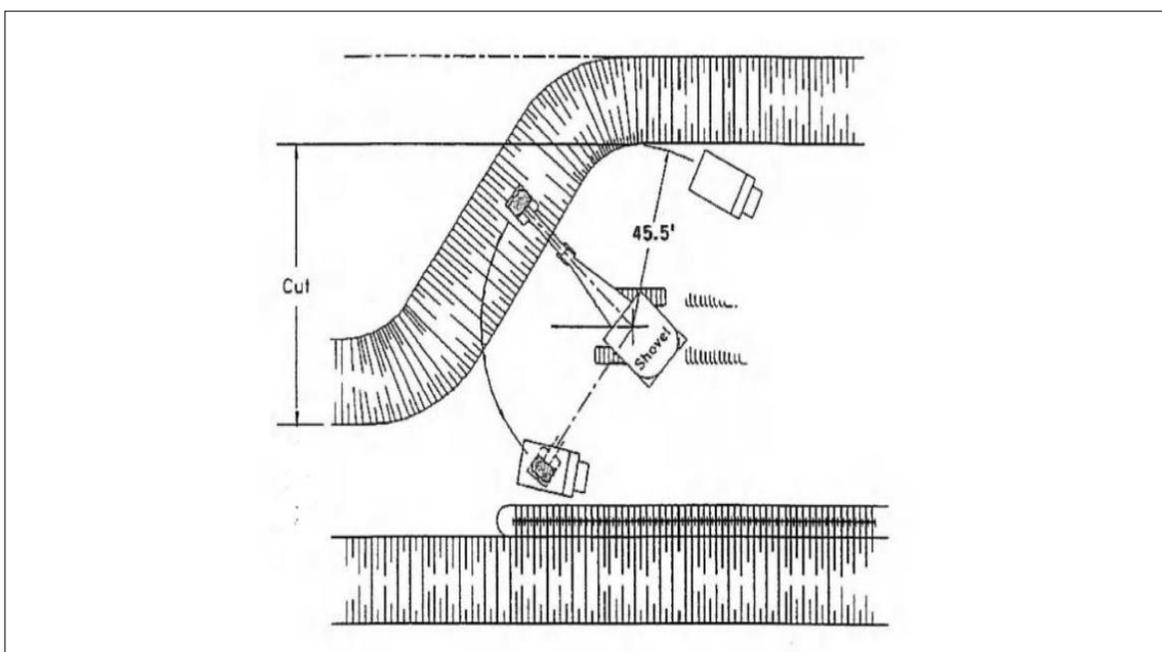


Figura 19. Pala trabajando según el método de cortes paralelos
Fuente: Gonzales, 2017

2.4.4 Posicionamiento de la pala eléctrica

Hay dos métodos básicos para posicionar una pala en el frente de trabajo del banco.

El primer método es el método de retroceso. El segundo, es el método paralelo. Ambos métodos son aceptables y efectivos cuando se aplican correctamente.

2.3.4.1 Método de retroceso

A usar el método de retroceso, la pala es ubicada en el banco con la parte frontal de la máquina girada directamente la cara de excavación. Los camiones son situados a ambos lados de la máquina. El banco se trabaja hasta excavar un semicírculo de 180°. Al llegar al

punto en que se requiere un giro de 90° hacia cada lado para cargar un camión, la pala se mueve a un nuevo corte.

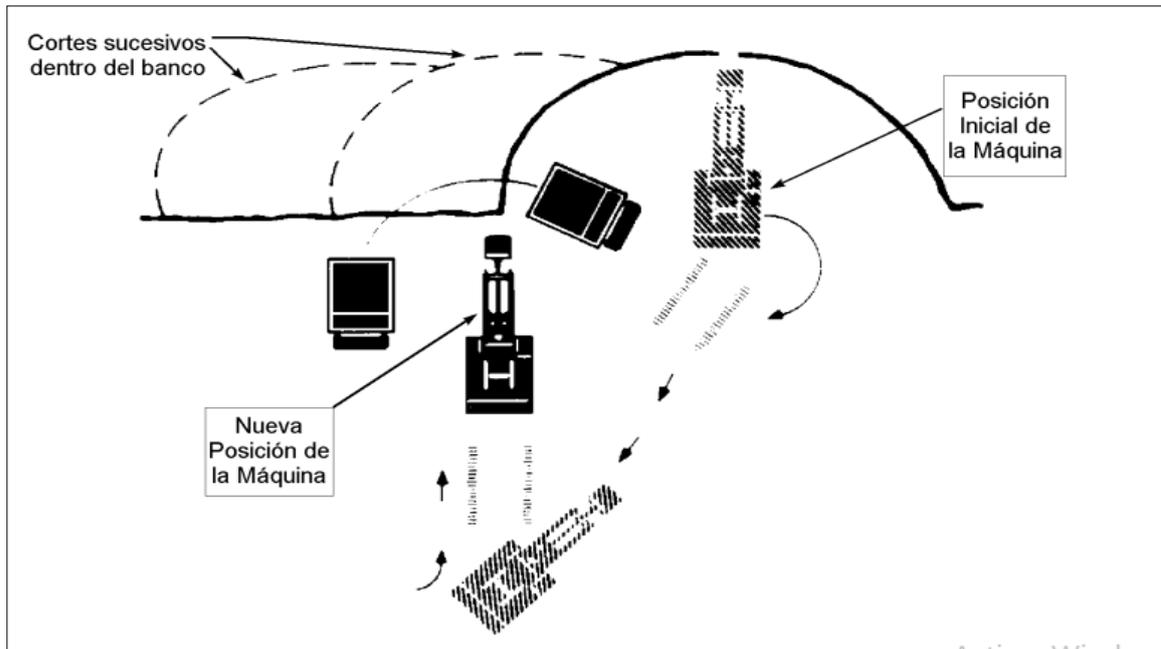


Figura 20. Posicionamiento de la pala en retroceso
Fuente: P&H Mining Equipmet, 2017

Mueva la pala recta a la izquierda a lo largo del banco. El operador debe instalar primero el freno izquierdo. Retroceda la pala en incrementos, hasta que las orugas queden en un ángulo de 45° respecto del recorrido original de excavación. Luego, retroceda recto la máquina, hasta que la oruga derecha cruce la esquina del semicírculo excavado. Trabe la oruga izquierda, avance hacia adelante girando las orugas en incrementos.

Cuando la oruga derecha quede en línea con la esquina del semicírculo, muévase hacia adelante y proceda a cargar las unidades de transporte. El método de retroceso minimizará el arco de giro y reducirá el tiempo de movimiento. Otras ventajas son, una menor limpieza del toe del banco y un simplificado manejo del cable de transmisión y de la canoa de dicho cable

2.3.4.2 Método de avance en paralelo

Posicione las orugas de la pala paralelas al banco, con el borde interno del conjunto externo de las zapatas de orugas, directamente en línea con el pie del banco. Los camiones

deben aproximarse a la pala desde el frente, haciendo un giro hacia afuera, alejándose de la pala cuando las ruedas delanteras se aproximen a la oruga externa. El camión debe detenerse en una posición que permita retroceder hacia el punto del banco para ser cargado.

Durante el ciclo de carga, el arco de giro no debiera exceder 90° . El tiempo entre terminar con un camión hasta el primer ciclo de excavación del próximo, no debiera exceder el de cualquier ciclo durante la carga.

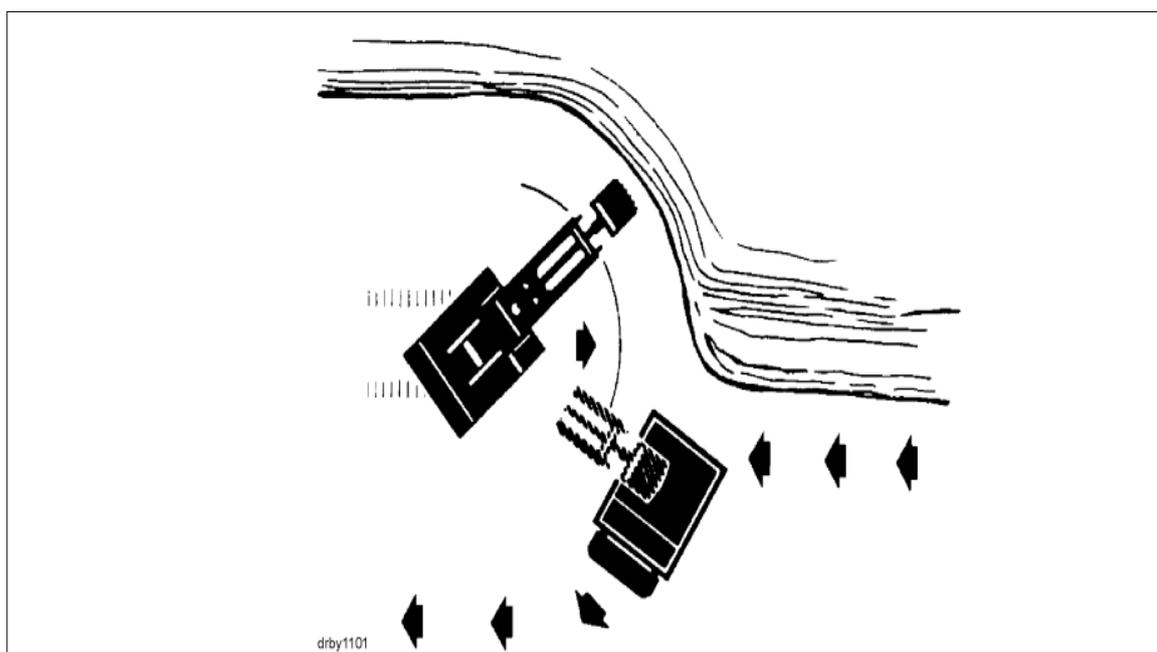


Figura 21. Posicionamiento de la pala en avance paralelo
Fuente: P&H Mining Equipmet, 2017

2.5 Definiciones conceptuales

2.5.1 Diseño

Un diseño es el resultado final de un proceso, cuyo objetivo es buscar una solución idónea a cierta problemática particular, pero tratando en lo posible de ser práctico y a la vez estético en lo que se hace. Para poder llevar a cabo un buen diseño es necesario la aplicación de distintos métodos y técnicas de modo tal que pueda quedar plasmado bien sea en bosquejos.

2.5.2 Producción

Es el volumen o peso de material ser manejado en una operación específica. Mineral en unidades de peso, y esteral en unidades de volumen, las unidades son generalmente por año.

2.5.3 Ciclo

Al igual como la explotación de minas se describe generalmente como un ciclo de operaciones unitarias, cada operación unitaria tiene también una naturaleza cíclica, las operaciones unitarias de carguío y transporte pueden dividirse en una rotación ordenada de pasos o su operación.

2.5.4 Banco

Unidad Operativa de producción dentro de la mina. Capa de material de 15 metros de altura y que abarca toda la extensión de la mina.

2.5.5 Banco de minado

Se le denomina banco al nivel que se va explotar, son conocidas como unidades básicas de extracción y están separadas por una distancia conocidas como: La altura del banco y la cara sub vertical es llamada cara. La altura depende principalmente de las características de los equipos de carguío.

2.5.6 Fases de minado

Es una expansión operativa de la mina que es desarrollado en la práctica y minado banco por banco, debe satisfacer un requerimiento de acceso, un ancho de minado y tamaño mínimo.

2.5.7 Secuencia de minado

Consiste en encontrar la manera de extraer los bloques que deberán ser removidos de la mina, con el objetivo de maximizar el valor presente neto de la explotación guiada por restricciones técnicas y económicas.

2.5.8 Mineral

Los minerales son cuerpos de naturaleza inorgánica que se presentan en un estado sólido. La tierra está formada fundamentalmente por rocas. De los minerales y las rocas de la superficie terrestre obtenemos gran parte de los recursos que necesitamos para vivir. Además de eso, los minerales son sustancias inorgánicas que están presentes en algunos alimentos esenciales en el cuerpo humano. Los minerales son cuerpos sólidos, como el cuarzo y la gema, algunos de ellos son cristalinos, que se forman por la interacción de los procesos físico químicos en los ambientes geológicos.

2.6 Formulación de la Hipótesis

2.6.1 Hipótesis general

- Mediante el diseño de la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 y cambiando el ángulo de giro se logrará incrementar la producción en la Unidad Minera Cuajone – Southern Perú

2.6.2 Hipótesis específicas

- a) Mejorando el diseño de la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 en la fase 5 se disminuirá los tiempos muertos en la Unidad Minera Cuajone Southern Perú.
- b) Cambiando el ángulo de giro a 75° de la pala eléctrica P01 en la fase 5 se incrementa la productividad.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño de investigación

Es el que establece, que se debe hacer para alcanzar los objetivos del estudio y para contestar 890, las interrogantes de conocimiento que sean planteado, en un estudio puede utilizar uno o más diseños, utilizar más de un diseño aumenta la complejidad y los costos de la 892 investigación. es un plan detallado para realizar un estudio que maximice el control de los factores que podrían interferir con la validez de los hallazgos. (Arias Odon, 1999)

3.2 Tipo de investigación

En relación al tipo de investigación es cuantitativa con alcance descriptivo que consiste en la descripción e identificación de cada uno de los componentes esenciales de la secuencia de la pala eléctrica, en la Unidad Minera Cuajone.

Además, la presente investigación es de enfoque cuantitativo que consiste en medir y trabaja con magnitudes como la recolección de datos y su análisis respectivo

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es de investigación básica explicativo debido a que describe la producción y secuencia de minado semanal de la pala eléctrica P01 en la fase 5 en la Unidad Minera Cuajone.

3.4 Metodología de investigación

En el presente trabajo de investigación es descriptivo aplicativo y cuasi experimental de enfoque cuantitativo, estocástico y determinístico pues se han obtenido datos de campo mediante un mapeo aleatorio, que posteriormente son analizados con la aplicación de software, además parte de los dato del campo han sido evaluados con la aplicación de diferentes fórmulas que justifican el método determinístico, los datos obtenidos de laboratorio constituyen valores específicos que se utilizaran para una aplicación en un determinado momento para la solución al problema, considero que la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernandez Fernandes, 2003)

3.5 Población

La población para la presente investigación esta constituidos en la fase 5 de la Unidad Minera Cuajone Southern Perú. Fase que está en producción de mineral de cobre y molibdeno.

3.6 Muestra

La muestra para el presente trabajo de investigación está constituida en la pala eléctrica P01 (P&H 2800XPB), en el nivel 3025, que está en interior mina, encargado de abastecer mineral a concentradora en un 69%.

3.7 Identificación y clasificación de variables e indicadores

Para la presente investigación se identificó dos variables e indicadores de acuerdo al planteamiento de la Hipótesis

Considerando a la variable independiente a la secuencia de minado de la pala eléctrica para de esta manera obtener diseño de secuencia de minado ya con la reducción de ángulo de giro para esto se tendrá la capacidad real del balde y numero de ciclos por hora.

El mismo procedimiento se realizará con la variable independiente.

Tabla 5
Variables e indicadores

Variables	Indicadores	Escala de medición
Independiente	- Capacidad real del balde	- TM
Secuencia de minado de la pala eléctrica P01	- Ángulo de giro	- (°) Grados
	- N° de ciclos por hora	- Baldes/hora
Dependientes	- Producción por hora	- TM/día
Disminuir los tiempos muertos para incrementar la productividad de la pala eléctrica P01 en la fase 5	- Producción por día	- TM/mes
	- Producción anual	- TM/anual

Datos obtenidos de planteamiento

Fuente: Elaboración propia

3.8 Técnicas de recolección de datos

El proceso de recopilación de datos se realizó de manera directa del campo, registrando los tiempos de los eventos que involucran el movimiento de los camiones mineros y la pala eléctrica, entre los meses de enero, febrero y marzo.

3.8.1 Datos generales de la pala

En la tabla 6 se muestra los datos de la pala P&H 2800 XPB, como especificaciones técnicas y datos operacionales en carguío, tomados en campo y manual de operación.

Tabla 6
Especificaciones técnicas de la pala P&H 2400XPB

Descripción	Abreviatura	Valor
Ancho máximo	Q3	11.94
Longitud máxima	Q3	34.39
Altura máxima	Q3	18.59
Radio de excavación máxima	C	24.43
Altura del cucharón	E1	4.98
Radio o nivel del suelo	D	17.02
Radio al contra peso	H	9.96
Capacidad del balde	Yd3	46.00

Capacidad del balde	Tn	59.00
Capacidad del balde	M3	35.17

Datos obtenidos de manual de operación
Fuente: Komatsu, 2019

3.8.2 Determinación de ciclo de carguío

El tiempo de ciclo es el tiempo que demora una pala en cargar un balde, viajar con ella hacia en camión y retornar al punto de carguío. La determinación del ciclo de carguío son datos tomados en el campo con una cantidad considerable en la tabla 7 se muestra los datos.

Tabla 7
Tiempos de ciclo de carguío

Descripción	Tiempo de ciclo (segundos)
Carga del balde	10.2
Giro con carga	10.1
Descarga	4.1
Giro de regreso	8
Tiempo de ciclo	32.4
Cantidad de palas	4
Tiempo de carguío	129.6

Datos obtenidos de campo
Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Determinación de otros tiempos muertos

Son tiempos de retraso o demoras que afecta la producción normal de la pala eléctrica, en donde los datos son tomados en el campo con una cantidad considerable.

Tabla 8
Tiempo muertos

Descripción	Frecuencia	Tiempos perdidos (minutos)	Tiempo total perdido
Traslado	1 vez al día	10	0.17
Tendido de cables	1 vez al día	20	0.33
Control de toe y cresta	1 vez al día	20	0.33
Control de piso de la pala	1 vez al día	10	0.17
Total		60	1

Datos obtenidos de campo
Fuente: Elaboración propia

3.9 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para el siguiente estudio son: Cálculos de producción por día, toma de tiempos de ciclos de carguío, reporte de producción diaria de las palas electicas, el reporte de producción mensual, plan de producción anual de la unidad minera, características y dimensiones de la pala eléctrica y toma de fotografías en los distintos niveles de producción de la fase 5 donde se ubica la pala eléctrica

3.10 Técnicas para el procesamiento de la información

Se utilizaron instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente:

- Cálculo de producción por hora
- Revisión de los datos
- Información de reporte diario de la pala eléctrica

3.10.1 Secuencia de minado

Para aumentar la productividad diaria se diseña la secuencia de minado comenzando de la fase 5 del nivel 3025, ubicación de la pala eléctrica P01

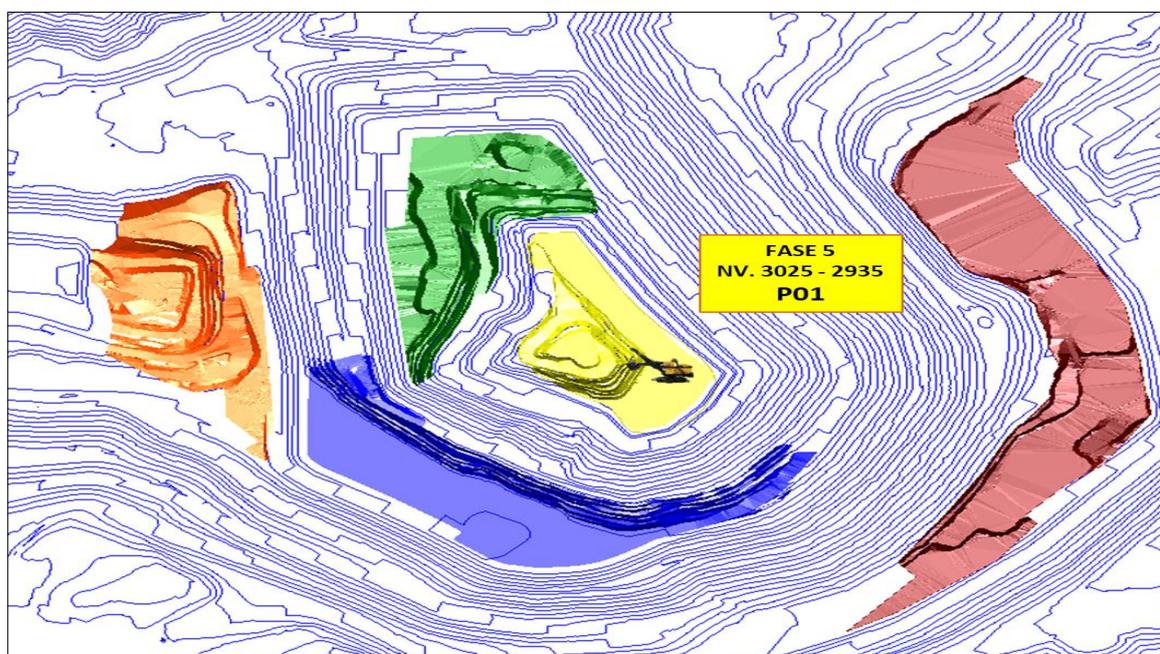


Figura 22. Fases de producción de la unidad minera Cuajone -2017

Fuente: Elaboración propia

3.11 Ubicación

Cuajone es una mina de cobre a tajo abierto (Yacimiento: Pórfido de cobre), geográficamente el complejo minero se ubica en:

- Distrito : Torata
- Provincia : Mariscal Nieto
- Departamento : Moquegua



Figura 23. Ubicación geográfica de la Unidad Minera Cuajone
Fuente: SPCC, 2017

3.12 Geología regional

El yacimiento de Cuajone es un pórfido de cobre de tipo diseminado, está localizado en el área de la quebrada chuntacala, un tributario seco del rio Torata a 30 km al NE de la ciudad de Moquegua y 25 Km de la mina Toquepala.

Cuajone está localizado dentro de la subprovincia cuprífera del pacífico sur, en el flanco occidental de los andes, al sur del Perú. De acuerdo a la teoría tectónica de placas para la formación de estos pórfidos de cobre, esta provincia metalogénica fue generado por la fusión parcial de los mantos superficiales ricos en cobre de la palca este del pacifico. Los magmas que contenían materiales calco-alcalinos se fueron introduciendo dentro de los

mantos superficiales a través de profundas fisuras, dentro de los volcánicos del mesozoico de los mantos a 100 – 150 Km verticalmente debajo de la zona de las placas.

Actualmente un conjunto de estructuras NW-SE dominan la geología regional, esta es la orientación de los techos oceánicos.

3.13 Geología local

La mina Cuajone se encuentra en el flanco andino que está constituido por rocas volcánicas y macizos intrusivos, que muestran una topografía abrupta con fuertes pendientes, cuyas cumbres llegan a los 4000 m.s.n.m. en las partes altas se presenta una topografía moderadamente ondulada, con algunos sectores planos, mayormente cubiertos por rocas volcánicas. El cuerpo mineralizado ha sido parcialmente erosionado en el lado Noroeste por el río Torata y débilmente erosionado en su parte central.

3.14 Geología estructural

En el transcurso del desarrollo del tajo, se han ido descubriendo una serie de estructuras principales y secundarias que han sido débilmente mapeados y con las cuales se puede tener una interpretación de comportamiento estructural del yacimiento.

La falla Botiflaca y la prolongación de la falla villa blanca hacia el norte debajo de los volcánicos post minerales, está conformando un corredor con dirección general hacia el Noroeste en donde se encuentra emplazado el cuerpo mineralizado de Cuajone.

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de tiempos muertos de la pala eléctrica P01

Los tiempos muertos que la pala eléctrica genera pedidas cuando ya son excedidos de lo normal, esto sucede por muchos factores. El estudio de tiempos es el conjunto de técnicas de la simplificación del trabajo y de la medición del mismo por medio de los cuales se asegura el mejor aprovechamiento posible de los recursos humanos y materiales con que se lleva a cabo una tarea determinada. El estudio del trabajo tiene como objetivo identificar y analizar los problemas del trabajo, además de desarrollar métodos mejores e implantar las modificaciones resultantes. El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para ejecutar una tarea definida y actualizada con base a una norma de rendimiento preestablecida. Implica la técnica de establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada, con base en la medición del contenido del trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga y las demoras personales y retrasos inevitables. El analista de estudios de tiempos tiene varias técnicas que se utilizan para establecer un estándar: el estudio cronométrico de tiempos, datos estándares, datos de los movimientos (Diaz Deniz, 2016)

4.1.1 Determinación de tiempos muertos

Se muestra en la tabla 9 los tiempos de retraso o demoras que afectan el tiempo efectivo de producción normal de la pala eléctrica, además es importante considerarlo porque es necesario para su desplazamiento

Tabla 9
Determinación de tiempos muertos

Descripción	Frecuencia	Tiempos perdidos (minutos)	Tiempo total perdido
traslado	1 vez al día	10	0.17
Tendido de cables	1 vez al día	20	0.33
Control de toe y cresta	1 vez al día	20	0.33
Control del piso de la pala	1 vez al día	10	0.17
Total		60	1

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

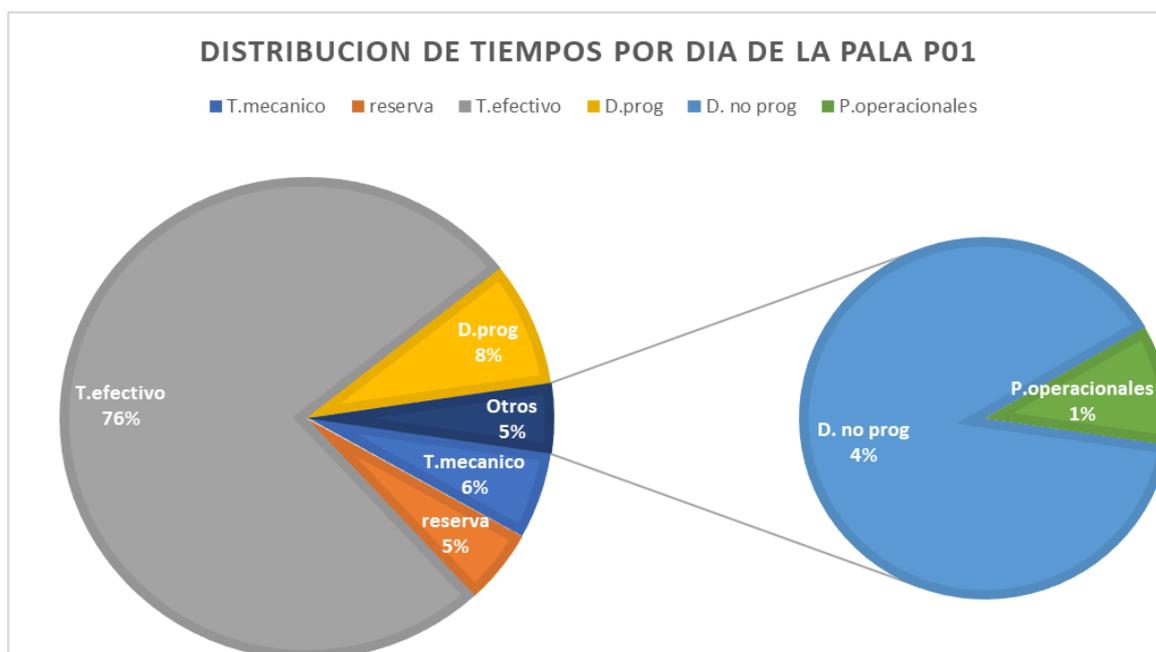


Figura 24. Distribución de tiempo para ángulo de giro de 90°
Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Producción diaria de la pala eléctrica P01 en la fase 5

En la tabla 10 se muestra el tiempo perdido en 24 horas equivalente a 1440 minutos que está destinado para dos guardias que equivale a trabajos de día y noche, donde por los factores mencionados pierde 60 minutos cada guardia.

Tabla 10
Ajuste de los tiempos muertos

Descripción	Tiempo Perdido	Solución	Nuevo Tiempo
Traslado	10	Planificado	8
Tendido de cables	20	Realizar el trabajo paralelamente cuando esté trabajando la pala y así minimizar el tiempo solo para hacer la conexión de los swich	10
Control de Toes y Cresta	20	Se hará en los cambios de guardia y una vez llevado al gabinete de actualización de datos, dicha información será enviado por una red de comunicación	15
Control de Piso de la Pala	10	Planificado	10
TOTAL	60		43

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia)

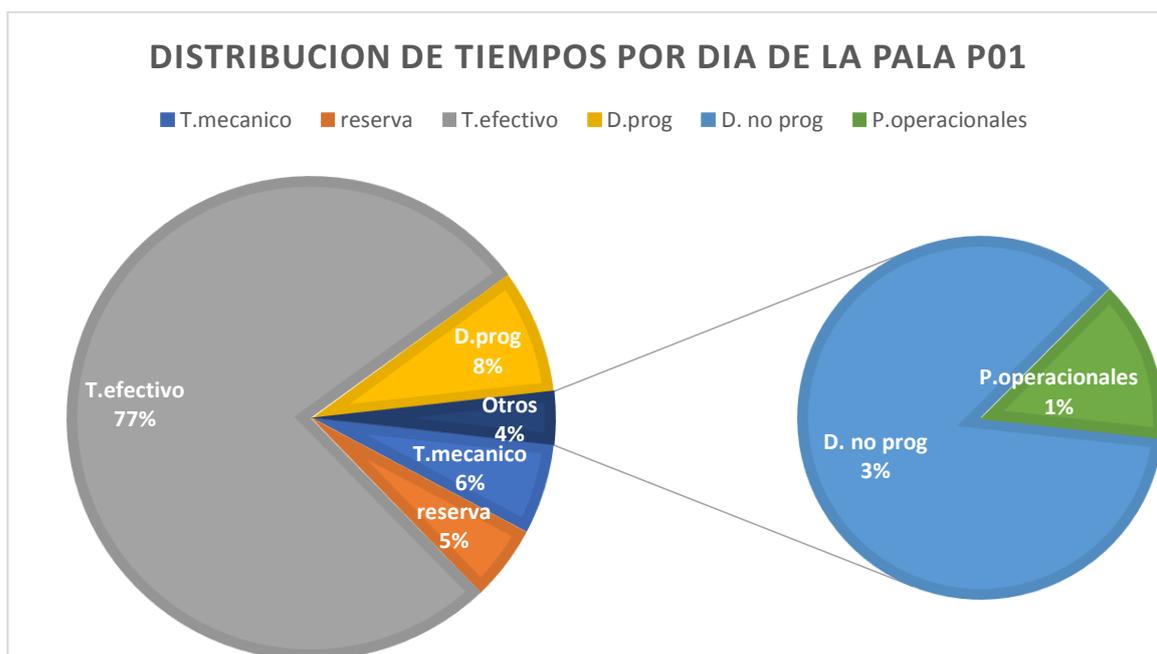


Figura 25. Distribución de tiempos optimizados para ángulo de giro de 75°
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Diseño de secuencia de minado anual de la pala eléctrica

Para el diseño de secuencia de minado mensual de la pala eléctrica, se tomó parte de todo el dato de la empresa SPCC que se muestra en el anexo A, teniendo como dato general de rendimiento por día de la pala eléctrica P&H 2800XPB en los niveles de producción anterior de la fase 5.

4.1.4 Diseño de secuencia de minado para mes de enero 2017

En la secuencia de minado para el mes de enero se tiene planificado extraer 50,000 toneladas por día, con porcentaje de recojo de mineral, abasteciendo al 54% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.619% y ley de Mo a 0.019%, para lo cual se muestra en la figura 26, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 P&H 2800XPB.

Tabla 11
Operación de la pala para el mes de enero 2017

MES	ENERO
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	94.35%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	590

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia, 2017

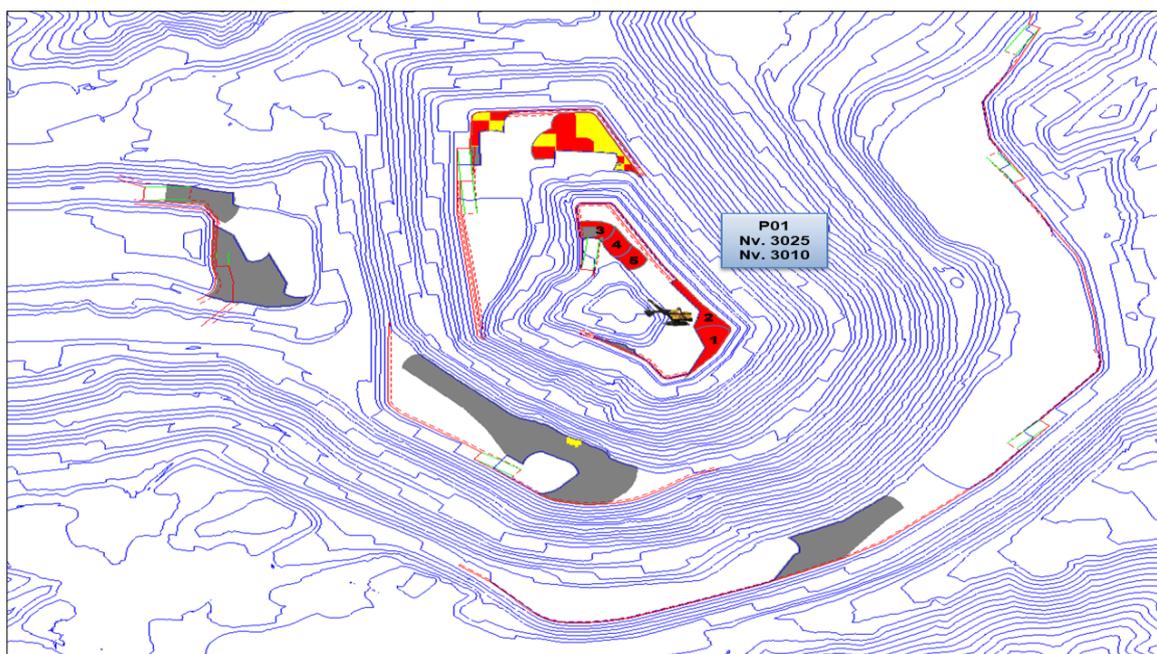


Figura 26. Secuencia de minado para el mes de enero
Fuente: Elaboración propia, 2017

4.1.5 Diseño de secuencia de minado para mes de febrero 2017

En la secuencia de minado para el mes se tiene planificado extraer 50,000 toneladas por día, abasteciendo al 57% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.626% y ley de Mo a 0.018%, para lo cual en la figura 27, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica en donde el todo el mes tiene que a minar en el nivel 3010.

Tabla 12
Operación de la pala para el mes de febrero 2017

MES	FEBRERO
DÍAS	28
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	90.63%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	512

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

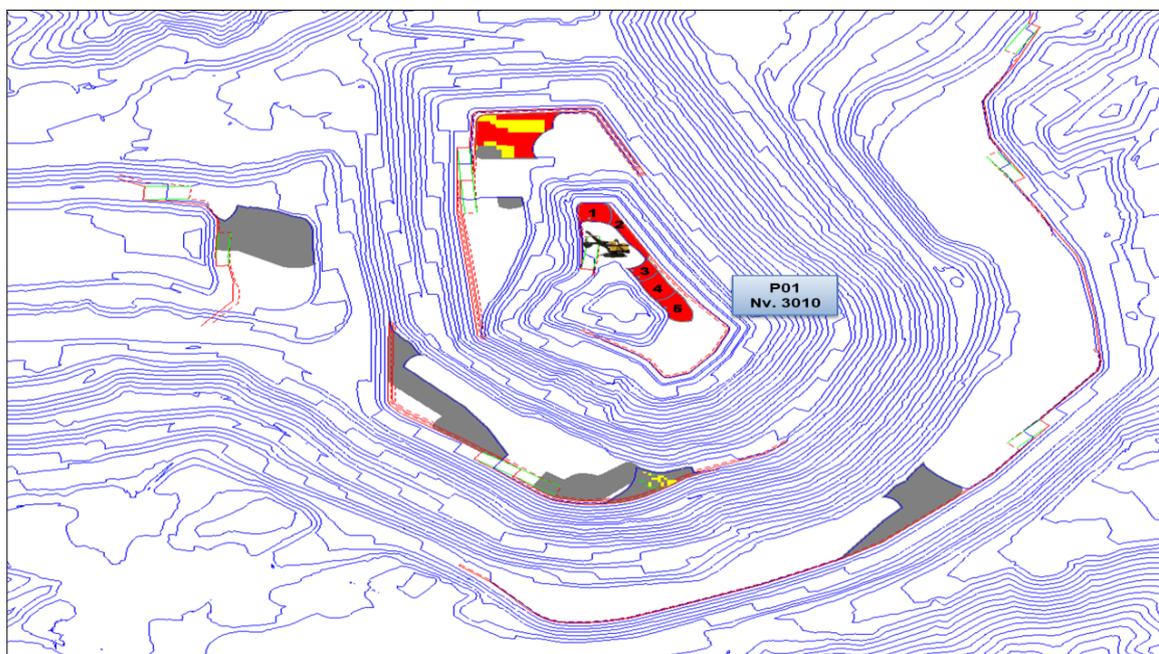


Figura 27. Secuencia de minado para el mes de febrero
Fuente: Elaboración propia, 2017

4.1.6 Diseño de secuencia de minado para mes de marzo 2017

En la secuencia de minado para el mes de marzo se tiene planificado extraer 55,000 toneladas por día, abasteciendo al 63% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.596% y ley de Mo a 0.013%, para lo cual figura 28, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 donde tiene que continuar minando el nivel 3010

Tabla 13
Operación de la pala para el mes de marzo 2017

MES	MARZO
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	92.20%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	576

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

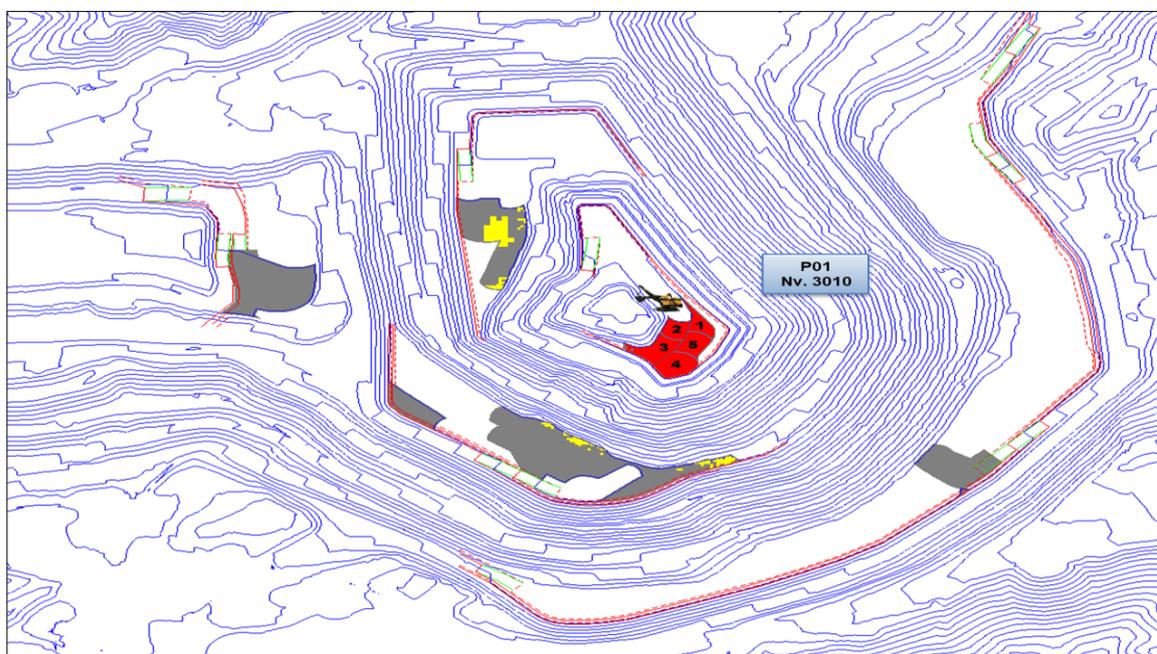


Figura 28. Secuencia de minado para el mes de marzo
Fuente: Elaboración propia

4.1.7 Diseño de secuencia de minado para mes de abril 2017

En la secuencia de minado para el mes de abril se tiene planificado extraer 55,000 toneladas por día, abasteciendo al 59% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.588% y ley de Mo a 0.022%, para lo cual figura 29, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica, donde las primeras semanas tendrá que terminar de minas en el nivel 3010 y pasar al siguiente banco, siempre considerando la altura de 15 metros. Para este mes se tiene poca disponibilidad de la pala debido a que se programó el mantenimiento y cambio de polea.

Tabla 14
Operación de la pala para el mes de abril 2017

MES	ABRIL
DIAS	30
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	84.31%
UTILIZACION EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	510

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

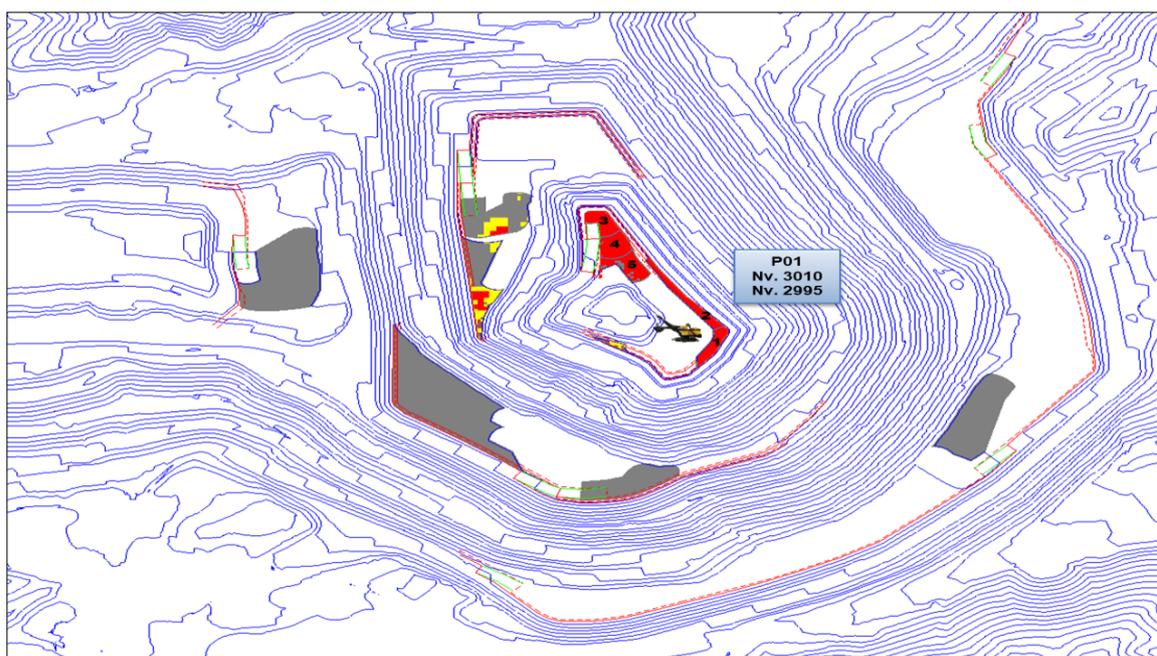


Figura 29. Secuencia de minado para el mes de abril
Fuente: Elaboración propia

4.1.8 Diseño de secuencia de minado para mes de mayo 2017

En la secuencia de minado para el mes tiene planificado extraer 54,300 toneladas por día, abasteciendo al 62% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.621% y ley de Mo a 0.014%, para lo cual figura 30, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 P&H 2800XPB donde tiene que continuar minado en el nivel 2995 y realizar avance lineal sin perfilar el talud.

Tabla 15
Operación de la pala para el mes de mayo 2017

MES	MAYO
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	92.20%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	576

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

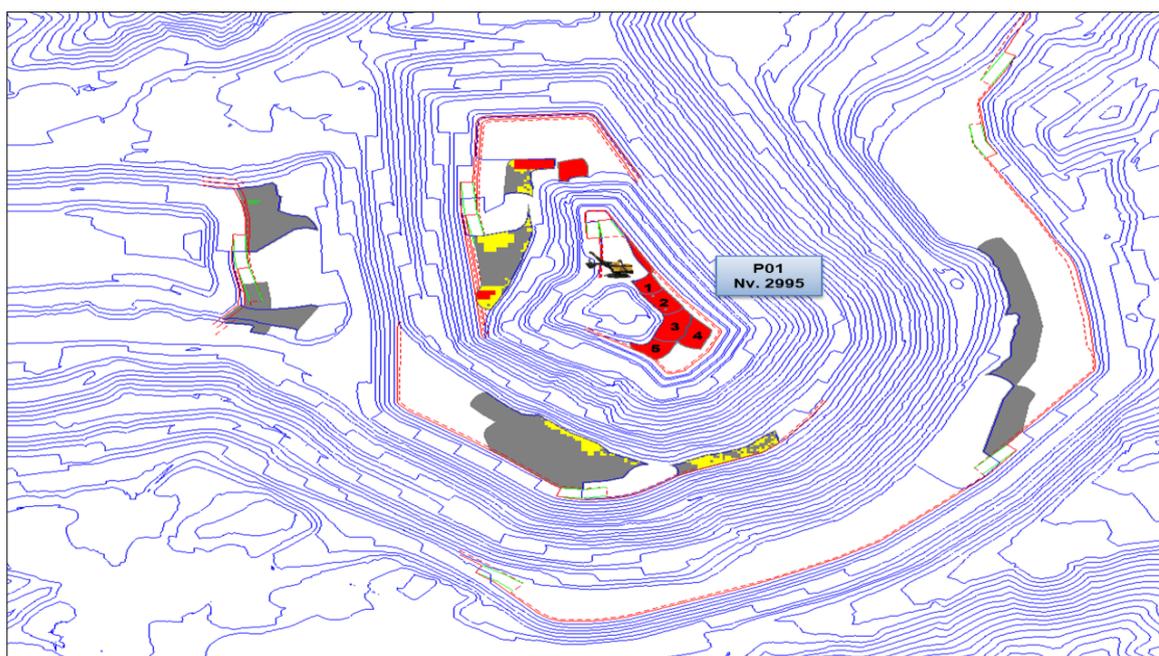


Figura 30. Secuencia de minado para el mes de mayo
Fuente: Elaboración propia

4.1.9 Diseño de secuencia de minado para mes de junio 2017

En la secuencia de minado para el mes de junio se tiene planificado extraer 50,000 toneladas por día, abasteciendo al 62% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.624% y ley de Mo a 0.018%, para lo cual figura 31, se muestra la secuencia de minado con la restricción de parada de concentradora por 4 días en este mes, también ya la cuarta semana del mes se tiene que ya ingresar al nivel 2980 por una rampa ya diseñada.

Tabla 16
Operación de la pala para el mes de junio 2017

MES	JUNIO
DÍAS	30
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	91.94%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	556

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: elaboración propia

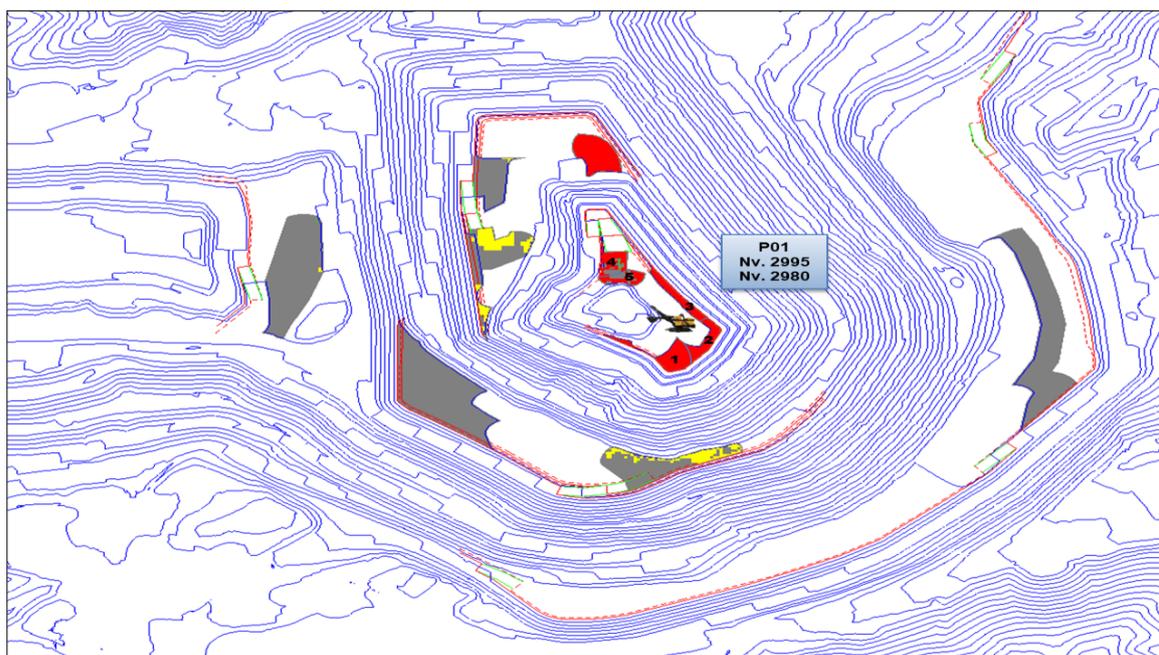


Figura 31. Secuencia de minado para el mes de junio
Fuente: Elaboración propia

4.1.10 Diseño de secuencia de minado para mes de julio 2017

En la secuencia de minado para el mes se tiene planificado extraer 45,000 toneladas por día, abasteciendo al 47% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.628% y ley de Mo a 0.014%, para lo cual en la figura 32, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica, para este mes la pala eléctrica tiene una baja disponibilidad debido a que ocurren cambios de instalación de puentes y reubicación de swich.

Tabla 17
Operación de la pala para el mes de julio 2017

MES	JULIO
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	70.56%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	441

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

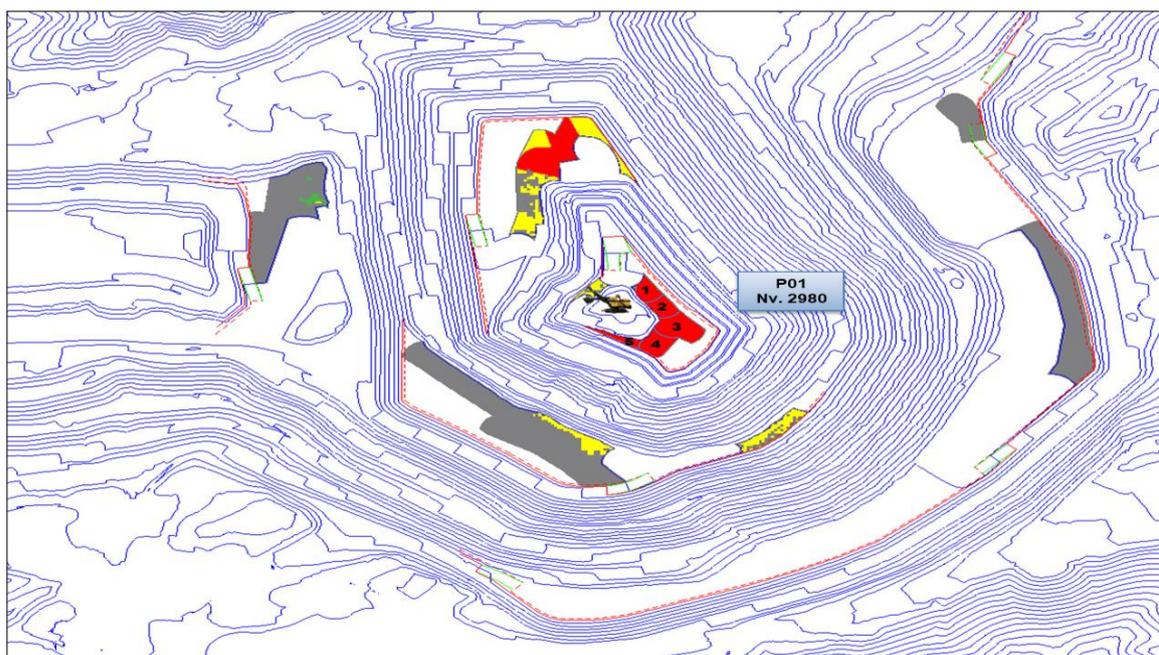


Figura 32. Secuencia de minado para el mes de julio
Fuente: Elaboración propia

4.1.11 Diseño de secuencia de minado para mes de agosto 2017

En la secuencia de minado para el mes de agosto se tiene planificado extraer 57,500 toneladas por día, abasteciendo al 65% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.596% y ley de Mo a 0.015%, para lo cual la en la figura 33, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 y para este mes está programado terminar el nivel 2980 para luego salir perfilando el talud, posteriormente ingresar al nivel 2965

Tabla 18
Operación de la pala para el mes de agosto 2017

MES	AGOSTO
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	93.68%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	585

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

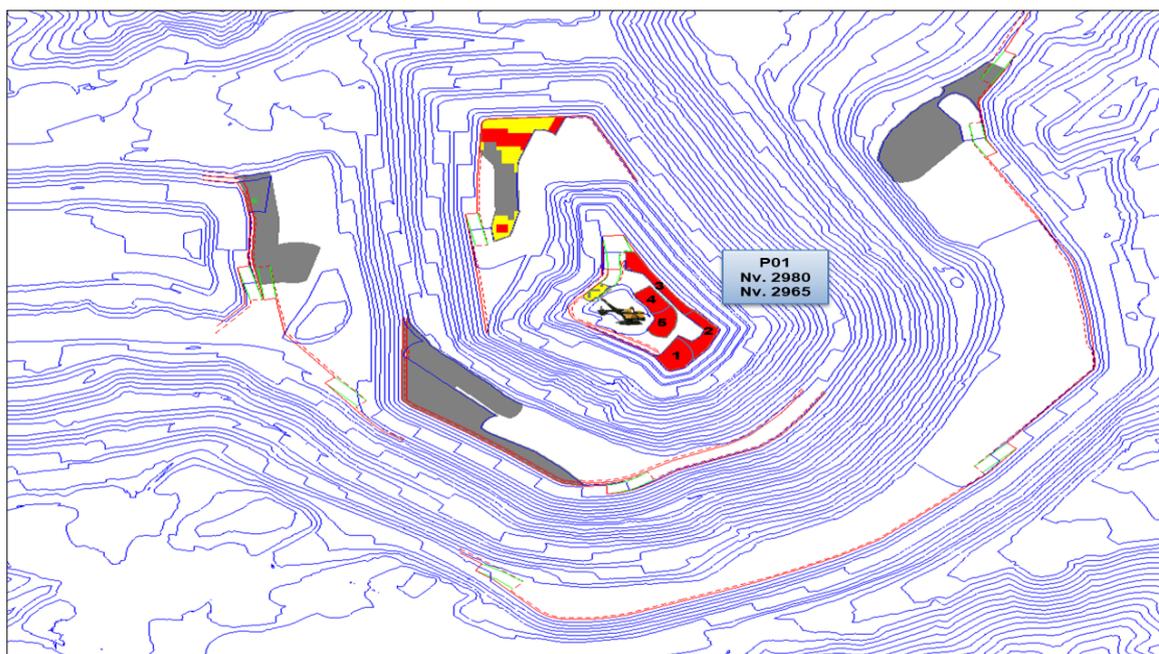


Figura 33. Secuencia de minado para el mes de agosto
Fuente: Elaboración propia

4.1.12 Diseño de secuencia de minado para mes de setiembre 2017

En la secuencia de minado para el mes se tiene planificado extraer 43,000 toneladas por día, abasteciendo al 50% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.612% y ley de Mo a 0.018%, para lo cual la figura 34, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 en el nivel 2965 donde tendrá que habilitar accesos en otra dirección.

Tabla 19
Operación de la pala para el mes de setiembre 2017

MES	SETIEMBRE
DÍAS	30
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	91.25%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	552

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

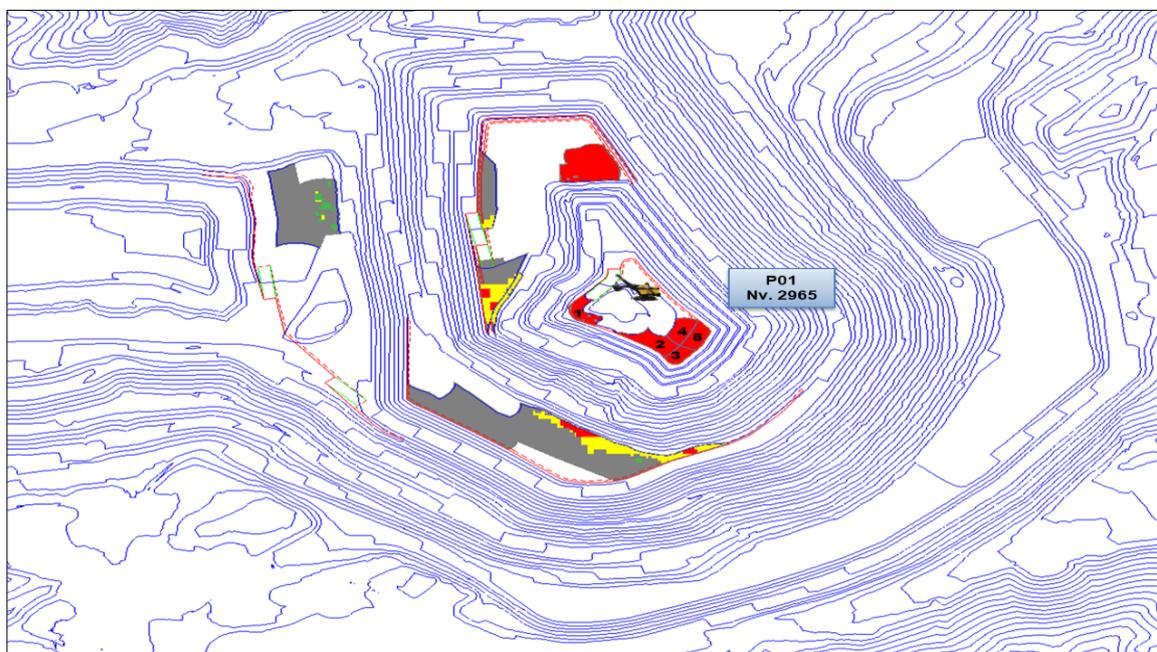


Figura 34. Secuencia de minado para el mes de setiembre
Fuente: Elaboración propia

4.1.13 Diseño de secuencia de minado para mes de octubre 2017

En la secuencia de minado para el mes tiene planificado extraer 45 toneladas por día, con porcentaje de recojo de mineral, abasteciendo al 49% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.615% y ley de Mo a 0.017%, para lo cual la figura 35, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 en donde las dos primeras semanas del mes tiene que terminar de minar ele el nivel 2965 ya dejando perfilado el talud.

*Tabla 20
Operación de la pala para el mes de octubre 2017*

MES	OCTUBRE
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	92.07%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	575

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

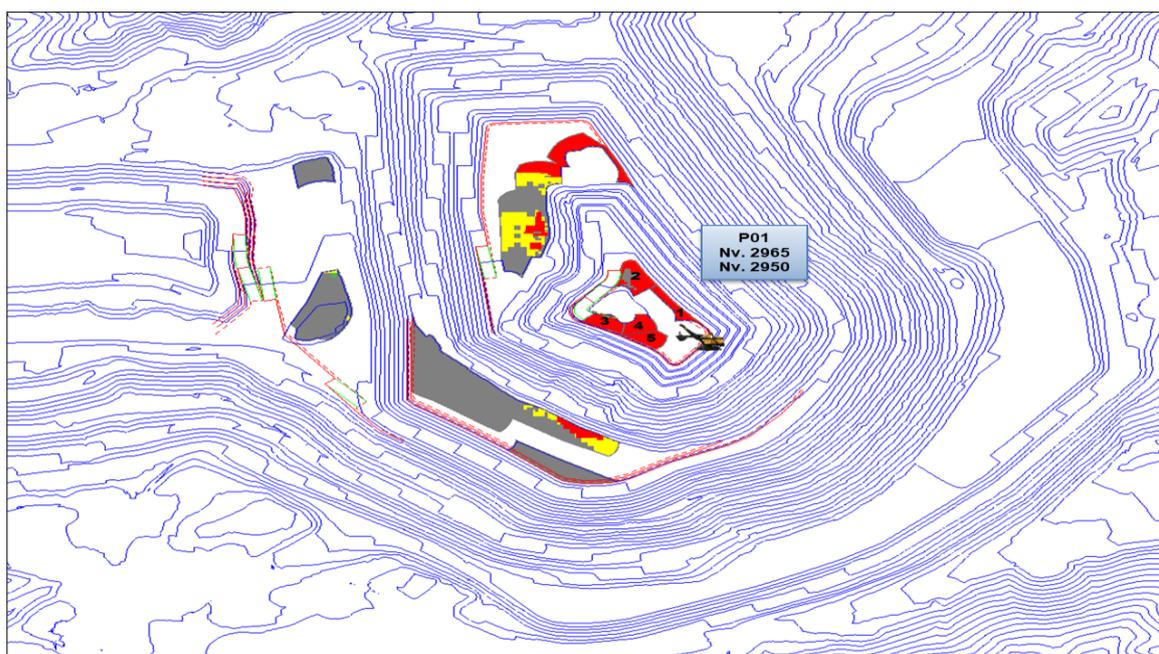


Figura 35. Secuencia de minado para el mes de octubre
Fuente: Elaboración propia

4.1.14 Diseño de secuencia de minado para mes de noviembre 2017

En la secuencia de minado para el mes se tiene planificado extraer 48,100 toneladas por día, abasteciendo al 56% a la concentradora, con una ley de Cu a 591% y ley de Mo a 0.013%, para lo cual figura 36, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 donde tiene que dejar ya perfilado el talud de 15 metros de altura en el nivel 2950

Tabla 21
Operación de la pala para el mes de noviembre 2017

MES	NOVIEMBRE
DÍAS	30
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	91.11%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	551

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

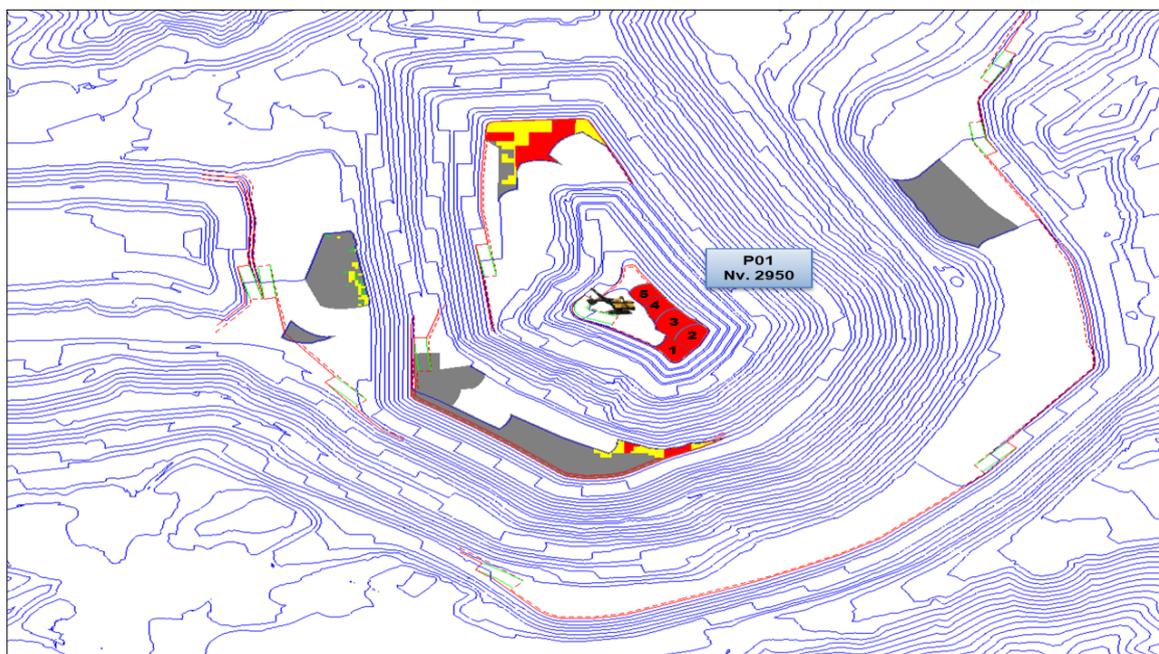


Figura 36. Secuencia de minado para el mes de noviembre
Fuente: Elaboración propia

4.1.15 Diseño de secuencia de minado para mes de diciembre 2017

En la secuencia de minado para el mes se tiene planificado extraer 50 toneladas por día, abasteciendo al 40% a la concentradora, con una ley de Cu a 0.621% y ley de Mo a 0.017%, para lo cual figura 37, se muestra la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 P&H 2800XPB.

Tabla 22
Operación de la pala para el mes de diciembre 2017

MES	DICIEMBRE
DÍAS	31
DISPONIBILIDAD EQUIPOS (MANTTO PLAN 2017)	
P01	93.28%
UTILIZACIÓN EQUIPOS	
P01	84.0%
HORAS OPERATIVAS NETAS	
P01	583

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

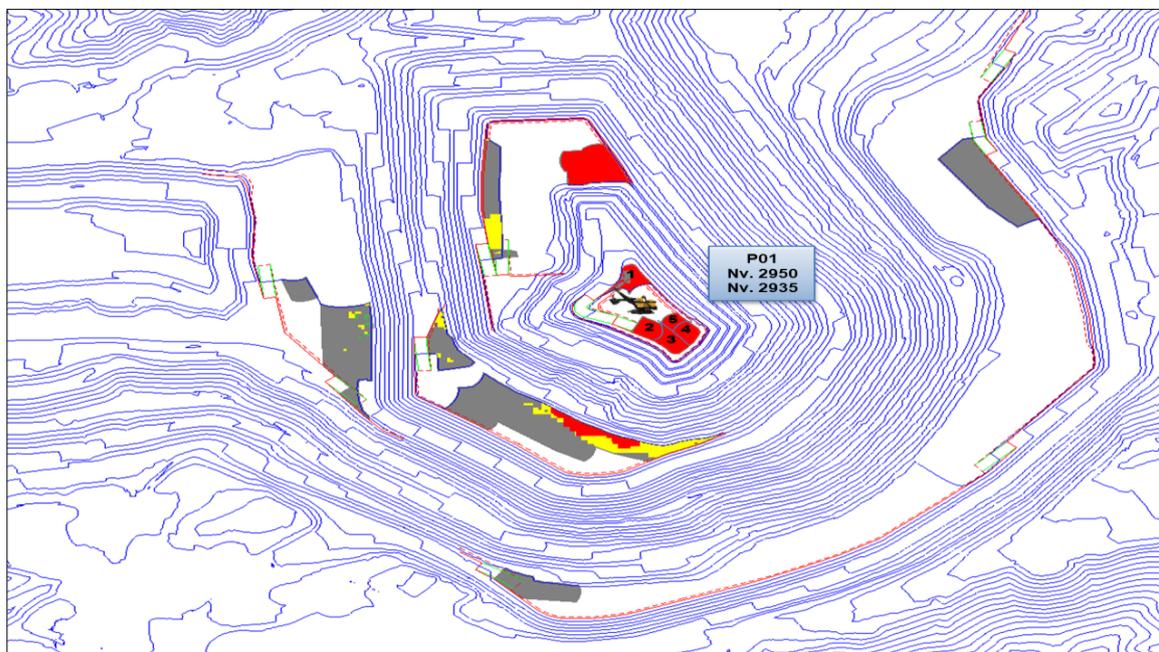


Figura 37. Secuencia de minado para el mes de diciembre
Fuente: Elaboración propia

4.1.16 Resumen de la productividad anual de la pala eléctrica

Con el diseño de secuencia de minado mostrado desde el mes de enero a diciembre, podemos en la figura 36 el comportamiento de la producción anual según el diseño, donde la barra de color azul representa la producción diaria de la Unidad Minera Cuajone y la barra de color amarillo representa la producción de la pala eléctrica P01.

La capacidad de planta de la Unidad Minera Cuajone es de 87,000 toneladas por día, la producción más baja es el mes de junio debido a que para este mes está programado mantenimiento de planta concentradora (parada de planta) por cuatro días, la producción promedio de la pala eléctrica es 50.000 toneladas por día y la producción más baja de la pala eléctrica en los meses de setiembre y diciembre debido a la disponibilidad baja de la pala eléctrica por razones de su mantenimiento del sistema de rodamiento.

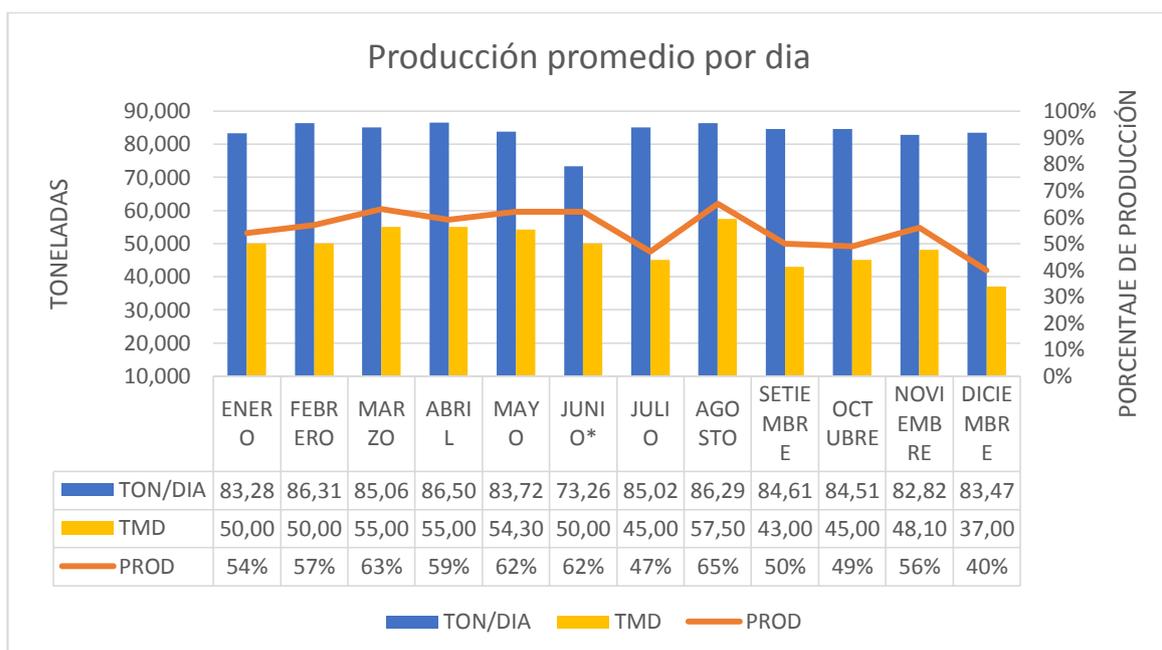


Figura 38. Resumen de producción promedio anual representada en día
Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se muestra el resumen anual de la disponibilidad y las horas netas de producción por mes de la pala eléctrica P01, la barra de color amarillo muestra la disponibilidad y la barra de color azul muestra las horas netas de producción por mes de la pala eléctrica

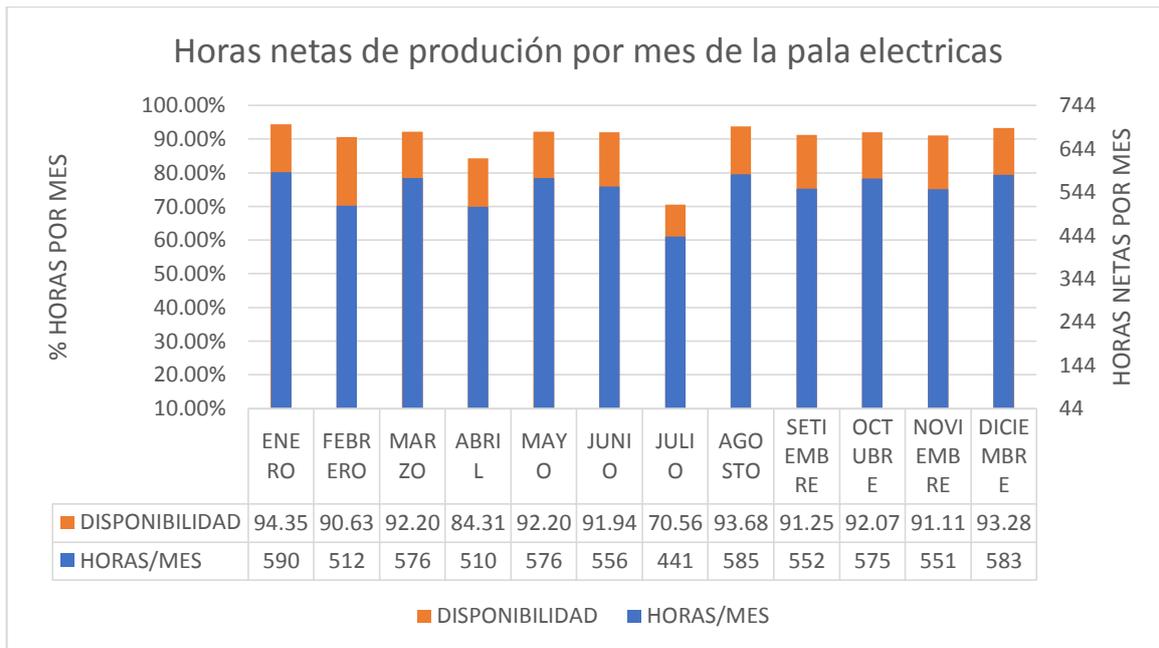


Figura 39. Resumen de disponibilidad de la pala eléctrica
Fuente: Elaboración propia

4.2 Optimización de los tiempos de secuencia de minado de la pala eléctrica P01

Cambiando el ángulo de giro a 75° de la pala eléctrica P01 en la fase 5 se incrementa la productividad.

4.2.1 Productividad anterior de la pala eléctrica

En esta sección se calcula con los datos tomados para el ángulo de giro de 90°

Tabla 23
Tiempos tomados para el ángulo de giro de 90°.

Descripción	Tiempo de ciclo (segundos)
Cargado del cucharón	10.2
Giro con carga	10.1
Descarga	4.1
Giro de regreso	8.0
Tiempo de ciclo	32.4
Cantidad de baldes	4
Tiempo de carguío	107.2

Datos obtenidos de toma de tiempos de carguío
Fuente: Elaboración propia

a) Velocidad de maniobra

$$V_m = \frac{60 \text{ min/hora}}{0.54 \text{ min.}} = 111 \text{ ciclo/hora (teórico)}$$

Tabla 24
Disponibilidad y utilización de la pala eléctrica y el factor de traslado

Pala eléctrica	Disponibilidad	Utilización	Factor de traslado
P01	94.35%	84.00%	0.85

Datos obtenidos del promedio de disponibilidad anual de la pala eléctrica
Fuente: Elaboración propia

$$\text{Ciclo real} = 111 \times 0.94 \times 0.84 \times 0.85 = 74 \text{ ciclos/hora}$$

b) Cálculo de producción de toneladas por ciclo de la P01

Tabla 25
Factores para cálculo de la productividad de la pala eléctrica

Capacidad del balde (m3)	Factor de llenado	Densidad de material fragmentada (ton/m3)	Factor de esponjamiento
35.17	0.85	1.70	0.66

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

$$TC = 35.17 \times 0.85 \times 1.17 \times 0.66 = 33.54 \text{ TM/ciclo}$$

c) Cálculo de toneladas por hora

$$Tm/hora = Vm \times TC = 74 \times 33.54 = 2,482.08 \text{ TM/hora}$$

4.2.2 Productividad optimizada para el ángulo de 75° de la pala eléctrica

Tabla 26
Tiempos tomados para ángulo de giro de 90° para la pala eléctrica

Descripción	Tiempo de ciclo (segundos)
Cargado del cucharón	10.2
Giro con carga	10.1
Descarga	4.1
Giro de regreso	8.0
Tiempo de ciclo	32.4
Cantidad de baldes	4
Tiempo de carguío	107.2

Datos obtenidos en el campo del tiempo de carguío en el nivel 3040, fase 5
Fuente: Elaboración propia

d) Velocidad de maniobra

$$V_m = \frac{60 \frac{min}{hora}}{0.54 \frac{min}{ciclo}} * 1.05 = 116 \text{ ciclo/hora (teórico)}$$

Tabla 27

Datos de disponibilidad promedio de la pala eléctrica

Pala eléctrica	Disponibilidad	Utilización	Factor de traslado
P01	94.35%	84.00%	0.85

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

$$\text{Ciclo real} = 116 \times 0.94 \times 0.84 \times 0.85 = 78 \text{ ciclos/hora}$$

e) Cálculo de productividad toneladas por ciclo de la P01

Tabla 28

Datos para el cálculo de productividad de la pala eléctrica

Capacidad del balde (m3)	Factor de llenado	Densidad de material fragmentada (TM/m3)	Factor de esponjamiento
35.17	0.85	1.70	0.66

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

$$TC = 35.17 \times 0.85 \times 1.17 \times 0.66 = 33.54 \text{ TM/ciclo}$$

4.2.3 Cálculo de parámetros de producción por toneladas por ciclo

Para incrementar la producción se realizan ajustes en todos los factores para determinar la cantidad de material que traslada el balde de la pala para llenar la tolva del camión, tal como se muestra los datos en la tabla 29

Tabla 29

Factores para determinar la cantidad de material

Donde	Valor	Descripción
TC	33.54	Rendimiento toneladas por ciclo (TM/ciclo)
Bc	35.17	Capacidad nominal del balde (m3)
Ff	0.85	Factor de llenado
Wb	1.70	Densidad de material fragmentada (TM/m3)
Sw	0.66	Factor de esponjamiento

Datos obtenidos de cálculo
Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Cantidad de toneladas por hora

Para obtener la cantidad de toneladas promedio por hora se realiza la multiplicación de número de ciclos por hora de la pala por la capacidad efectiva del balde.

$$Tm/h = 78 \text{ ciclo/hora} \times 33.54 \text{ ton/ciclo} = 2,616.25 \text{ TM/hora}$$

4.2.5 Comparación de la producción para diferentes ángulos de giro

En el gráfico 40 se muestran a través de barras, como se incrementa la producción de la pala eléctrica reducción el ángulo de giro a 75° , donde la producción anterior para un ángulo de giro de 90° fue de 2,482.08 toneladas por hora y con la reducción de ángulo de giro se tiene 2,616.25 toneladas por hora, el incremento de la producción de la pala es de 134.17 toneladas. El incremento representa a cuatro baldes por hora equivalente a decir, un camión cargado de 200 toneladas de capacidad por hora, es un incremento justificado debido a que la pala eléctrica tendrá un promedio de trabajo por día de 19.16 horas efectivas de trabajo.

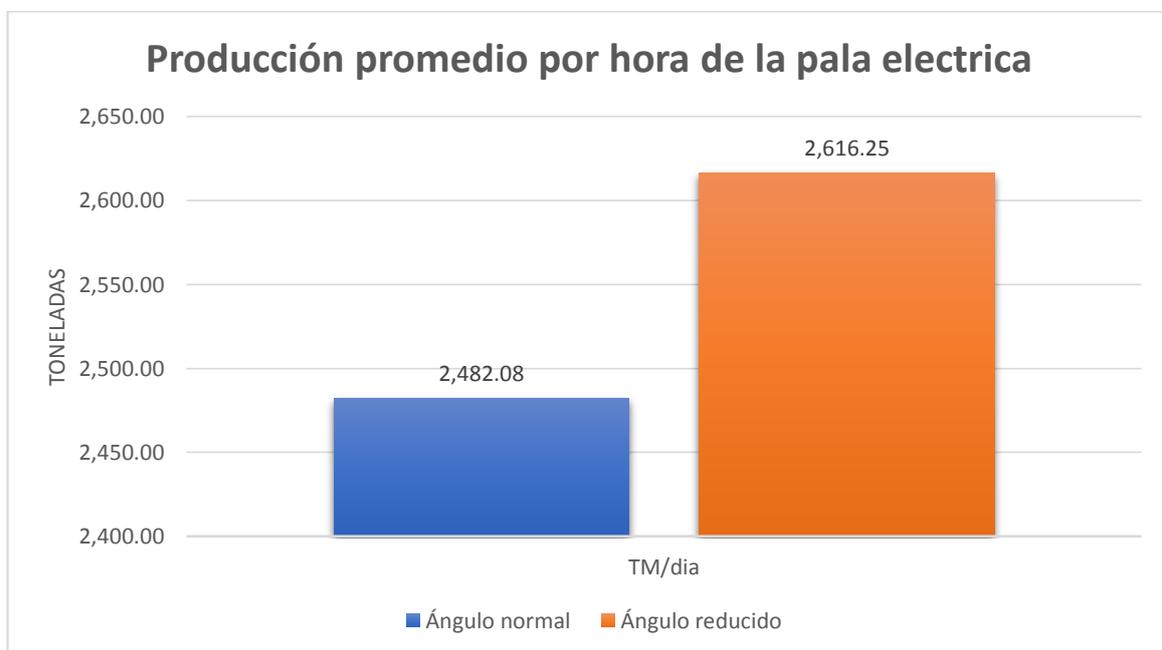


Figura 40. Comparación de la producción de toneladas por día, para diferentes ángulos de giro
Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se muestra la comparación de la producción promedio por mes de la pala eléctrica, donde el incremento al reducir el ángulo de giro a 75° es de 2,570.29

toneladas, donde anteriormente la pala eléctrica producía un promedio de 47,556.66 toneladas por mes, con la reducción de ángulo de giro la pala eléctrica produce 50,127.29 toneladas por mes.



Figura 41. Comparación de producción de toneladas por mes de la pala eléctrica
Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 podemos ver claramente que cuando se reduce el ángulo de giro de la pala eléctrica incrementa el número de ciclos por hora.

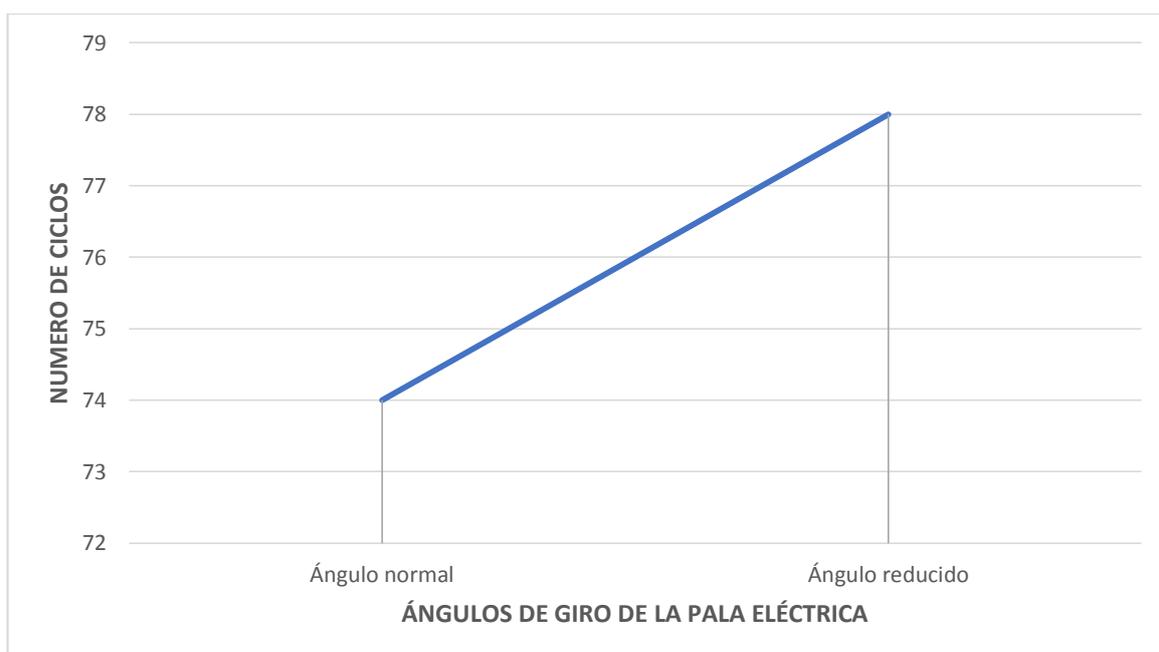


Figura 42. Comparación de producción de la pala eléctrica para distintos ángulos de giro
Fuente: Elaboración propia

4.3 Discusiones

Con el nuevo diseño de la secuencia de minado de la pala eléctrica P01 en la fase 5 se disminuye los tiempos muertos de 60 min a 43 min en la Unidad Minera Cuajone. Los resultados obtenidos se sujetan a la tesis de (Gonzales Riquelme, 2017), *Selección y asignación óptima de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto de la Universidad de Chile*, indica que El plan de movimiento de material debe incluir también factores que representen la realidad, considerando las mantenciones realizadas a los equipos, junto con los factores operacionales relacionados con las personas que trabajan con ellos. Una buena asignación de los equipos a su lugar de trabajo se ve reflejada no tan solo en el valor económico, sino que también en la continuidad con que se logra alimentar la planta con mineral y en el cumplimiento de plan de producción. Esto último es un resultado que dependerá del momento en el cual se comienzan a explotar las distintas fases de la mina en función de los tonelajes remanentes en las fases anteriores.

Con el desarrollo del nuevo diseño de la secuencia de minado de pala eléctrica se incrementa la producción de 47,556.66 a 50,127.29 toneladas por día, logrando un incremento de 2,570.63 toneladas, disminuyendo el ángulo de giro de la pala eléctrica de 90° a 75°. Los resultados obtenidos se sujetan a lo dicho por (Lopez Aburto, 2012) en su libro de *Diseño de operaciones mineras a cielo abierto* en donde indica que: El tiempo teórico del ciclo para palas hidráulicas varía de 25 a 45 segundos por ciclo, dependiendo del tamaño de la máquina. El tiempo del ciclo para palas eléctricas resulta similar al de las hidráulicas. El tiempo utilizado en la fase de giro del ciclo de cargado representa la parte más grande del ciclo completo. Mantener el arco de giro tan estrecho como sea posible ayuda a mejorar la eficiencia de la operación. Un arco de giro de 70 grados se considera como estándar, por ejemplo, 100 % de rendimiento óptimo. Incrementar el arco de giro, hará que se reduzca el rendimiento, mientras que reducir el arco lo incrementará. El mayor alcance

de las palas eléctricas, les permite mantener un arco de giro óptimo por un número más grande de ciclos de cargado, antes de que sea necesario moverlas a una nueva posición. El operador de la pala hidráulica tendrá la opción de girar más para lograr un buen factor de llenado o propulsar la pala más cerca de la cara de ataque. Ambas acciones tendrán un impacto negativo en los ciclos de cargado.

CONCLUSIONES

- Se logró disminuir los tiempos, analizando los problemas diarios que originan pérdidas tales como: Traslado, instalación de puentes, tendido de cables, control de piso y toe de la pala eléctrica P01. de 60 min a 43 min de esta manera incrementando la eficiencia de la pala eléctrica en 1%
- Se logró incrementar la productividad con el nuevo diseño de secuencia de minado de la pala eléctrica P01, mejorando su desplazamiento, optimizando los tiempos y cambiando el ángulo de giro, de esta manera tenemos un incremento de 2,570.63 toneladas, disminuyendo el ángulo de giro de la pala eléctrica P01 a 75°, obteniendo una producción de 50,127.29 toneladas por día.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda diseñar la secuencia de carguío de los camiones mineros, en un tiempo determinado para incrementar la producción esto más cuando la pala eléctrica se ubique en fondo de mina y que tenga espacios reducidos de plataforma de minado.
- Se reconcomiendo evaluar la influencia de ángulo de giro con los costos de carguío en la pala eléctrica de diferentes modelos y marcas debido a que a menor ángulo de giro tendremos mayor productividad de la pala eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Odon, F. G. (1999). *El proyecto de investigación*. Caracas: Editorial Episteme.

Atkinson, T. (1992). *Selection and sizing of excavating equipment*. Colorado, USA :
Mining Engineering Handbook.

Bucyrus International, I. (2009). *495HR Palas Eléctricas para Minería*. USA: Maquinarias
Pesadas Org.

Ccapa Queque, A. L. (2019). *reduccion de costos de produccion mediante la evaluacion
de operaciones unitarias en la minera islay de la empresa chungar*. Puno:
Universidad Nacional del Altiplano.

Conceptodefinicion.de. (s.f.). *Conceptos y definiciones* . Obtenido de
<https://conceptodefinicion.de>

Cotrado Cahui, R. (2017). *tesis Efectos del parametro de fragmentacionP80 en la
velocidad de excavacion de las palas electromecanicas en mina Cuajone*. Puno-
Peru: Universidad Nacional del Altiplano.

Diaz Deniz, J. (2016). *Analisis de productividad y producción de las palas P&H 4100*.
México: Tecnología Nacional de México.

Gonzales Paihua, T. (2010). *tesis Diseño de minas a tajo abierto*. Lima-Peru: Universidad
nacional de ingenieria.

Gonzales Riquelme, H. (2017). *tesis Selecion y asignacion optima de equipos de carguio
para el cumplimiento de una plan de producion en mineria a cielo abierto*.
Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Guevara Rios, J. (2015). *Maquinaria Minera UNAMBA*. Abancay-Apurimac: Univercidad
Nacional Micaela Bastidas.

- Gutierrez Espinoza, P. A. (2013). *tesis Parametros que influyen al llenado del cucharon de las electricas para optimizar el carguio en mineria a tajo abierto*. Arequipa-Peru: Universidad Nacional de San Agustin.
- Hernandez Fernandes, B. (2003). *Metodologia de investigacion*. Mexico: Mc DRAW-HILL.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open pit mine planning and design*. New York: Taylor & Francis pic., London, UK.
- Kennedy, E. B. (2009.). *Surface Mining* . Littleton, Colorado, : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. .
- Komatsu, C. M. (2019). *mining.komatsu*. Obtenido de mining.komatsu:
<https://mining.komatsu/es/product-details/p-h-4100c>
- Leon Chavez, R. A. (2017). *tesis Proyectos de mejora y reduccion de costos en una mina superficial de cobre*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Lopez Aburto, V. M. (2012). *Diseño de operaciones mineras a cielo abierto*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martin, J. (1982). *Surface Mining Equipment*. India: Martin Consultants, Golden, .
- Martin, R. (2013). *shovel loading*. londres: Taylor & Francis pic.
- P&H Mining Equipmet, I. (2017). *Manual operación P&H 4100*. peak services.
- Pacori Paricahua, E. W., & Pacori Paricahua, A. K. (2018). *Metodologia y diseño de la investigacion cientifica*. Puno: Ffecaat editorial.
- Pocohuanca Turpo, E. (2016). *tesis Optimizacion de carguio y transporte en tiempo real con la aplicacion de software JmineOPS en mina Cuajone - Southern Peru*. Puno-Peru: Universidad Nacional del Altiplano.
- Profio, R. (1984). *Shovel productivity* Society for Mining, Metallurgy & Exploration. Littleton, Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy & Exploration.

- SPCC. (2017). *Proceso Productivo del cobre*. Moquegua: Southern Copper.
- Tapia Vega, E. (2018). *Cargio y transpote*. Antofagasta Chile: Universidad Católica del Norte.
- Tecsup. (2014). Productividad de equipos pesados. *Manual Familiarizacion Palas Electricas Cable P&h*, 1-20.
- Tello Tamayo, S. S. (2017). *tesis Optimizacion del secuenciamiento del plan de minado a corto palzo con el software Minesight en el tajo Ferrobamba, las Bambas-Apurimac*. Apurimac-Peru: Universidad Nacional Micaela Bastidas.

ANEXOS

Anexo A. Plan de minado 2017

MES	TM TON/MES	TM TON/DIA	Cusac (%)	Cuscn (%)	Fe (%)	IA+BA (%)	Mo (%)	Recup. (%)	WI	Tcu (%)	WI Ajt	DIAS
1- ENERO	2,581,779	83,283	0.018	0.043	3.251	43%	0.019	84.8	17.02	0.619	17.42	31
2- FEBRERO	2,416,899	86,318	0.017	0.061	3.239	42%	0.018	85.5	16.62	0.626	16.62	28
3- MARZO	2,637,076	85,067	0.017	0.050	3.028	33%	0.013	85.4	16.96	0.596	16.96	31
4- ABRIL	2,595,067	86,502	0.018	0.055	3.172	29%	0.022	85.0	16.70	0.588	16.70	30
5- MAYO	2,595,445	83,724	0.017	0.064	2.970	30%	0.014	85.7	16.51	0.621	16.51	31
6- JUNIO*	2,197,941	73,265	0.016	0.047	2.903	35%	0.018	85.6	16.92	0.624	16.92	30
7- JULIO	2,635,676	85,022	0.019	0.058	3.078	42%	0.014	85.3	17.07	0.628	17.07	31
8- AGOSTO	2,675,151	86,295	0.015	0.051	2.919	30%	0.015	85.7	16.69	0.596	16.69	31
9- SETIEMBRE	2,538,545	84,618	0.018	0.068	2.989	40%	0.018	85.4	16.82	0.612	16.82	30
10- OCTUBRE	2,619,959	84,515	0.019	0.083	3.285	40%	0.017	85.2	16.91	0.615	16.91	31
11- NOVIEMBRE	2,484,851	82,828	0.018	0.058	3.382	43%	0.013	84.8	17.08	0.591	17.48	30
12- DICIEMBRE	2,587,648	83,473	0.019	0.059	3.450	52%	0.017	84.8	16.94	0.621	17.34	31
TOTAL	30,566,038	83,743	0.018	0.058	3.140	38%	0.016	85.3	16.85	0.611	16.95	365

Anexo B. Toma de tiempos de carguío de la pala eléctrica

LT01	H-C	18.460	3.845	2.317	0.311	4.177	5.811	0.078	1.920
LT01	BOT-5-PCTO	29.393	9.407	1.597	0.437	5.160	11.040	0.387	1.367
LT01		19.241	4.243	2.265	0.320	4.247	6.185	0.100	1.881
LT02	H-C	51.048	14.686	5.529	0.564	3.807	21.626	1.404	3.431
P06	H-C	28.268	7.043	1.648	0.137	1.701	14.503	0.576	2.659
P06	ST-5RAMP/SUR	35.496	10.662	0.967	1.979	1.512	17.875	0.042	2.458
P06		29.029	7.424	1.576	0.331	1.681	14.858	0.520	2.638
P01	H-C	47.977	14.342	2.584	0.736	2.428	23.979	1.047	2.860
P01	ST-3475INT	70.389	21.078	1.011	0.828	2.011	44.067	0.000	1.394
P01	ST-5RAMP/NORTE	43.550	15.767	0.000	0.820	2.000	25.867	0.000	0.917
P01	BOLONERIA	51.950	9.850	16.267	0.80	2.200	23.633	0.000	0.000
P01		48.422	14.456	2.626	0.728	2.409	24.391	1.012	2.799
P04	BOT-5-PCTO	31.552	13.259	1.734	0.222	1.908	12.940	0.055	1.434
P04	COCOTEA-W2	40.486	8.417	2.200	0.178	2.050	25.819	0.003	1.819
P04		31.878	13.082	1.751	0.220	1.913	13.411	0.053	1.448
P05	BOT-5-PCTO	24.274	8.577	1.998	0.677	1.840	9.505	0.077	1.600
P05	COCOTEA-W2	38.064	11.196	1.185	0.218	2.042	21.306	0.004	2.114
P05		24.893	8.695	1.962	0.656	1.849	10.035	0.074	1.623
CFC991	BOT-5-PCTO	18.233	6.717	0.000	0.000	5.817	4.600	0.000	1.100
P07	CUAJONE-ESTE 2	24.553	7.683	2.755	0.718	1.867	10.261	0.017	1.252
P07	COCOTEA-W	31.615	12.328	2.212	1.215	2.535	11.388	0.260	1.678
P07		25.970	8.615	2.646	0.818	2.001	10.487	0.066	1.338
P03	CUAJONE-ESTE 2	24.158	6.189	3.184	0.421	2.483	10.714	0.004	1.162
P02	CUAJONE-ESTE 2	33.524	10.839	3.463	0.926	3.583	13.457	0.211	1.045
P02	COCOTEA-W	31.004	10.506	2.716	0.464	3.745	12.068	0.020	1.484
P02		32.703	10.731	3.220	0.776	3.636	13.004	0.149	1.188
		29.810	9.550	2.599	0.594	2.404	12.784	0.225	1.653

Anexo C. Producción diaria de la pala eléctrica
PRODUCCION POR PALA



SOUTHERN COPPER CORPORATION

Fecha Inicial: 1/02/2017

Fecha Final: 28/02/2017

Fecha	CFC991	LT01	LT02	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	TOTAL	PLAN DIARIO	VARIACION
2017-02-01	4,300	10,755	14,745	40,685	74,550	99,400	66,935	57,880	68,830	90,300	560,380	490,000	70,380
2017-02-02	860	12,470	19,905	41,655	75,185	89,480	82,030	106,625	64,465	67,720	560,375	490,000	70,375
2017-02-03		14,130	27,930	50,095	54,550	89,815	40,945	66,045	55,075	111,580	523,165	490,000	33,165
2017-02-04	645	6,340	33,785	32,160	60,020	75,260	83,545	63,710	59,940	106,945	522,350	490,000	32,350
2017-02-05		1,935	9,600	23,340	64,270	84,135	33,725	82,500	73,515	103,760	476,780	490,000	(13,220)
2017-02-06	10,795	5,160	30,885	48,030	60,140	86,265	30,530	74,010	34,645	88,095	478,555	490,000	(11,445)
2017-02-07	12,725	18,110	48,720	38,465	96,305	100,465	52,950	44,945	65,860	76,370	555,915	490,000	65,915
2017-02-08	6,930	20,640	36,160	43,745	99,335	101,175	11,760	99,795	58,870	52,000	540,410	490,000	50,410
2017-02-09	1,890	860	17,765	53,420	86,450	93,010	61,715	86,210	58,395	81,580	541,295	490,000	51,295
2017-02-10		8,170	13,365	48,050	86,070	101,415	81,410	39,415	43,810	94,630	536,335	490,000	46,335
2017-02-11		9,045	7,800	40,000	64,740	92,190	40,645	55,005	21,805	104,145	435,375	490,000	(54,625)
2017-02-12	1,720	5,590	27,935	59,305	66,345	95,140	63,845	49,255	45,815	105,800	520,750	490,000	30,750
2017-02-13	2,740	17,745	39,175	61,085	22,640	83,780	50,390	49,500	63,180	90,805	481,040	490,000	(8,960)
2017-02-14	3,010	22,625	10,520	59,810	53,200	86,975	61,230	61,755	64,050	79,800	502,975	490,000	12,975
2017-02-15	5,160	440	26,965	64,275	53,845	36,565	71,105	76,030	56,870	103,215	494,470	490,000	4,470
2017-02-16		15,420		60,205	49,350	67,805	66,400	57,270	70,675	75,600	462,725	490,000	(27,275)
2017-02-17	8,180	6,030	23,560	29,990	22,050	83,780	45,840	40,995	72,815	92,050	425,290	490,000	(64,710)
2017-02-18		9,460	15,800	10,695	20,650	47,570	41,355	61,080	67,770	61,180	335,510	490,000	(154,490)
2017-02-19		430	14,330	66,650	62,650	97,980	56,500	79,770	66,620	5,950	450,880	490,000	(39,120)
2017-02-20	430	3,225	2,230	45,170	50,060	92,600	47,625	68,925	62,115	57,955	430,335	490,000	(59,665)
2017-02-21			1,300	46,855	31,035	44,375	51,280	98,905	68,445	79,790	421,985	490,000	(68,015)
2017-02-22		4,730	29,640	49,675	33,570	66,030	48,825	40,670	75,355	80,685	429,120	490,000	(60,880)
2017-02-23			14,075	43,305	39,440	48,635	22,760	48,310	63,550	61,600	341,675	490,000	(148,325)
2017-02-24	2,795	11,610	1,115	63,805	54,290	68,405	32,885	17,700	43,595	64,605	360,805	490,000	(129,195)
2017-02-25		9,030	7,140	65,800	46,595	59,995	31,360	12,965	48,545	76,710	358,140	490,000	(131,860)
2017-02-26	2,730	2,580		48,960	58,945	57,465	33,845	52,895	61,590	97,380	416,390	490,000	(73,610)
2017-02-27	1,940	1,290	18,105	32,355	56,760	76,270	30,705	60,390	53,645	101,125	432,585	490,000	(57,415)
2017-02-28		15,635	23,420	71,840	47,320	60,350	51,485	49,125	22,245	103,600	445,020	490,000	(44,980)
Total(t)	66,850	234,455	515,970	1,424,425	1,590,300	2,186,310	1,393,625	1,701,680	1,612,090	2,314,925	13,040,630	13,720,000	(679,370)
Promedio(t)	4,178	9,018	19,845	45,872	56,796	78,083	49,772	60,774	57,575	82,676	465,737	490,000	(24,263)

Anexo D. Disponibilidad y producción de las palas eléctricas

DISPONIBILIDAD PALAS

MES DIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
P01	94.35%	90.63%	92.20%	84.31%	92.20%	91.94%	70.56%	93.68%	91.25%	92.07%	91.11%	93.28%	89.79%
P03	93.15%	84.67%	92.74%	83.75%	92.47%	92.22%	95.16%	94.62%	0.00%	3.23%	95.83%	92.88%	76.76%
P04	88.71%	83.93%	85.48%	89.44%	88.71%	89.44%	87.63%	84.95%	88.89%	87.90%	87.22%	86.83%	87.44%
P05	86.16%	89.43%	90.19%	91.53%	91.80%	90.97%	92.61%	93.41%	89.31%	91.26%	90.97%	89.11%	90.57%
P06	92.74%	88.39%	88.17%	89.17%	89.52%	93.06%	92.74%	90.59%	93.61%	93.82%	86.94%	89.52%	90.71%
P07	91.13%	90.18%	91.13%	90.83%	91.13%	90.83%	91.13%	91.13%	90.83%	91.13%	90.83%	91.13%	90.96%
LT01	83.47%	81.70%	81.59%	82.64%	82.66%	80.28%	81.99%	80.91%	80.28%	81.59%	80.97%	84.81%	81.92%
LT02	81.99%	79.61%	84.81%	80.97%	84.81%	84.31%	84.81%	74.06%	80.97%	81.59%	84.31%	84.81%	82.27%
Promedio Total													86.30%

PRODUCCION PALAS

MES Y DIAS PALA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM DIA	TOTAL
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
P01	50,000	50,000	55,000	55,000	54,300	50,000	45,000	57,500	43,000	45,000	48,100	37,000	49,153	17,940,800
P03	65,000	65,000	37,500	60,500	80,000	80,000	80,000	76,500			72,000	72,500	57,401	20,951,500
P04	75,000	70,000	75,000	80,000	70,500	73,500	70,900	75,000	80,000	80,000	77,500	77,500	75,427	27,530,900
P05	75,000	77,500	75,000	82,500	80,000	80,000	80,000	80,000	77,500	80,000	70,000	75,000	77,712	28,365,000
P06	70,000	65,000	70,000	77,500	73,700	75,000	74,000	75,000	77,500	77,500	72,400	73,500	73,470	26,816,700
P07	75,000	77,500	75,000	85,000	82,500	82,500	82,500	82,500	84,500	85,000	77,500	77,500	80,589	29,415,000
LT01														
LT02	10,000	15,000	32,500	29,500	29,000	29,000	27,600	13,500	35,000	30,000	19,590	24,090	24,603	8,980,100
TOTAL/DIA (t)	420,000	420,000	420,000	470,000	470,000	470,000	460,000	460,000	397,500	397,500	437,090	437,090	438,356	160,000,000
TOTAL/MES (t)	13,020,000	11,760,000	13,020,000	14,100,000	14,570,000	14,100,000	14,260,000	14,260,000	11,925,000	12,322,500	13,112,705	13,549,795	160,000,000	



Fotos 1. Pala eléctrica P01cargando al camión minero



Fotos 2. Pala eléctrica P&H 2800 XPB



Fotos 3. Desplazamiento de la pala eléctrica



Fotos 4. Vista panorámica del tajo Cuajone

MINA CUAJONE
RESERVAS @US\$/lb Cu

AÑO	Mineral (t x 1000)	Ley de Cu en Mineral (%)	Ley de Mo en Mineral (%)	Lixiviable (t x 1000)	Ley de Cu en Lixiviable (%)	Desmonte (t x 1000)	Relación Desbroce (D/M+L)	Total Material (t x 1000)
2017	30,276,788	0.639	0.017	0	0.000	123,316,212	4.070	153,593,000
2018	29,260,735	0.649	0.017	1,413,000	0.560	126,469,265	4.120	157,143,000
2019	27,462,148	0.696	0.019	1,426,000	0.698	123,624,852	4.280	152,513,000
2020	27,300,000	0.749	0.022	0	0.000	126,703,000	4.640	154,003,000
2021	27,055,000	0.509	0.016	0	0.000	142,669,000	5.270	169,724,000
2022	27,458,000	0.507	0.014	1,224,000	0.498	141,040,000	4.920	169,722,000
2023	26,829,000	0.499	0.017	265,000	0.591	142,629,000	5.260	169,723,000
2024	28,509,000	0.584	0.021	0	0.000	141,681,000	4.970	170,190,000
2025	28,850,000	0.570	0.023	0	0.000	140,871,000	4.880	169,721,000
2026	28,557,000	0.521	0.020	0	0.000	141,166,000	4.940	169,723,000
2027	28,420,000	0.471	0.019	0	0.000	142,312,580	5.010	170,732,580
2028	27,341,000	0.437	0.019	0	0.000	142,849,000	5.220	170,190,000
2029	27,493,000	0.384	0.016	424,000	0.379	141,315,828	4.970	169,232,828
2030	27,541,000	0.422	0.016	0	0.000	141,268,000	5.060	168,809,000
2031	28,170,000	0.410	0.017	0	0.000	140,638,828	4.990	168,808,828
2032	26,746,000	0.472	0.016	0	0.000	142,527,828	5.330	169,273,828
2033	26,674,000	0.444	0.016	0	0.000	142,134,828	5.330	168,808,828
2034	27,983,000	0.500	0.016	0	0.000	141,742,000	5.070	169,725,000
2035	27,281,000	0.511	0.014	0	0.000	142,444,000	5.220	169,725,000
2036	26,598,000	0.513	0.014	0	0.000	143,592,000	5.400	170,190,000
2037	28,871,000	0.527	0.016	0	0.000	118,954,000	4.120	147,825,000
2038	30,000,000	0.508	0.018	0	0.000	117,825,000	2.100	147,825,000
2039	29,699,000	0.505	0.017	0	0.000	118,126,000	2.130	147,825,000
2040	31,097,000	0.513	0.016	0	0.000	116,728,000	2.000	147,825,000