

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE  
APURÍMAC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA DE MINAS**



**OPTIMIZACIÓN DEL SECUENCIAMIENTO DEL PLAN DE MINADO  
A CORTO PLAZO CON EL SOFTWARE MINESIGHT EN EL TAJO  
FERROBAMBA, LAS BAMBAS - APURÍMAC 2017**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:  
BACH.: SEBASTIAN SERAPIO TELLO TAMAYO**

**ABANCAY, DICIEMBRE DEL 2017  
P E R U**





**OPTIMIZACIÓN DEL SECUENCIAMIENTO DEL PLAN DE MINADO  
A CORTO PLAZO CON EL SOFTWARE MINESIGHT EN EL TAJO  
FERROBAMBA, LAS BAMBAS - APURÍMAC 2017**



## *Dedicatoria*

*Este trabajo va dedicado a los pilares más importantes de mi vida, mis padres y mi hermano, que con su infinito amor esfuerzo y apoyo lograron guiarme con el único fin de alcanzar mis sueños.*

*A todas aquellas personas que invierten su tiempo no sólo en sus aspectos personales y familiares, sino en estudiar cada día, para comprender mejor las cosas.*

*A mis amigos que me apoyaron en mi formación profesional, finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de mi formación profesional, que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.*



## *Agradecimientos*

*Primeramente, doy gracias a Dios, por permitirme cumplir mis sueños, en guiarme por el camino que tanto me apasiona.*

*A mi Alma Mater “Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac”, a todo el personal docente de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por todos los conocimientos, experiencias y consejos que me brindaron a lo largo de mi formación profesional.*

*En estas líneas agradezco a todas aquellas personas y a la vez a la Empresa Minerals and Metals Group - Las Bambas, que hicieron posible la realización de esta Tesis. El más profundo reconocimiento al equipo humano de la Gerencia de Servicios Técnicos, Planeamiento Mina Las Bambas que me apoyaron en el inicio de mi carrera profesional de Ingeniero de Minas.*



## INDICE

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABLAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
RESÚMEN	
“ABSTRACT”	
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
<b>1.1. Planteamiento del Problema de la Investigación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1. Descripción del Problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Formulación del Problema .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Problema General .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. Problema Específicos .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Objetivos de la Investigación.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1. Objetivo general .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5. Hipótesis de Investigación .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.1. Hipótesis General.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.2. Hipótesis Específicas .....</b>	<b>7</b>
<b>1.6. Variables.....</b>	<b>8</b>
CAPÍTULO II .....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
<b>2.1. Antecedentes de la Investigación.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Generalidades .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1. Localización Geográfica y Política del Proyecto Minero Las Bambas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.1. Ubicación Geográfica .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.2. Localización Política .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1.3. Concesiones Mineras .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1.4. Accesibilidad .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2. Recursos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2.1. Clima.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2.2. Flora.....</b>	<b>18</b>



2.2.2.3. Fauna .....	18
2.2.2.4. Fisiografía .....	18
2.2.3. Reseña Histórica.....	19
2.2.4. Geología .....	21
2.2.4.1. Marco Estructural .....	21
2.2.4.2. Geomorfología e Hidrogeología .....	22
2.2.4.3. Geología Regional .....	23
2.2.4.4. Geología Local .....	23
2.2.4.5. Geología Ferrobamba .....	25
2.2.4.6. Rocas Sedimentarias.....	25
2.2.4.7. Rocas Intrusivas .....	25
2.2.4.8. Alteración .....	26
2.2.4.9. Modelo Geológico del Tajo Ferrobamba.....	28
2.2.4.10. Estimación de Reservas del Proyecto Las Bambas .....	29
2.3. Bases Teóricas de Planificación .....	30
2.3.1. Tipos de Planificación .....	30
2.3.1.1. “Short-Range” .....	30
2.3.1.2. “Long-range” .....	31
2.3.2. Reglas de Planificación .....	31
2.3.3. “Mine Life Rule” .....	32
2.3.4. Destinos de Minado .....	33
2.3.5. Alternativa de “Stockpile” .....	34
2.3.6. Programa de Producción .....	36
2.3.7. Programación de Fase.....	37
2.3.8. Secuencia de Bloques usando Programación Dinámica .....	40
2.3.9. Determinación del “Pit” Optimo .....	40
2.3.10. Periodos del Plan .....	41
2.3.11. Flota de Equipos.....	43
2.3.12. Consideraciones Geométricas .....	44
2.3.12.1. Geometría Básica del Banco .....	46
2.3.12.2. Acceso a Mineral .....	53
2.3.12.3. Frentes de Minado .....	56
2.3.13. Secuenciamiento de “Pit Expansion” .....	61



2.3.14. Cortes Frontales .....	62
2.3.14.1. Corte Paralelo a la Vía.....	64
2.3.14.2. Cortes Paralelos .....	65
2.3.14.3. Condiciones Necesarias para Cortes Paralelos .....	72
2.3.14.4. Secuenciamiento de Cortes .....	74
2.3.15. Angulo del “Pit” .....	76
2.3.16. Rampas y Caminos .....	76
2.3.17. “Stripping Ratio” .....	78
2.3.18. Flota Minera.....	79
2.3.18.1. P&H 4100XPC .....	82
2.3.18.2. CAT 7495HR.....	87
2.3.18.3. CAT 6060S.....	91
2.3.18.4. Cargador “LeTourneau” L-2350 .....	96
2.3.18.5. KOM 930E-4SE.....	98
2.3.18.6. CAT 797F.....	102
2.3.19. Disponibilidad y Utilización de Equipos .....	105
2.3.19.1. Flujo de Tiempo.....	107
2.3.19.2. Disponibilidad .....	108
2.3.19.3. Utilización.....	109
CAPÍTULO III.....	111
“SOFTWARE” APLICADO AL PLANEAMIENTO MINA .....	111
3.1. Aplicaciones de la Informática en el Planeamiento .....	111
3.1.1. Programas con Aplicaciones Mineras .....	111
3.1.1.1. Hojas de Cálculo.....	112
3.1.1.2. Programas de Dominio Público .....	112
3.1.1.3. Rockware & Similares .....	113
3.1.1.4. Programas Específicamente Mineros.....	113
3.1.2. Mercado de los “Software’s” Mineros.....	114
3.1.2.1. Mintec-“MineSight” .....	115
3.1.2.2. Maptek-Vulcan.....	117
3.1.2.3. “Minemax” .....	118
3.1.2.4. “Deswik” .....	119
3.1.2.5. “Gemcom- Whittle” .....	120



CAPÍTULO IV .....	122
OPTIMIZACIÓN DEL SECUENCIAMIENTO DEL PLAN DE MINADO .....	122
<b>4.1.    Secuenciamiento del Plan Semanal de Minado a Corto Plazo con el “Software Minesight” .....</b>	<b>122</b>
<b>4.1.1.    Seteo “MineSight Reserve” .....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.2.    Seteo “Interactive Planner” .....</b>	<b>126</b>
<b>4.2.    Programa Semanal de Palas &amp; Chancado .....</b>	<b>134</b>
<b>4.2.1.    Capacidad Nominal de Producción .....</b>	<b>136</b>
<b>4.2.2.    Secuenciamiento Semanal de Minado .....</b>	<b>136</b>
<b>4.2.3.    Resultado del Corte Semanal .....</b>	<b>140</b>
<b>4.2.4.    Rutas de Acarreo .....</b>	<b>141</b>
CAPÍTULO V .....	142
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	142
<b>5.1.    Descripción de la Experimentación .....</b>	<b>142</b>
<b>5.2.    Métodos, Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos .....</b>	<b>142</b>
<b>5.2.1.    Recopilación de Información .....</b>	<b>142</b>
<b>5.2.2.    Obtención de Información de campo .....</b>	<b>143</b>
<b>5.2.3.    Trabajo de Gabinete .....</b>	<b>143</b>
<b>5.2.4.    Interpretación de los Resultados .....</b>	<b>143</b>
<b>5.2.5.    Análisis y Propuestas de Mejoras .....</b>	<b>143</b>
<b>5.3.    Procesamiento y Análisis de Datos .....</b>	<b>143</b>
<b>5.4.    Comparativo Semanal .....</b>	<b>143</b>
<b>5.4.1.    Reconciliación de Modelo de Bloques .....</b>	<b>144</b>
<b>5.4.2.    Reconciliación del Plan de Minado .....</b>	<b>144</b>
<b>5.4.3.    Reconciliación de los Frentes de Minado .....</b>	<b>146</b>
<b>5.4.4.    Prueba de Hipótesis .....</b>	<b>147</b>
CONCLUSIONES .....	149
RECOMENDACIONES .....	151
BIBLIOGRAFÍA .....	152
ANEXOS .....	155

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2- 1. Ubicación Las Bambas .....	13
FIGURA 2- 2. Comunidades asentadas en el área del Proyecto Las Bambas .....	14
FIGURA 2- 3. Poligonal de Área de estudio .....	15
FIGURA 2- 4. Metalogénia del Perú, principales franjas mineralizadas .....	22
FIGURA 2- 5. Columna Estratigráfica .....	24
FIGURA 2- 6. Modelo geológico del Tajo Ferrobamba.....	28
FIGURA 2- 7. Estimación de Reservas del Proyecto Medido & Indicado %(Kt).....	29
FIGURA 2- 8. Representación esquemática de orígenes y destinos.....	35
FIGURA 2- 9. Secuencia de producción Mineral/Desmonte.....	36
FIGURA 2- 10. Secuenciamiento de fases de Minado .....	37
FIGURA 2- 11. Orden de fases en un depósito mineral .....	38
FIGURA 2- 12. Consideración geométrica de un Pit.....	45
FIGURA 2- 13. Partes de un banco .....	46
FIGURA 2- 14. Sección de corte de un banco.....	47
FIGURA 2- 15. Configuración de doble banco .....	48
FIGURA 2- 16. Geometría de “Catch Bench” .....	49
FIGURA 2- 17. Bermas de seguridad .....	50
FIGURA 2- 18. Pala Eléctrica 4100XPC.....	51
FIGURA 2- 19. Altura de minado en función al cucharón .....	52
FIGURA 2- 20. Geometría de Mineral/Ejemplo.....	54
FIGURA 2- 21. Construcción de Rampa en mineral .....	55
FIGURA 2- 22. Diseño de “Blasthole” en rampa .....	56
FIGURA 2- 23. Anchos mínimos de Minado para una sola Pala Eléctrica .....	58
FIGURA 2- 24. Geometría de ancho mínimo de minado por ambos lados en pala Eléctrica.....	59
FIGURA 2- 25. Preparación de Rampa en desmonte .....	60
FIGURA 2- 26. Vista isométrica de minado simultaneo en diferente banco.....	60
FIGURA 2- 27. Representación de Minado frontal .....	62
FIGURA 2- 28. Movimiento de Pala en corte Frontal.....	63
FIGURA 2- 29. Minado dos palas en el mismo banco .....	64
FIGURA 2- 30. Corte Final de Fase con ambas palas .....	64
FIGURA 2- 31. Corte paralelo en vía .....	65
.FIGURA 2- 32. Corte paralelo en ambos lados .....	66
FIGURA 2- 33. Corte paralelo a un lado .....	66
FIGURA 2- 34. Secuencia de minado en corte paralelo a un solo lado.....	68
FIGURA 2- 35. Secuencia de minado en corte paralelo en ambos lados .....	70
FIGURA 2- 36. Secuencia de minado en corte paralelo en ambos lados .....	71
FIGURA 2- 37. Representación simple de una berma de seguridad.....	74
FIGURA 2-38. Cortes por niveles de banco .....	75
FIGURA 2- 39. Geometría del Angulo del talud.....	76
FIGURA 2- 40. Topografía vista en Planta .....	77
FIGURA 2- 41. Secuencia de minado de un cuerpo cilíndrico de mineral.....	78



FIGURA 2- 42. Pala eléctrica P&H 4100XPC .....	82
FIGURA 2- 43. Dimensiones de P&H4100XPC .....	86
FIGURA 2- 44. Altura máxima de cargado CAT6060S .....	94
FIGURA 2- 45. Diseño LeTourneau L-2350 .....	97
FIGURA 2- 46. Dimensiones KOM 930E-4SE .....	100
FIGURA 2- 47. Dimensión posterior KOM 930E-4SE .....	100
FIGURA 2- 48. Dimensión Delantera KOM 930E-4SE .....	101
FIGURA 2- 49. Dimensiones/especificaciones CAT 797F .....	103
FIGURA 2- 50. Distribución de tiempo total del equipo respecto al proceso productivo .....	107
FIGURA 2- 51. Sistema de control de tiempos .....	110
FIGURA 3- 1. Entorno de trabajo Minemax .....	119
FIGURA 3- 2. Entorno de trabajo Deswik .....	120
FIGURA 4- 1. Línea Media Topográfica .....	128
FIGURA 4- 2. Polígonos de Banco por Pala .....	129
FIGURA 4- 3. Cortes sobre el pie del banco .....	129
FIGURA 4- 4. Polígonos/Solidos para Palas .....	131
FIGURA 4- 5. Cortes con “AutoSlicer” .....	132
FIGURA 4- 6. Corte de Pala .....	133
FIGURA 4- 7. Cortes Manuales .....	134
FIGURA 4- 8. Cortes programados para mineral en pala hidráulica N° 11 .....	137
FIGURA 4- 9. Corte a detalle según ley %Cu y Toxs de Pala 11 .....	138
FIGURA 4- 10. Cortes programados para mineral en pala hidráulica N° 03 .....	138
FIGURA 4- 11. Corte a detalle según ley %Cu y Toxs de Pala 11 .....	139
FIGURA 4- 12. Producción de Cu Fino .....	141
FIGURA 4- 13. Rutas de acarreo para camiones .....	141
FIGURA 5- 1. Block Model Reconciliation .....	144
FIGURA 5- 2. KPI Weekly Mine Plan .....	145
FIGURA 5- 3. Reconciliación de minado .....	146



## INDICE DE TABLAS

TABLA 2- 1. Concesión Proyecto Las bambas .....	15
TABLA 2- 2. Coordenadas/Perímetro .....	16
TABLA 2- 3. Vías de Acceso .....	16
TABLA 2- 4. Temperatura media mensual en Mina .....	17
TABLA 2- 5. Reservas por Fases del Proyecto las Bambas .....	29
TABLA 2- 6. Destinos de Minado .....	34
TABLA 2- 7. Recurso Medidos, Indicados & Inferidos .....	39
TABLA 2- 8. Flota de equipos de Acarreo/Prevision de Equipos .....	80
TABLA 2- 9. Flota de equipos de Acarreo/Prevision de Equipos .....	81
TABLA 2- 10. Flota de perforadoras/Prevision de Equipos .....	81
TABLA 2- 11. Especificaciones de trabajo y Capacidad P&H4100XPC.....	85
TABLA 2- 12. Consumo de energía P&H4100XPC .....	85
TABLA 2- 13. Especificaciones Sistema eléctrico CAT7495HR .....	89
TABLA 2- 14. Especificaciones de Peso y Dimensiones CAT 7495HR.....	89
TABLA 2- 15. Dimensiones de trabajo para CAT 7495HR .....	90
TABLA 2- 16. Datos generales CAT6060S .....	95
TABLA 2- 17. Especificaciones de potencia CAT6060S.....	95
TABLA 2- 18. Velocidades VS Peso Bruto CAT 797F .....	104
TABLA 2- 19. Calculo de distribución de tiempo .....	109
TABLA 3- 1. Flujo de tareas para proyectos .....	116
TABLA 3- 2. Flujo de tareas Vulcan .....	118
TABLA 4- 1. Metodología de planificación a corto plazo .....	123
TABLA 4- 2. Sistema de control-Tipo de material.....	125
TABLA 4- 3. Seteo según ORTY Ferrobamba.....	125
TABLA 4- 4. Configuración “Interactive Planner” .....	127
TABLA 4- 5. Programa de Palas y Perforadoras .....	135
TABLA 4- 6. Programa de chancado y fajas Overland .....	136
TABLA 4- 7. Producciones por equipo de carguío (Ktons) .....	136
TABLA 4- 8. Reporte de cortes por Pala/Día.....	139
TABLA 4- 9. Resumen de producción de semana - Material movido.....	140
TABLA 5- 1. Reconciliación de modelo de Bloques.....	144
TABLA 5- 2. Reconciliación de Plan de minado.....	145
TABLA 5- 3. Cumplimiento del Plan.....	148
TABLA 5- 4. Constatación de la prueba de hipótesis.....	149

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 2- 1. Tajo Ferrobamba .....	25
FOTOGRAFIA 2- 2. Bancos simples Tajo Ferrobamba-Zona Minitajo .....	50
FOTOGRAFIA 2- 3. Rampa en Mineral Nv. 3720.....	55
FOTOGRAFIA 2- 4. Minado de tres Palas en Nv. 3945 .....	61
FOTOGRAFIA 2- 5. Caminos Pioneros-Ruta de Camiones .....	77
FOTOGRAFIA 2- 6. Pala N° 03 P&H4100XPC.....	86
FOTOGRAFIA 2- 7. Pala N° 01 CAT 7495.....	91
FOTOGRAFIA 2- 8. Pala Hidraulica N° 13 CAT6060S.....	96
FOTOGRAFIA 2- 9. Cargador N° 01 LeTourneau L-2350.....	98
FOTOGRAFIA 2- 10. Camiones 930E-4SE KOM en Rampa Jahuapaylla Alta.....	101
FOTOGRAFIA 2- 11. Camión N° 74 CAT 797F-Zona de entrenamiento.....	105



## LISTA DE SÍMBOLOS

SH	: Shovel
TD	: Truck Drill
HT	: Haul Truck
Ktpd	: Kilo toneladas por día
Tons	: Toneladas
Toxs	: Taza de Oxidación
LD	: Loader
DISP (%)	: Disponibilidad
U.D. (%)	: Uso de la Disponibilidad
Ha	: Hectáreas
hrs	: Horas
Km	: Kilómetros
Kph	: Kilómetros por Hora
m	: Metros
msnm	: Metros Sobre el Nivel del Mar
NO	: Noreste
SE	: Sureste
CST	: Cresta
TOE	: Toe (Pie de banco)
ELE	: Elevación
TSF	: “Tailings Storage Facility”



## RESUMEN

El grado de optimización alcanzado actualmente en la minería moderna a tajo abierto ha conducido al empleo de grandes máquinas para el minado de materiales rocosos, para la carga y transporte de estos hasta su destino final. El éxito de la operación minera a tajo abierto se basa, en un sistema de planificación, en la correcta elección de los equipos, para alcanzar rendimientos que garantice los costes de producción. La planificación y diseño a Corto Plazo de minas a cielo abierto compromete grandes movimientos de mineral y de estéril; para obtener finos de Cobre y subproductos. El proceso de planificación de corto plazo en la secuencia del Plan de Minado es importante; en Las Bambas se materializa considerando factores operacionales para lograr las metas de producción a corto y largo plazo.

El conocimiento que se tenga del yacimiento a través del Modelo de Bloques, con el adecuado diseño de la explotación, con el empleo de ordenadores y el uso de aplicaciones informáticas de modelización geológica, permite actualizar el inventario de reservas y así desarrollar un secuenciamiento de minado óptimo en el proceso de planificación de corto Plazo. Construyendo de manera automática múltiples escenarios de un minado según el tipo de material, con el objetivo final de la recuperación de Cobre Fino.



## ABSTRACT

The degree of optimization currently achieved in modern open-pit mining has led to the use of large machines for the modelling of rocky materials, for loading and transporting them to their final destination. The success of the open-pit mining operation is based, in a planning system, on the correction of the choice of equipment, in order to achieve yields that guarantee production costs. The planning and short-term design of open pit mines involves large movements of ore and waste; to obtain Copper fines and by-products. The short-term planning process in the sequence of the Mining Plan is important; in Las Bambas it is materialized considering the operational factors to achieve the short and long term production goals.

The knowledge that we have of the deposit through the Block Model, with the appropriate design of the exploitation, with the use of computers and the use of computer applications of Geological Modelling, allows us to update the inventory of reserves and this is developed by a optimal mining sequencing in the short term planning process. Building many multiple scenarios according to the type of material, with the ultimate goal of recovering Fine Copper.



## INTRODUCCIÓN

La producción de mineral en minería a cielo abierto se realiza empleando equipos de tecnología de punta, se utiliza equipos de gran tonelaje como las palas eléctricas P&H, CAT, y cargador frontal “Letourneau” L2350, etc. Para la operación de carguío; para el proceso de acarreo, se usan camiones Komatsu 930E-4SE y Ceterpillar 797F. Las operaciones de perforación se realizan con perforadoras eléctricas (P&H 320XPC) y diesel (P&H-250XPC).

En el planeamiento a corto plazo, es típico y de responsabilidad de los ingenieros de operación, comprender un periodo hasta de un año, en el curso de la planificación es característico los planeamientos diarios, “semanales” y mensuales hasta completar el plan anual. Es en esa instancia de la planificación donde se deben analizar los recursos utilizados en la operación de la mina. En el proceso se debe recopilar la información operacional para retroalimentar la planificación de mediano y corto plazo.

En el planeamiento en tajo abierto es importante describir y analizar, cada una de las etapas que debe de llevar cada diseño de mina y cálculo de reservas de un determinado yacimiento. La determinación de limite final mediante los “software” de optimización nos brindan el limite final, mas no el limite final económico.

El diseño geométrico de la mina está en función a varios factores, tamaño del yacimiento, geología, el ratio de minado, tamaño de equipo, etc. En tal sentido, el uso de la tecnología moderna de la informática nos hace más fácil realizar proyectos de minería y otras áreas de la ingeniería, precisamente la tesis enfoca el uso del “software” necesario para la optimización de un mejor secuenciamiento en el minado, de un plan a corto plazo en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas.

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema de la Investigación

##### 1.1.1. Descripción del Problema

Actualmente es posible encontrar una serie de “software’s” mineros disponibles y utilizados en la industria minera, que abordan el problema de planificación de minas a cielo abierto, dentro de ellos los más conocidos son “Whittle”, “NPV Scheduler”, “Minesight”, “Vulcan”, “Talpac”, etc. que están orientados a entregar soluciones para el proceso de planificación en operaciones mineras.

En términos generales las principales decisiones que conciernen a la vida de la mina son tomadas en relación al largo plazo. Luego, considerando como fijos los resultados anteriormente obtenidos, se procede a construir planes para el



mediano plazo y finalmente a corto plazo hasta llegar a un plan diario. Esta estructura de análisis conduce a que en la mina Las Bambas se realicen diseños para ser ejecutados de manera optimizada, trabajando con equipos de gran dimensión entre palas eléctricas e hidráulicas 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.

Para esto, es importante tener en cuenta el modelo de recursos de largo y corto plazo con el que se calcula los secuenciamientos de minado, considerando la variabilidad mineralógica del cuerpo a ser explotado, requiriendo un grado de selectividad importante en la extracción, conduciendo finalmente a importantes discrepancias entre la planificación de largo y corto plazo, donde se enfrenta la variabilidad mineral real, generando brechas considerables en la producción de Cobre Fino.

Por tal motivo, se plantea la presente Tesis como trabajo de investigación para que los futuros profesionales de Ingeniería de Minas identifiquen la importancia en la Planificación Minera, siendo la secuencia de cortes de minado una herramienta importante para la finalización de las fases y la producción máxima de cobre fino, reduciendo los costos operacionales y manteniendo una cultura de seguridad.



## 1.2. Formulación del Problema

Lo que se busca con el presente trabajo de Investigación es explicar: *¿De qué manera la falta de secuenciamiento del plan de minado a corto plazo está afectando la recuperación metalúrgica en el tajo Ferrobamba?*

### 1.2.1. Problema General

- ¿En qué medida la falta del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo está afectando la producción minera en el tajo Ferrobamba?

### 1.2.2. Problema Específicos

- ¿De qué manera la falta de secuenciamiento de minado está afectando la Disponibilidad de camiones?
- ¿En qué medida el “throughout” a chancado no cumple la ley planificada?
- ¿De qué manera la falta de secuenciamiento optimo a corto plazo está afectando la recuperación metalúrgica en el tajo Ferrobamba?
- ¿Cuál es la importancia de optimizar el secuenciamiento de minado a corto plazo en el tajo Ferrobamba?

## 1.3. Justificación

El planeamiento de minado busca maximizar el beneficio de las oportunidades futuras de la mina a través de la previsión de los planes de corto plazo haciendo uso del “software” informático aplicados a la minería como el “Minesight”. Por lo que la importancia del proceso en la toma de decisiones por



anticipado, es el proceso que determina que hacer y cómo hacer antes de que se requiera una acción.

El planeamiento a corto plazo, es el encargado de desarrollar alternativas del plan operativo de la mina, para lo cual utiliza la información geológica y litológica actualizada en el modelo dinámico, cumpliendo con variables topográficas del avance de minado en forma diaria de la mina, coordinación directa con las áreas de operaciones mina, perforación y voladura, geología y planta concentradora, diseños de minado operativo y diseños de malla de perforación, realizados de acuerdo al tipo de material existente (waste & ore). Por lo que es importante la coordinación de todas las áreas involucradas para llegar a un mismo objetivo que es la producción de Cobre Fino como resultado final. En tal sentido, se justifica la investigación por la **“Optimización del Secuenciamiento del Plan de Minado a Corto Plazo con el Software Minesight en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas”**, aplicando correctamente a la solución de optimizar los procesos de minado para la producción del principal metal de Cobre, y sus agregados de Plata, Oro y Molibdeno.

#### **1.4. Objetivos de la Investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Optimizar el secuenciamiento del plan de minado a corto plazo para incrementar la producción minera en el Tajo Ferrobamba, mina Las Bambas.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el número óptimo de camiones que garantice el abastecimiento óptimo de mineral para el chancado.
- Garantizar el “throughout” adecuado con la ley óptima de planificación.



- Determinar si el secuenciamiento de planificación a corto plazo afecta la recuperación en la planta metalúrgica.
- Incrementar la recuperación de Cobre Fino en el proceso metalúrgico final.
- Evaluar la importancia del secuenciamiento de minado a corto plazo en la producción del Tajo Ferrobamba.

## **1.5. Hipótesis de Investigación**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Aplicando la optimización del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo con el “software Minesight” se incrementa la productividad minera en el tajo Ferrobamba.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- Con el uso del “software Minesight”, en el secuenciamiento del plan de minado a corto plazo se determina la cantidad optima de camiones en el acarreo de mineral en el Tajo Ferrobamba.
- El secuenciamiento del plan de minado a corto plazo, con el “software Minesight” logra abastecer el mineral del tajo a la chancadora con la ley adecuada.
- En el secuenciamiento óptimo a corto plazo en el Tajo Ferrobamba se mejora la recuperación metalúrgica en la planta concentradora.
- Desarrollando el secuenciamiento del plan de minado con el “software Minesight”, en la planta concentradora se logra incrementar la producción y reducir costos operativos en el Tajo Ferrobamba.



## 1.6. Variables

Variables Independientes, Dependientes e Indicadores

TABLA 1-1. Variables Independientes-Dependientes

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>
<b>Independientes</b>	- Ley %Cu	- %
Software	- ToXs	- %
Minesight	- Tonelaje	- Ton
	- Productividad	- Ton
<b>Dependientes</b>	- Throughout	- Ton
Optimización del	- Numero de camiones	- Units
Secuenciamiento	- EFH	- Km
del Plan de	- Blending	- %Cu
Minado a Corto		
Plazo		

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

La aplicación de la informática a la evaluación de los recursos minerales son muchas y muy variadas, estableciendo así una jerarquía existente en el mercado como programas con aplicaciones mineras, pudiendo costear varios miles de dólares hasta poder obtener programas de dominio público y por otro lado los programas específicamente mineros, como los orientados a la exploración, evaluación y diseños de explotación minera. Este tipo de programas, están diseñados específicamente para el entorno minero, caracterizándose por su alto precio en el mercado y también su alta complejidad de manejo, teniendo un carácter modular, lo que permite un menor coste siendo tan solo necesario la utilización de un determinado modulo.

La utilización de estos programas permite entre otras cosas, la entrada como base de datos relacionados desde los sondeos de exploración, datos analíticos, información geológica, etc, que posteriormente pueden ser visualizados en pantalla; así como también, su combinación en una superficie digitalizada. Desde el punto de vista del diseño de la explotación minera todos los datos anteriores pueden integrarse para obtener una optimización de la explotación a cielo abierto a través del “Software” minero “Minesight” con su módulo de aplicación “MSReserve”, siendo necesario para esto la utilización de potentes equipos informáticos.

Utilizando el “Minesight”, se proceden a trabajar con polígonos que puede ser modificado y re-planificado con el fin de asociar un valor particular de tonelaje, ley, o alguna variable específica que se quiera adicionar, siendo así que el “software” permita que el usuario fije objetivos múltiples, dadas las restricciones y prioridades definidas por el planificador, el programa elegirá qué bloques minar, buscando el objetivo, además incluye la funcionalidad de “blending”, pero asociada a leyes de cobre y/o a litologías. Este programa genera informes con tonelaje de producción y leyes obtenidas.

Los “software´s” mineros están disponibles en el mercado capaz de resolver escenarios de planificación de corto plazo incorporando restricciones operativas que permita generar múltiples análisis en un período razonable de tiempo, por ello en las Bambas se viene utilizando el “Software” Minero “Minesight”.

En la Región, los trabajos orientados a la planificación minera en pequeña y mediana escala aún no se han realizado, debido a que la aplicación de los “software´s” está orientado a la gran minería, situación que se empieza con la



Mina Las Bambas, ya que estas orientaciones de minado solo se realizaban de manera empírica y sin darle la importancia adecuada. Hoy en día las diferentes empresas mineras están dando mucha importancia a la planificación minera.

El Planeamiento de minado a largo plazo hace uso del “software” “Economic Planner Minesight, Proyecto Clemesi, Golden Tech Mining”, demuestran la gran utilidad del aprovechamiento de la tecnología moderna para lograr obtener información de manera anticipada a la toma de decisiones y así programar planes óptimos de minado a mediano y largo plazo.

La planificación minera en mina Pucamarca de Minsur S.A., con el criterio de selección del tajo final, fue la envolvente que arroja el mejor valor presente neto (VPN) en función de precios de mineral, costos operativos, costos de procesamiento, recuperación, tasa de retorno, entre otros factores. En base a los resultados se logró determinar tres etapas de explotación para el yacimiento denominado “Pit” Checocollo y una sola fase, para el yacimiento Morrenas. Los recursos y reservas obtenidos en función a los parámetros económicos utilizados y al proceso de optimización antes descrito indican que la mina Pucamarca tiene en cuanto a recursos un total de 66,6 Mt (millones de toneladas) de mineral por encima de la ley de corte, en cuanto a las reservas por encima de la ley de corte se tiene un total de 46,5 Mt de mineral entre probadas y probables y 11,4 Mt de recursos inferidos dentro del “pit” final diseñado.

Los resultados de los recursos considerados totalizan para el yacimiento Checocollo 54 Mt de mineral por encima de una ley de corte igual a 0,18 g/t entre recursos medidos, indicados e inferidos, en cuanto al yacimiento Morrenas los recursos alcanzan 8,3 Mt de mineral encima de una ley de corte de 0,2 g/t los



resultados metalúrgicos indican que este sector tiene una recuperación de 50% mediante el método de lixiviación muy por debajo de la recuperación obtenida en el yacimiento Checocollo que alcanza un 65% de recuperación. Los resultados de la planificación minera determinan tres etapas de explotación para el tajo Checocollo la primera de tres años con las mejores leyes y el menor ratio de desmonte, la segunda también de tres años alcanzado una extracción del 80% del total del tajo final y la última de 2,5 años con leyes inferiores a las anteriormente extraídas, culminando en el año 2022. Para el tajo Morrenas, su explotación solo se realizará en una fase y la vida útil será de 4 años, debido a ser un mineral con alto contenido de finos y consideraciones geotécnicas y metalúrgicas diferentes.

La secuencia de explotación y la estimación de costos operativos y de inversión necesarios para la sostenibilidad de la unidad minera Pucamarca determinan que el valor presente neto de la unidad alcanza los US\$235 (millones de dólares americanos) considerando una inversión inicial de US\$200 (millones de dólares americanos) aproximadamente, bajo estos resultados el plan de minado propuesto resulta viable para los intereses del grupo Brescia.

## **2.2. Generalidades**

### **2.2.1. Localización Geográfica y Política del Proyecto Minero Las Bambas**

#### **2.2.1.1. Ubicación Geográfica**

El Proyecto Minero Las Bambas se encuentra, entre los distritos de Chalhahuacho, Tambobamba y Coyllurqui, en la provincia de Cotabambas y el distrito de Progreso en la provincia de Grau, región de Apurímac. Chalhahuacho es uno de los 6 distritos de la Provincia de Cotabambas bajo la



administración del Gobierno regional de Apurímac. En el distrito de Challhuahuacho se asentó la cultura Yanawara, y el distrito de Challhuahuacho tiene una población de 7 321 habitantes, (INEI 2007).

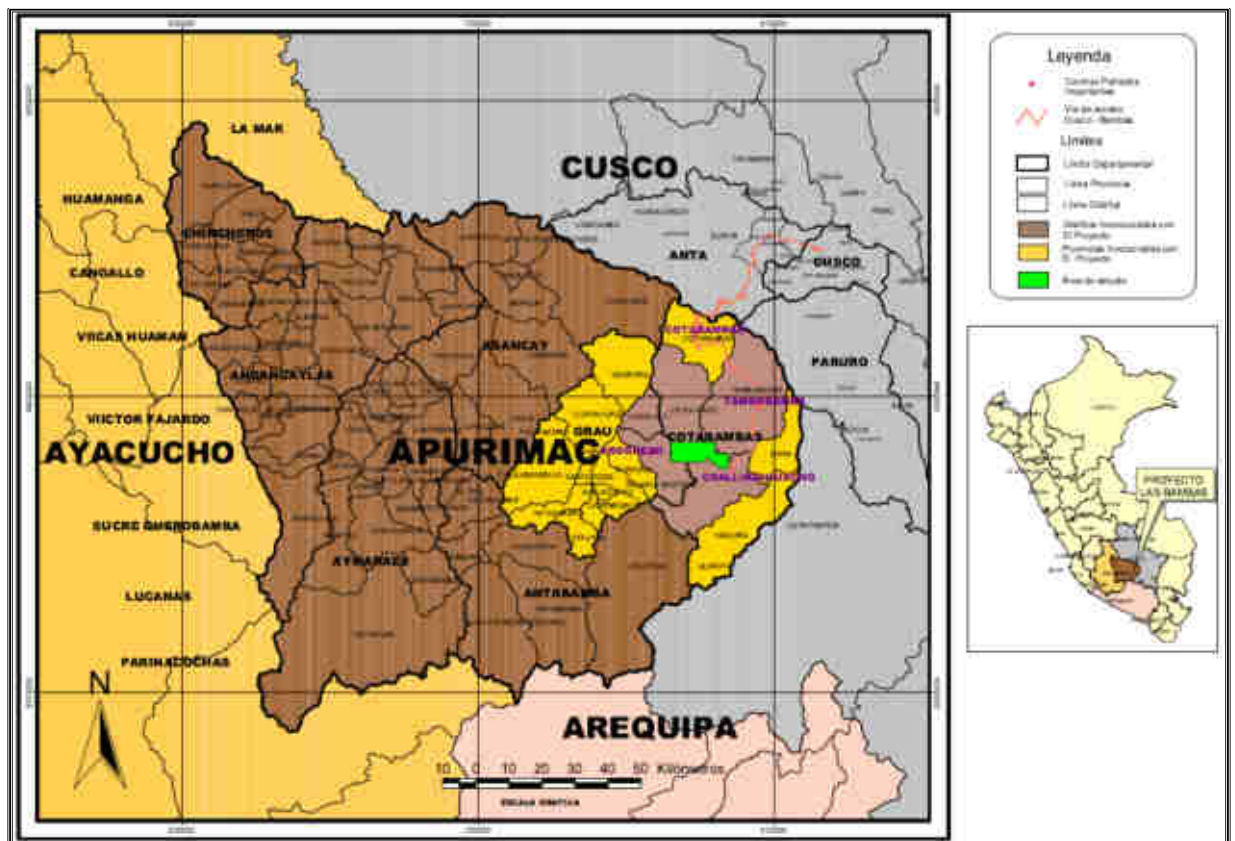


FIGURA 2- 1. Ubicación Las Bambas  
Fuente: Estudio Técnico Las Bambas

### 2.2.1.2. Localización Política

El proyecto Minero Las Bambas se encuentra dentro de 19 comunidades. Las comunidades asentadas dentro del “área de admisión de petitorios” son: Fuerabamba, Huancuire, Chicñahui, Pamputa, Cconccacca, Chucuini, Pumamarca, Choquecca Antío, Manuel Seoane Corrales, Quehuira, Allahui, Asaccasi, Sorcco, Patrón Santiago, Progreso, Pallca Picosayhuas,

Escoorno, Ccahuapirhua y Carmen Alto de Chalhuanhuacho. Tal como se puede ver en la Figura 2-2.

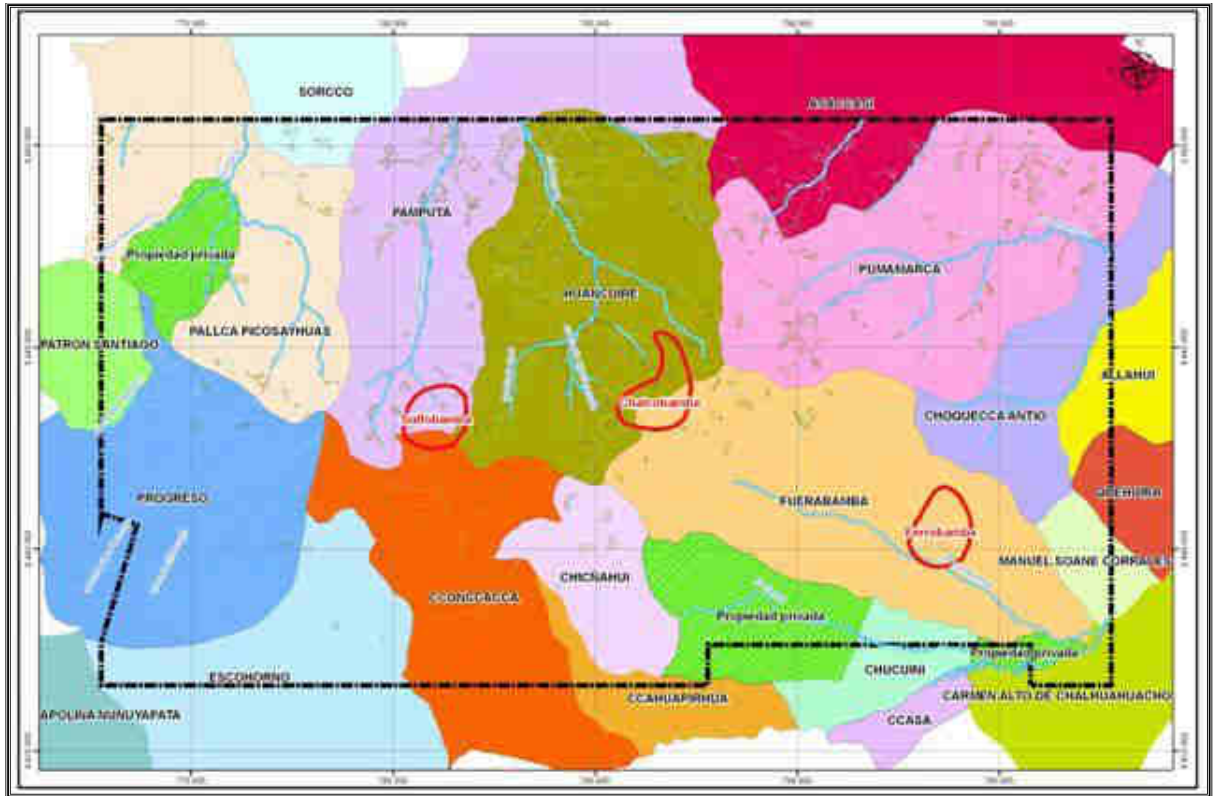


FIGURA 2- 2. Comunidades asentadas en el área del Proyecto Las Bambas  
Fuente: Estudio técnico Las Bambas

### 2.2.1.3. Concesiones Mineras

El Proyecto Las Bambas cuenta con un derecho especial denominado “área de no admisión de petitorios” de 33,063 Ha, dentro de la cual existen cuatro concesiones mineras que corresponden a Activos Mineros S.A.C. (antes Centromín Perú) que tienen una extensión total de 1,800 Ha. Ver Figura 2-3, que muestra las concesiones mineras, además la Tabla 2-1, presenta el área de las concesiones mineras.

TABLA 2- 1. Concesión Proyecto Las bambas

Concesión	Área (ha)
Ferrobamba	400
Chalcobamba	600
Sulfobamba	400
Charcas	400

Fuente: Estudio Técnico Las Bambas

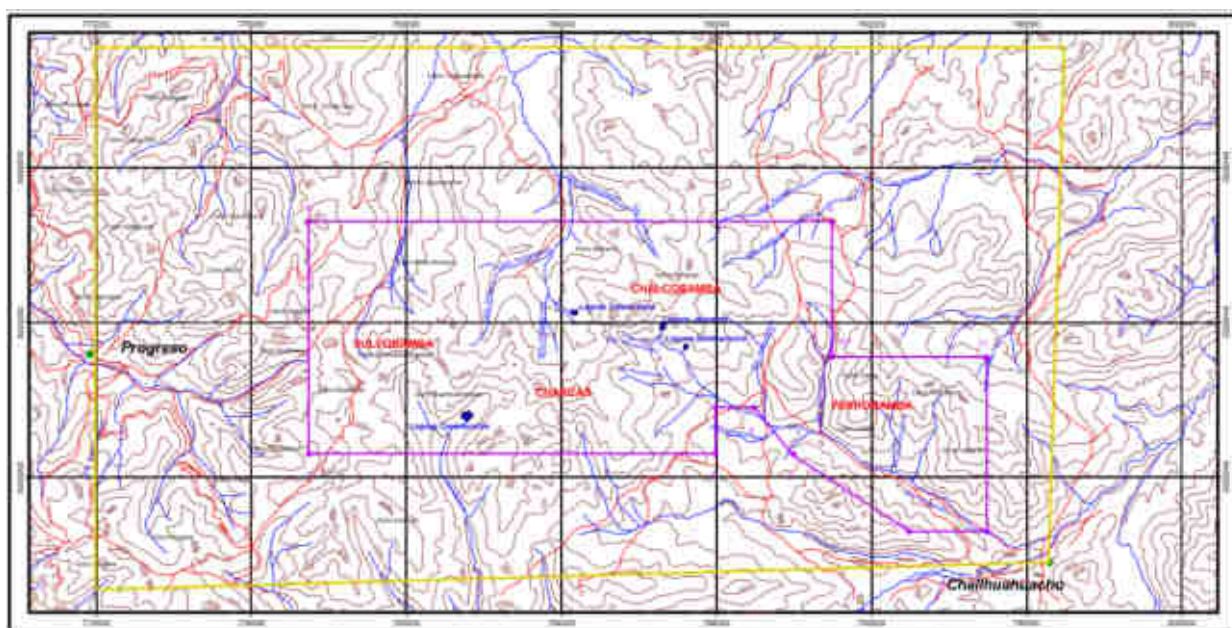


FIGURA 2- 3. Poligonal de Área de estudio

Fuente: Estudio Técnico Las Bambas

TABLA 2- 2. Coordenadas/Perímetro

COORDENADAS UTM		
VERTICE	NORTE	ESTE
1	8 438 500	796 000
2	8 438 500	794 000
3	8 440 500	791 000
4	8 441 700	790 000
5	8 441 700	789 000
6	8 440 500	789 000
7	8 440 500	778 500
8	8 446 500	778 500
9	8 446 500	792 000
10	8 443 000	792 000
11	8 443 000	796 000

<b>PERIMETRO</b>	
51387.7 m	

AREA	
m <sup>2</sup>	Ha
96337717.1	9633.77

Fuente: Estudio Técnico Las Bambas

#### 2.2.1.4. Accesibilidad

Al proyecto minero Las Bambas se puede acceder por vía aérea y terrestre, desde la ciudad de Lima por vía aérea se sigue el itinerario, así como también, desde la ciudad de Abancay.

TABLA 2- 3. Vías de Acceso

RUTA 1	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Horas)	VIA DE ACCESO	TIPO DE ACCESO
Abancay-Cusco	208	4	Terrestre	Asfaltado
Cusco-Chalhuancho	220	7	Terrestre	Carretera afirmada
Chalhuancho-Las bambas	15	0.5	Terrestre	Carretera afirmada
<b>Total</b>	<b>443</b>	<b>11.5</b>		
RUTA 2	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Horas)	VIA DE ACCESO	TIPO DE ACCESO
Abancay-Chuqibambilla	105	6	Terrestre	Asfaltado
Chuqibambilla-Las bambas	80	5	Terrestre	Carretera afirmada
<b>Total</b>	<b>185</b>	<b>11</b>		
RUTA 3	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Horas)	VIA DE ACCESO	TIPO DE ACCESO
Lima-Cusco	1165	1	Aerea	Asfaltado
Cusco-Las bambas	235	0.5	Aerea	Carretera afirmada
<b>Total</b>	<b>1400</b>	<b>1.5</b>		

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

## 2.2.2. Recursos

### 2.2.2.1. Clima

Las características climáticas en la zona andina se manifiestan mediante fenómenos de sequías, heladas y lluvias intensas, de manera diferente en cada uno de sus pisos ecológicos. Las temperaturas están condicionadas por factores de altitud y relieve oscilando en promedio entre 6 °C y 16 °C, y disminuyendo por debajo de 0 °C durante las heladas meteorológicas de Junio a Agosto. En cuanto a las precipitaciones, están principalmente influenciadas por circulaciones atmosféricas de superficie (Baja Amazónica) y de altura (Alta de Bolivia y Baja del noreste de Brasil) que traen humedad desde la cuenca amazónica. Por esta razón, los registros pluviales pueden variar anualmente de 500 a 2000 mm.

Las precipitaciones en el área de Las Bambas se deben a las masas húmedas de aire provenientes de la cuenca Amazónica las cuales son transportadas, principalmente, por vientos provenientes del Oeste. Estas masas de aire húmedo encuentran en su recorrido a la Cordillera de los Andes la cual fuerza su ascenso. Ver Tabla 2-4, donde se presenta la Temperatura media mensual de la mina.

TABLA 2- 4. Temperatura media mensual en Mina

ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	Media Anual
14.1	13.7	13.4	13.5	12.8	12.0	11.9	12.5	13.4	15.7	16.1	14.4	13.6

Fuente: D&E Desarrollo y Ecología SAC.



#### **2.2.2.2. Flora**

La vegetación es típica de las regiones altas y frías, constituida principalmente por el Ichu (paja brava), Quikuyo (pastos de la zona andina), también se tienen plantas cactáceas como la corotilla, así como musgos en las orillas de los riachuelos. También, se puede observar que los agricultores de la zona producen papa, quinua, cañihua, cebada, alfalfa, olluco y otras especies que son adaptables.

#### **2.2.2.3. Fauna**

En la zona de Las Bambas, se puede apreciar gran cantidad y variedad de animales de la zona, tales como vizcachas, perdices, wallatas, patos silvestres, zorros y venados; así como también ganados domésticos como vacuno, ovino y auquénidos.

#### **2.2.2.4. Fisiografía**

El área del proyecto presenta una topografía bastante irregular, caracterizada por cumbres, quebradas poco profundas, llanuras y laderas de relieve suave. Las cumbres más altas son el cerro Chonta en Sulfobamba (4,682 msnm) y Pichacani en Chalcobamba (4,663 msnm); el relieve más bajo lo constituye las márgenes del Río Challhuahuacho (3,700 msnm).

Los relieves elevados y las superficies irregulares generalmente corresponden a afloramientos de calizas y rocas intrusivas y los relieves suaves corresponde a morrenas y rocas intrusivas de grano grueso; mientras que las llanuras están conformadas por sedimentos fluvio-glaciales en el sector Norte



de proyecto (Pamputa) y Noreste (Pumamarca), lo cual es propio de la Cordillera Oriental.

### 2.2.3. Reseña Histórica

Los yacimientos de Las Bambas fueron descubiertos en 1911, época desde la cual se han realizado diversos estudios.

- 1911 - Las exploraciones fueron realizadas por la empresa Ferrobamba Ltd. en el sector Las Bambas, se realizaron perforaciones con seis taladros diamantinos.
- 1942 – La empresa Jenks, realizó estudios geológicos en la zona de Las Bambas.
- 1952 - Se realizaron 366 estudios de comprobación de los metales para verificar sus leyes en la zona de Las Bambas, la empresa a cargo se llamaba Kruger.
- 1966 – La empresa Cerro de Pasco Corporation, realizó el mapeo geológico y perforaciones con sus taladros (llegando a 914 metros de profundidad) en la zona de Chalcobamba.
- 1993 – La empresa Tintaya, realizó ensayos químicos del mineral, con presencia de oro y plata. El estudio se realizó en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba.
- 1996 – La empresa Cyprus, hizo estudios en la zona de Chalcobamba, realizando perforaciones con seis taladros (933 metros).
- 1997 - La empresa Phelps Dodge, realizó perforaciones con ocho taladros (1,390 metros) en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba.



Posteriormente Teck-Cominco realizó perforaciones con cuatro taladros (875 metros) en Chalcobamba. Al finalizar el año, BHP Tintaya, se ubicó en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba, realizando perforaciones con siete taladros (1,024 metros).

- 2002 – Centromín retoma el proyecto, realizando 35 ensayos químicos por oro y plata en la zona de Las Bambas.
- 2003 – El proyecto pasa a Proinversión, en agosto se aprueba la estrategia de promoción y la convocatoria a precalificación. Durante los meses de setiembre a diciembre se realizaron perforaciones con 11 taladros (2,328 metros) para actualizar información. Asimismo, en el mes de setiembre se realizó la suscripción del convenio de Promoción de la Inversión Privada en Apurímac (Gobierno Regional - Ministerio de Energía y Minas-Proinversión).
- 2004 – El 31 de agosto, Xstrata Copper (Suiza), ganó la licitación del proyecto las Bambas, ofreciendo US\$ 121 millones, el triple del precio base.
- 2010 - El 2 de setiembre, culminada ya la fase exploratoria, se suscribió el contrato en el que se le transfiere la titularidad de las concesiones mineras del proyecto a Xstrata Copper.
- 2013 - El grupo de minería y metales Glencore International PLC se fusiono con Xstrata PLC para formar la cuarta minera mundial y el mayor corredor de materias primas del mundo.
- 2014 - Glencore Xstrata, logró vender el 100% de participación en la mina de cobre Las Bambas, por cerca de US\$5,850 millones, a las compañías MMG Ltd, filial externa de China Minmetals Corp, el grupo de



recursos naturales e infraestructura Guoxin Investment Corp International Ltd.

## **2.2.4. Geología**

### **2.2.4.1. Marco Estructural**

El Proyecto Las Bambas está regionalmente enmarcado en la margen S de la Deflexión de Abancay (12° a 14° Latitud Sur); esta estructura se caracteriza por evidenciar un cambio en el “*trend*” (tendencia) de los Andes Peruanos pasando de NO-SE a E-O por más de 200 km como consecuencia de la colisión diferencial de la Placa de Nazca con el margen litoral pacífico peruano predisponiendo su morfología actual.

El proyecto Las Bambas, dentro de este contexto geológico regional, está localizado en el cinturón porfirítico/skarn Cu-Mo-Au denominado Skarn belt Andahuaylas-Yauri situado al SE del Perú, en una zona de anomalía atribuida a la orogénesis Inca del Eoceno al Oligoceno temprano (M. Brookes, 2005); este cinturón metalogénico está hospedado principalmente en el Batolito de Andahuaylas-Yauri, el cual presenta intrusiones múltiples de composición calcoalcalina. Las principales deformaciones en la región, causantes del fallamiento y plegamiento son asociadas a la fase Inca.

Localmente el área del yacimiento Las Bambas, presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a las calizas de la Formación Ferrobamba. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba,



Charcas, Sulfobamba y Azuljaja obedecen a un alineamiento estructural NO-SE de la misma dirección que el “trend” del batolito Andahuaylas – Yauri.

Los Batolitos en el Perú han dado lugar a diferentes tipos de mineralogía como se puede ver en la Figura 2-4.

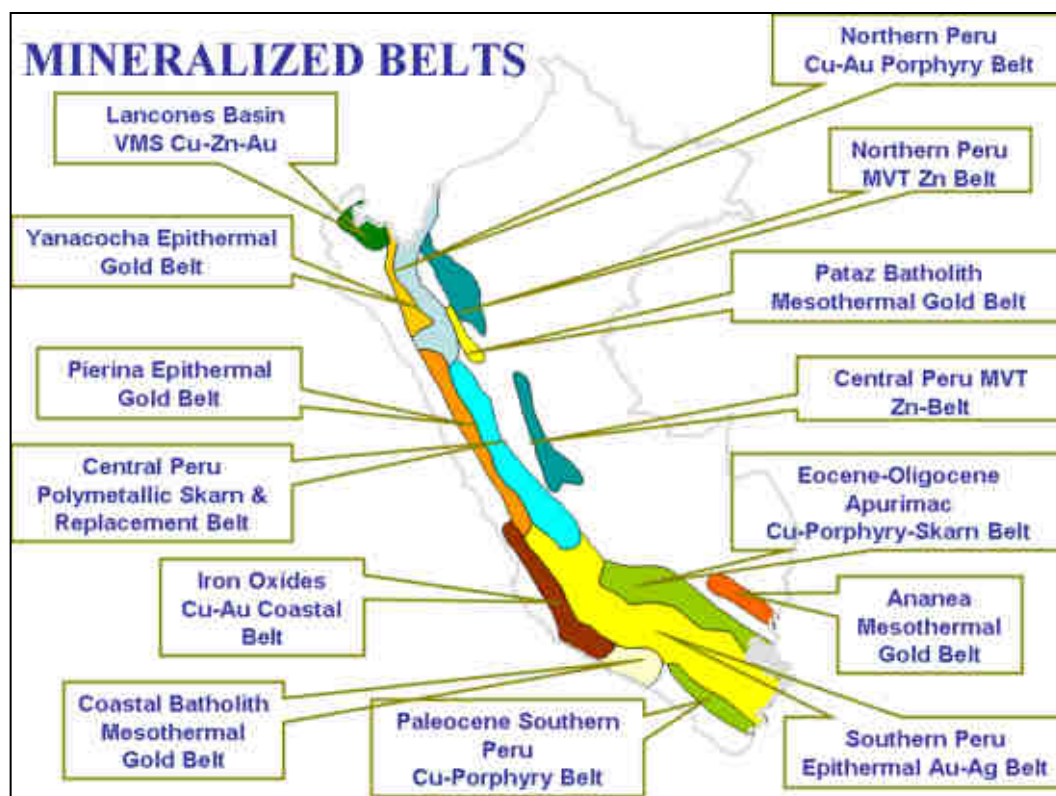


FIGURA 2- 4. Metalogénia del Perú, principales franjas mineralizadas  
Fuente: Cardozo, 2002

#### 2.2.4.2. Geomorfología e Hidrogeología

Las características geológicas de la zona determinan un tipo de fisiografía en la que la roca aflorante, en muchos casos, puede ser parte del yacimiento de cumbres redondeadas con presencia de detritos finos formados por el meteorismo de las heladas, lluvias o por el intenso calor durante el día. De laderas entre suaves y agrestes, como pequeñas plataformas, que dan origen

al nacimiento de ojos de agua o a la formación de bofedales. Por lo que en las partes altas y planas existen cinco lagunas que conforman un acuífero, cuya caracterización es de suma importancia. La calidad del acuífero en mención, dados los afloramientos aguas abajo, puede determinar su uso adecuado.

#### **2.2.4.3. Geología Regional**

El Proyecto las Bambas se ubica en la franja de yacimientos de skarn de Cu (Mo-Au), asociados a sistemas tipo pórfido, ubicados en la parte sureste del Perú.

Esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno- Oligoceno, que se ha emplazado en unidades sedimentarias del Mesozoico, siendo la de mayor importancia la formación Ferrobamba (Cretáceo inferior a superior). Las rocas intrusivas del batolito, en contacto con las calizas Ferrobamba, originaron metamorfismo de contacto y en algunos lugares cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au). El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado al sur de la “Deflexión de Abancay”, con lineamientos de dirección NO-SE, NE-SO y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina.

#### **2.2.4.4. Geología Local**

El área del yacimiento Las Bambas, presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a la caliza del Cretáceo inferior superior (Formación Ferrobamba). Los cuerpos de skarn asociados son irregulares y están constituidos por



granates, piroxenos y magnetita. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja presentan alteración potásica con biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita (zona de mayor temperatura); gradando a una alteración propilítica con epidota, clorita, piritita y trazas de calcopirita hacia los bordes. En general, estas intrusiones obedecen a un alineamiento estructural NO-SE similar al del “trend” del batolito Andahuaylas – Yauri de dirección NO-SE.

En la columna estratigráfica mostrada en la Figura 2-5, se tiene las diferentes formaciones geológicas encontradas en la mina Las Bambas.

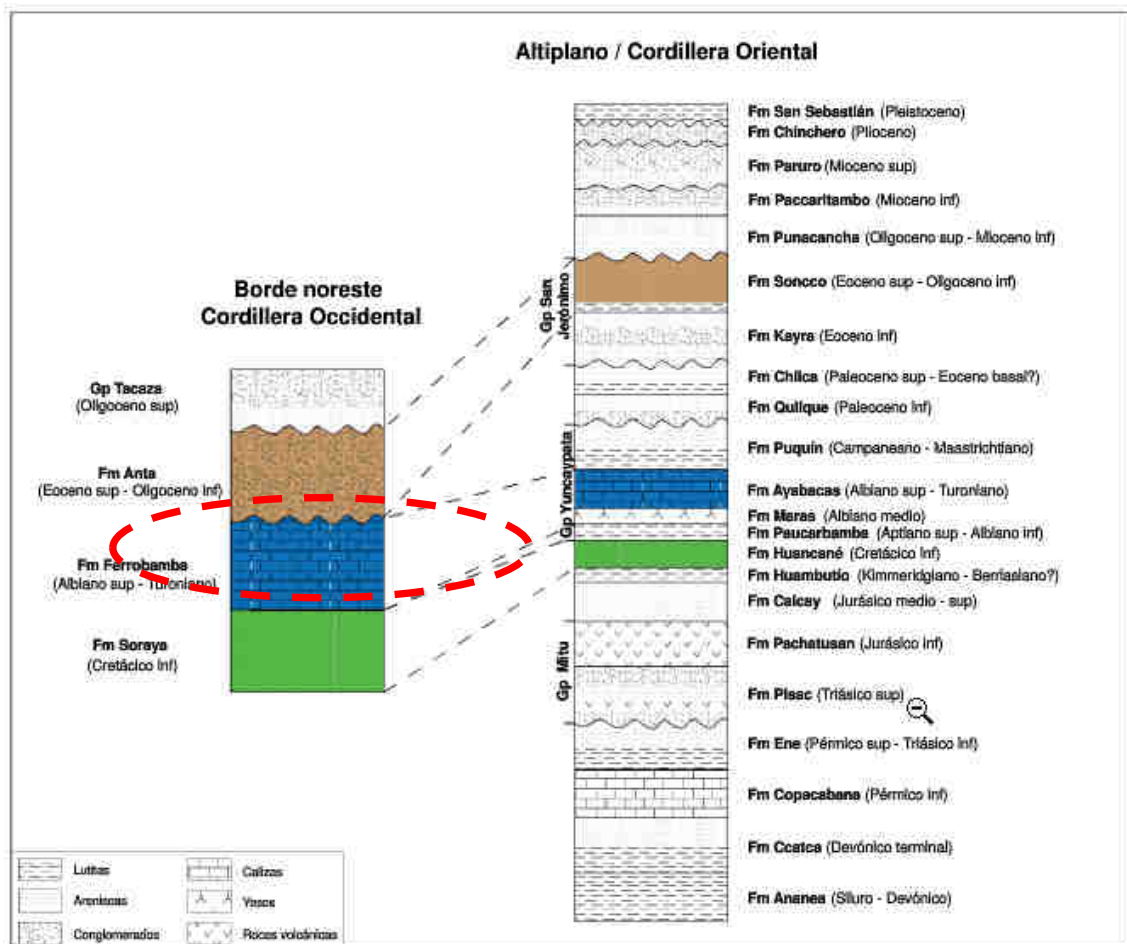


FIGURA 2- 5. Columna Estratigráfica  
Fuente Carta Geológica Nacional

#### 2.2.4.5. Geología Ferrobamba

Se encuentra ubicada en el sector SE del distrito de Las Bambas y es una de las áreas de mayor interés por su mineralización de Cu, con valores de Mo, Au y Ag; tiene una extensión con evidencias de mineralización de 300 Ha aproximadamente.



FOTOGRAFIA 2- 1.Tajo Ferrobamba

#### 2.2.4.6. Rocas Sedimentarias

En el área aflora una potente secuencia de horizontes calcáreos de la Formación Ferrobamba, constituidos por niveles de calizas con chert, calizas fosilíferas y bioclásticas, calizas impuras con clásticos finos, así como horizontes masivos y laminados. Los estratos presentan, en general, azimuts entre  $100^{\circ}$  a  $130^{\circ}$  y buzamientos variables de  $50^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  (al N) y casi horizontales (al S).

#### 2.2.4.7. Rocas Intrusivas

Las calizas de la formación Ferrobamba ha sido cortada por varias fases de intrusión. La primera fase es una monzonita biotítica (MZB). Aflora en gran parte en el sector sur y es una de las fases que ha formado cuerpos de skarn de

granate - piroxeno > magnetita; con mineralización de calcopirita, bornita y molibdenita asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita. La segunda fase y tercera fase denominadas monzonita biotítica fina, presentan grano medio a grueso, textura porfírica, “ojos” de cuarzo irregulares, plagioclasas bimodales. La cuarta fase, monzonita máfica (MZM), es de grano medio a fino, con alto contenido de minerales máficos (hornblenda>biotita), plagioclasa seriada y escasos “ojos” de cuarzo. La quinta fase es llamada monzonita hornbléndica (MZH), de grano medio, con plagioclasas tabulares cortas y hornblendas prismáticas. Aflora en la parte central y se ramifica en forma de diques en diferentes direcciones.

#### **2.2.4.8. Alteración**

Estos cuerpos de skarn presentan mineralización de sulfuros de cobre (bornita y calcopirita) en forma de masas irregulares, disseminaciones y en venillas de cuarzo. Los cuerpos de skarn formados por la segunda fase son muy similares excepto que no presentan venillas de cuarzo. Son varios los factores que favorecieron la formación de cuerpos de skarn: la composición de los fluidos hidrotermales asociados a la fases de intrusión, los horizontes permeables de calizas, especialmente aquellos que contienen material clástico y el buzamiento de los estratos (50° a 60°) hacia las fuentes de intrusión. Los endoskarns no son muy extendidos, en ellos se forman granates de color marrón claro, poco piroxeno, epidota, clorita, plagioclasas cálcicas, calcita y moderada silicificación. En la Figura 2-6 se presenta las secciones geológicas del Tajo Ferrobamba donde se puede observar las diferentes formaciones y mineralizaciones encontradas; así mismo la Figura 2-7 muestra la composición de rocas y minerales.



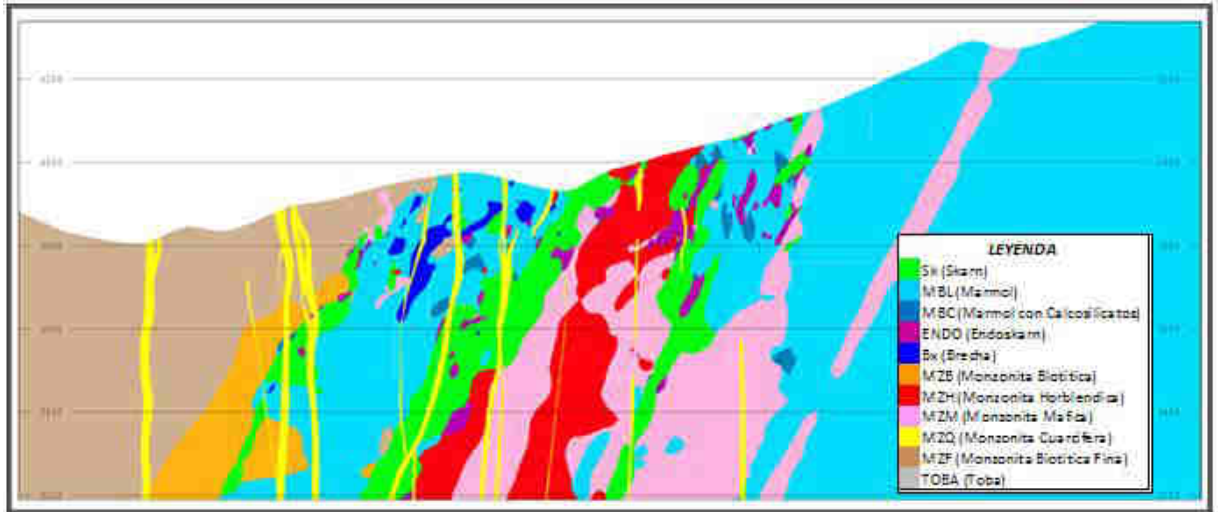


FIGURA 2- 6. Sección geológica Ferrobamba  
Fuente: Departamento de Geología Las Bambas



FIGURA 2- 7. Ferrobamba. Fotos: 40.1. Monzonita Biotítica (MZB) con libros de biotita y venillas delgadas de cuarzo sin mineral, 40.2. Monzonita Biotítica Fina 1 (MBF1) con libros de biotita y venillas de cuarzo con óxidos, 40.3. Monzonita Biotítica Fina 2 (MBF2) con esporádicos libros de biotita y matriz negruzca, 40.4. Monzonita Máfica (MZM) cortada por Monzonita Hornbléndica (MZH), 40.5. Monzonita Hornbléndica, 40.6. Monzonita Cuarzosa.

Fuente: Departamento de Geología Las Bambas

#### 2.2.4.9. Modelo Geológico del Tajo Ferrobamba

En términos generales para llevar a cabo la construcción del modelo geológico se requiere diferentes tipos de información como la de los sondajes, las distintas interpretaciones de las unidades geológicas en superficie y en secciones para entender la continuidad y dar mayor sentido; como también, estructuras que controlen las unidades o tendencias que den una mejor orientación al momento de interpolar estas variables. Para ello, se debe recepcionar la data de sondajes, la cual debe incluir las siguientes tablas:

- Collar
- Survey
- Geología: Litología, zona mineral y alteración
- Assays: Leyes Cu, Au, Pb, Zn (todas aquellas donde se pretenda generar isoleyes).

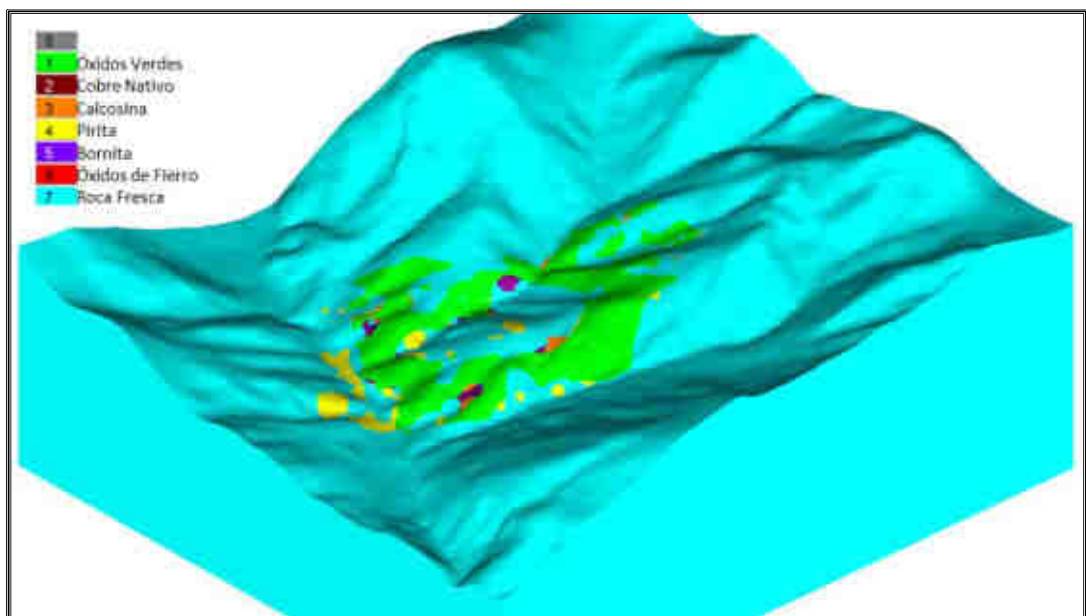


FIGURA 2- 6. Modelo geológico del Tajo Ferrobamba  
Fuente: Departamento de Geología Las Bambas

### 2.2.4.10. Estimación de Reservas del Proyecto Las Bambas

La estimación de las reservas mineralógicas del proyecto Las Bambas es presentado en resumen mediante la Tabla 2-5 y la Figura 2-7.

TABLA 2- 5. Reservas por Fases del Proyecto las Bambas

Tajo	Fases	Medido	Indicado	Inferido
		(Kt)	(Kt)	(Kt)
<b>Ferrobamba</b>	Fe1	49,020	52,980	5,190
	Fe2	35,040	85,580	25,870
	Fe3	62,290	97,660	19,440
	Fe4	40,060	162,060	62,360
	<b>Total</b>	<b>186,410</b>	<b>398,280</b>	<b>112,860</b>
<b>Chalcobamba</b>	Ch1	14,690	76,920	690
	Ch2	52,030	87,360	2,980
	<b>Total</b>	<b>66,720</b>	<b>164,280</b>	<b>3,670</b>
<b>Sulfobamba</b>	Su1	-	61,370	18,080
	<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>61,370</b>	<b>18,080</b>
<b>Las Bambas</b>	<b>Total</b>	<b>253,130</b>	<b>623,930</b>	<b>134,610</b>

Fuente: Las Bambas Feasibility Study / Año 2010

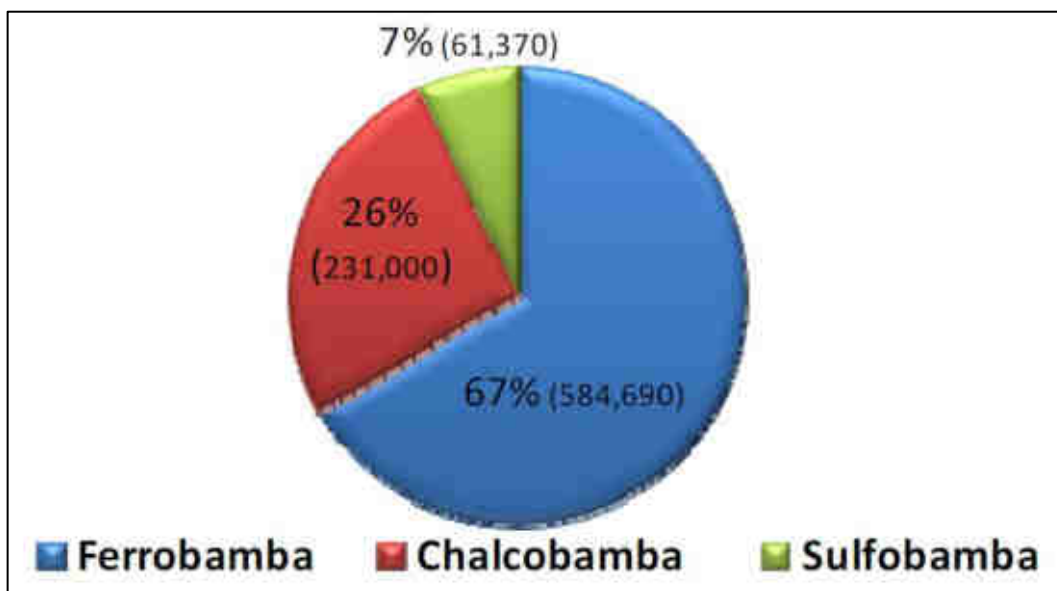


FIGURA 2- 7. Estimación de Reservas del Proyecto Medido & Indicado %(Kt)

Fuente: Las Bambas Feasibility Study / Año 2010

## 2.3. Bases Teóricas de Planificación

En este acápite se discuten algunas de las actividades de planificación de la producción involucradas en una mina a cielo abierto específicamente, la atención se dedicará a la vida de producción de la mina, las determinaciones de la tasa de producción y la secuenciación en el diseño, así como proporcionando alguna orientación general sobre las actividades de planificación a largo y corto plazo. Los objetivos básicos de la planificación de la extracción han sido bien establecidos por Mathieson (1982).

Para minar el cuerpo de mineral de tal manera que para cada año, el costo por producir un kilogramo de metal es mínimo. Para mantener la viabilidad de operación dentro del plan a través de la incorporación de equipos adecuados de operaciones, el transporte y acceso a cada banco activo.

Para los requerimientos de desecho de residuos, tanto como sea posible proporcionar un equipo relativamente pequeño y la acumulación de mano de obra. La planificación es, obviamente, una actividad continua a lo largo de la vida de la mina. Se hacen planes que se aplican a diferentes intervalos de tiempo.

### 2.3.1. Tipos de Planificación

Según Couzens (1979), hay dos tipos de planificación de la producción que corresponden a intervalos de tiempo diferentes:

#### 2.3.1.1. “Short-Range”

La planificación operativa o de producción a corto plazo (“Short-Range”), es necesaria para el funcionamiento de una mina operativa.



### 2.3.1.2. “Long-range”

La planificación de la producción a largo plazo (“Long-Range”), generalmente se realiza para estudios de factibilidad o presupuesto. Complementa el diseño de pozos y el trabajo de estimación de reservas que constituye un elemento importante en el proceso de toma de decisiones.

### 2.3.2. Reglas de Planificación

En la guía del planificador, Couzens (1979), ha propuesto los siguientes cinco mandamientos o reglas de planificación:

- Debemos mantener nuestros objetivos claramente definidos, al tiempo que nos damos cuenta de que estamos tratando con estimaciones de grado, proyecciones de geología y conjeturas sobre economía, debemos estar abiertos al cambio
- Debemos comunicarnos, si la planificación no es clara para aquellos que deben tomar decisiones y para aquellos que deben ejecutar los planes, entonces la planificación será mal entendida o ignorada.
- Debemos recordar que estamos tratando con volúmenes de tierra que deben ser movidos en secuencia. La geometría es tan importante para un planificador como la aritmética.



- Debemos recordar que estamos tratando con el tiempo. Los volúmenes deben moverse a tiempo para alcanzar nuestros objetivos de producción. El uso productivo del tiempo determinará la eficiencia y la rentabilidad
- Debemos buscar la aceptación de nuestros planes de tal manera que se conviertan en los objetivos de la empresa y no sólo las ideas del planificador.

### 2.3.3. “Mine Life Rule”

Según Taylor (1977, 1986, 1991), ha proporcionado, a través de los años, un consejo práctico y útil sobre la vida de la mina. En teoría, es posible calcular una tasa óptima de extracción de un cuerpo de mineral. Sin embargo, para ello se requiere conocimiento o suposición precisa del tonelaje total y sus leyes secuenciales (incluyendo los efectos de variar el “cutoff”) y de todos los costos y precios de los productos a lo largo de la vida del proyecto.

Incluso con cierto conocimiento de todo, la teoría de optimización da diferentes respuestas dependiendo de qué cantidad se selecciona para maximizarse, la cantidad maximizada podría ser la utilidad total, el flujo de caja total, el valor presente neto o la tasa interna de rendimiento. Además, los picos de tales curvas son bastante planos, por lo tanto, al permitir las inexactitudes prácticas de los datos, el resultado calculado no puede ser considerado crítico. Por lo tanto, aunque válido, un enfoque altamente matemático para la determinación de la vida de la mina rara vez es de uso práctico. Hay que



encontrar otras maneras de proporcionar una primera aproximación razonable para la vida de la mina.

Taylor (1977), estudió muchos proyectos reales (algunos operativos y otros sólo planificados) que involucraban una amplia gama de tamaños en proyectos grandes y pequeños, para los cuales las reservas totales de mineral eran razonablemente conocidas e importantes en el diseño. Encontró que las tasas de extracción parecían proporcionales a los tres cuartos de potencia.

#### **2.3.4. Destinos de Minado**

El término "ley de corte" es un término bastante poco definido en la literatura minera una razón importante para esto es que hay muchas diferentes leyes de corte. Además, los valores cambian con el tiempo y el desarrollo de la minería, etc.

El destino puede cambiar durante la evaluación de los límites finales del "Pit", el destino que se asignará es:

- Presa de Relaves
- Botaderos y/o rellenos
- Chancadora

Una vez que se ha asignado el destino final, se debe asignar también el lugar donde se depositara el mineral y estéril:

- Al molino (Planta)
- Al botadero



Se usó el contenido mineralógico para asignar la ubicación, distinguiéndose la ley de corte para el procesamiento, en tiempos más recientes, se ha reconocido el valor potencial de los valores y contenidos del material de ahí que el mineral pobre (de baja ley) se haya convertido en tres destinos con grados diferentes, como se puede apreciar en la tabla 2-6:

TABLA 2- 6. Destinos de Minado

Leyes	
• Depósito para el tratamiento en planta	} Aprovechable
• Depósito de baja ley	
• Depósito de estéril	} Inaprovechable

Fuente: Elaboración Propia

Hoy en día hay muchos más destinos posibles, ya que la capacidad para manejar y tratar materiales ha mejorado.

### 2.3.5. Alternativa de “Stockpile”

Existe una serie de leyes de corte que se aplican durante la vida de una mina. Al principio de la vida, existe el deseo de recuperar las inversiones de capital lo antes posible, dado que la capacidad de tratamiento, en términos de toneladas por día, normalmente es fija, es mejor usar esta capacidad con material de mayor contenido mineralógico que de menor calidad. Por lo tanto, la ley de corte inicial para el tratamiento puede ser bastante alta, a medida que se incrementa la complejidad de la mina, puede variar la ley de la mina.

En resumen, puede existir una serie de desventajas con las existencias del “Stockpile” de baja ley (Schellman, 1889), por lo que se debe considerar:

1. Reevaluar es necesario, porque el costo involucrado puede ser significativo.
2. Se requiere espacios para disponer las diversas calidades de “stock”, a menudo las áreas disponibles son reducidas cerca de la operación.
3. Con el tiempo, algunos materiales se vuelven más difíciles de tratar (óxidos).
4. Se incurre en gastos adicionales para evaluar las diversas calidades del material (muestreo, control de producción).

Por esta y otras razones, las existencias del “stockpile” no han sido populares con la mayoría de las operaciones mineras, como se puede observar en la Figura 2-8.

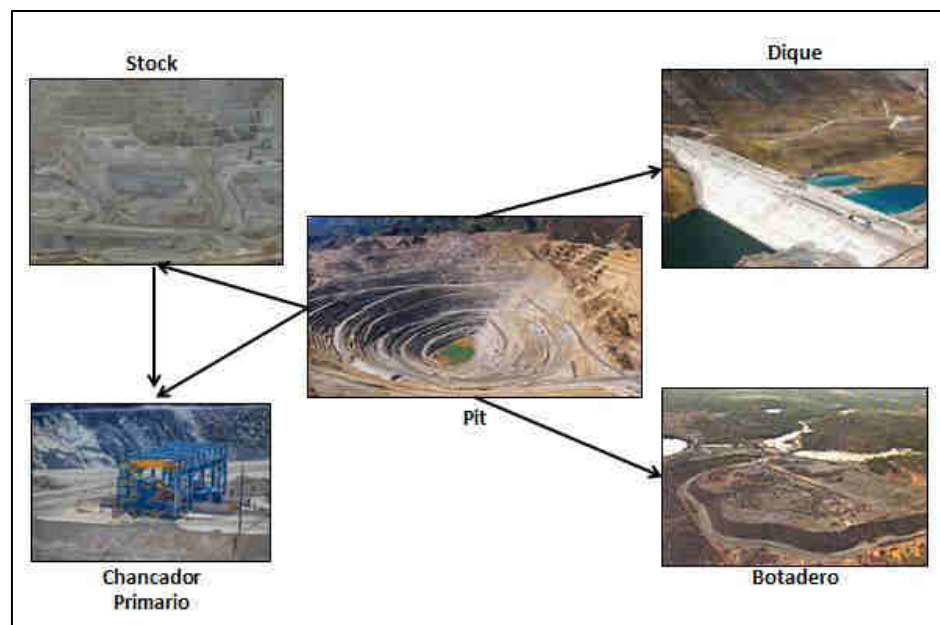


FIGURA 2- 8. Representación esquemática de orígenes y destinos

Fuente: Elaboracion Propia MineSight

### 2.3.6. Programa de Producción

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.

La planificación de producción, es una parte muy importante del proceso de minería. Esto se demostrará a través de un ejemplo. Considerar la demostración de los bloques en la Figura 2-9 en la que 10 bloques de mineral están cubiertos por 10 bloques de estéril.

Se asumirá una tasa de producción de 5 bloques por año (independientemente de si los bloques son de mineral o desmonte) el valor neto para un bloque de mineral es de \$ 2 y el costo de eliminar el desmonte es de \$ 1 / bloque. El costo total involucrado en el retiro de desechos sería de \$ 10 y el valor del mineral es de \$ 20.

Tanto el mineral como el desmonte podrían extraerse instantáneamente, el valor presente neto sería de \$ 10. Sin embargo, debido a restricciones prácticas, no se puede, por lo tanto, se deben considerar una serie de escenarios de programación.

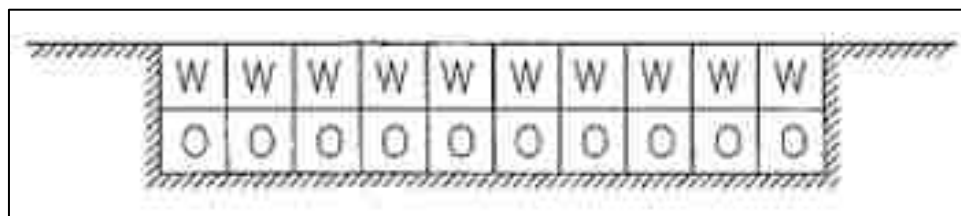


FIGURA 2- 9. Secuencia de producción Mineral/Desmonte

Fuente: Open Pit Mine/SME

### 2.3.7. Programación de Fase

Varias 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. El procedimiento y el ejemplo ilustrativo han sido adaptados de Mathieson (1982).

El depósito hipotético se muestra en la sección de la Figura 2-10. El mineral, ubicado en roca tipo 2, está cubierto por estéril (roca tipo 1). La programación de planificación se describe paso a paso.

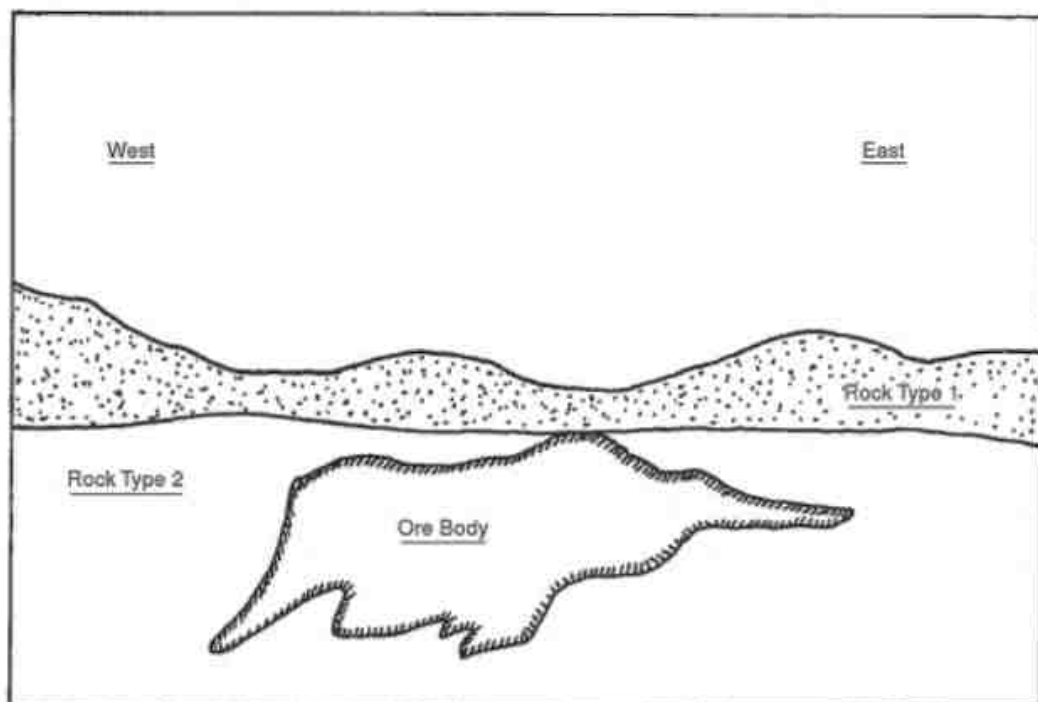


FIGURA 2- 10. Secuenciamiento de fases de Minado

Fuente: Fuente: "Open Pit Mine"/SME

A.) Las fases son primero diseñadas, los ángulos de pendiente utilizados se seleccionan basándose en investigaciones geotécnicas iniciales, para este ejemplo, se supone que el cuerpo mineral es de grado uniforme, por lo tanto, las fases que se muestran en la Figura 2-11, han sido diseñadas, sujetas a restricciones de acceso, para extraer progresivamente el mineral en términos de tasa de extracción anual (ratios).

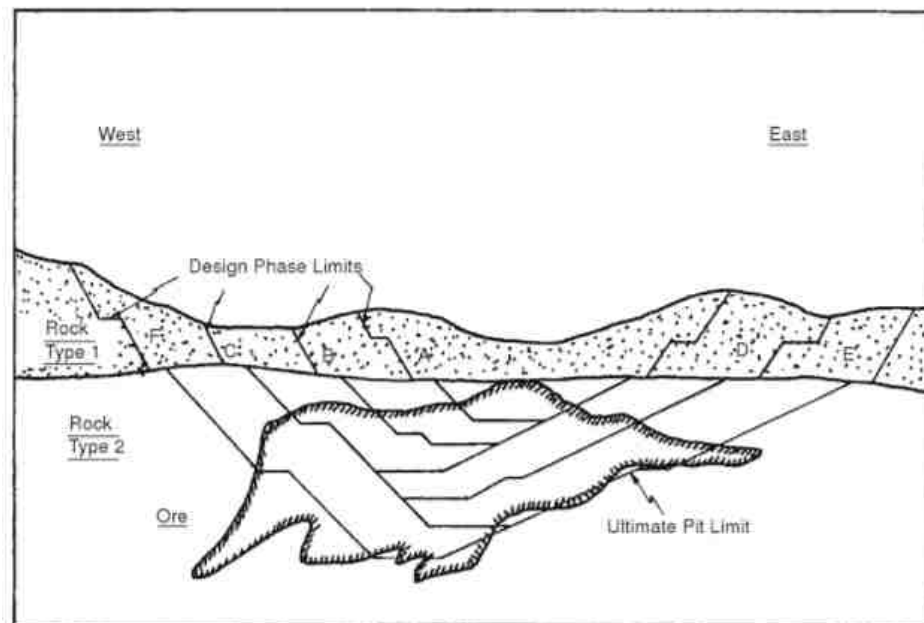


FIGURA 2- 11. Orden de fases en un depósito mineral

Fuente: Fuente: "Open Pit Mine"/SME

B.) Se determina el inventario de tonelaje de mineral y desmonte, el resultado detallado de las primeras 3 fases, en este punto, el ingeniero de minas en planificación extraerá el mineral en cada banco sucesivo, escalonando gradualmente en orden, las fases para cumplir con la producción anual requerida. El programa de mineral de este tipo normalmente se haría usando un programa de computadora de escritorio interactivo. Cada fase tendría una vida de mineral diferente ya que se definieron en operaciones en lugar de

restricciones de programación, los primeros ensayos se basarían en una calificación de ley corte fija. En la Tabla 2-7, se muestra el criterio de las fases en el Tajo Ferrobamba.

TABLA 2- 7. Recurso Medidos, Indicados & Inferidos

Tajo	Fases	Medido	Indicado	Inferido
		(Kt)	(Kt)	(Kt)
Ferrobamba	Fe1	49,020	52,980	5,190
	Fe2	35,040	85,580	25,870
	Fe3	62,290	97,660	19,440
	Fe4	40,060	162,060	62,360
	<b>Total</b>	<b>186,410</b>	<b>398,280</b>	<b>112,860</b>
Chalcobamba	Ch1	14,690	76,920	690
	Ch2	52,030	87,360	2,980
	<b>Total</b>	<b>66,720</b>	<b>164,280</b>	<b>3,670</b>
Sulfobamba	Sul1	-	61,370	18,080
	<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>61,370</b>	<b>18,080</b>
<b>Las Bambas</b>	<b>Total</b>	<b>253,130</b>	<b>623,930</b>	<b>134,610</b>

Fuente: Las Bambas Feasibility Study / Año 2010

- C.) Estas fases se minarán en secuencia y no se considerarán mezclas entre fases en este sencillo cronograma; cada fase, contiene un tonelaje de mineral que debe estar expuesto o desarrollado antes del agotamiento del mineral de la fase anterior.
- D.) El planificador ahora puede definir los puntos en el tiempo en que se debe completar la eliminación de estéril para cualquier fase dada a fin de mantener el suministro de mineral, para que comience la producción de mineral de otra fase.

### 2.3.8. Secuencia de Bloques usando Programación Dinámica

Roman (1974), describió un algoritmo para determinar la secuencia de extracción óptima y los límites de pozos modelados, presentado originalmente por Lerch y Grossmann (1965).

El proceso se demostrará mediante el uso de un ejemplo bidimensional. Se asigna un número de índice que representa la posición de columna y fila para cada bloque. El primer paso en el proceso es convertir el modelo de bloques de leyes en un modelo de bloque económico. Para asignar el costo e ingresos apropiados, se debe tomar una decisión en este momento con respecto al destino de cada bloque. Tres posibilidades podrían ser:

- Molienda
- Depósito de óxidos
- Botaderos (desmonte)

El valor neto del bloque se determina restando el costo de minado y procesamiento de los ingresos. El costo de extracción es solo para el bloque y no incluye el costo de extracción.

### 2.3.9. Determinación del “Pit” Optimo

Una vez que se ha encontrado la secuencia óptima, se puede desarrollar el contorno del “pit”, el procedimiento para determinar cuál de los bloques corresponde a la secuencia de optimización a extraer es el siguiente:

- Identifica el último bloque en la secuencia óptima con un valor positivo.
- Examine la secuencia restante del bloque e identifique el bloque negativo durante la programación para el minado, si hay una cantidad de bloques negativos en una fila, seleccione los primeros en la fila, determinar el valor



presente para la secuencia que se extiende desde el bloque negativo identificado hasta el final.

- Si el valor presente es negativo, suelte todos estos bloques de la secuencia de optimización y repita el paso 2. Si la subsecuencia tiene un valor presente positivo, reemplace la subsecuencia por un valor de bloque equivalente al final de la secuencia.
- Repita los pasos 2 y 3 hasta que se incluya el primer bloque minado en la subsecuencia, el valor presente final es el del “pit” óptimo.

### **2.3.10. Periodos del Plan**

La mayor parte del trabajo del planificador en el “Pit” (Couzens, 1979), se realiza en planos o mapas por banco, estos muestran:

- Topografía o contorno de la superficie
- Ubicación del mineral (Planos)
- Límites geológicos
- Límites de diseño (diseños de largo plazo)

Los mapas compuestos del Tajo que muestran la forma de la mina al final de cada período de planificación deben mantenerse actualizados. Estos permiten al planificador:

- Evitar conflictos entre las características del plan.
- Proporcionar una imagen del acceso en cada etapa del desarrollo.
- Ilustrar las pendientes reales de trabajo, las operaciones y las relaciones espaciales entre el mineral y el desmonte.

Las transiciones de los planes de fase a los períodos de tiempo deberían hacerse tan pronto como los diseños de fase estén lo suficientemente completos como para establecer el patrón general. Los planes anuales permiten:

- Establecer metas de producción definidas en el espacio, así como también en cantidades de material para mover.
- Una mejor evaluación económica de la que proporciona el promedio de fase.
- Mejor definición de la relación de las fases entre sí ya que se superponen en la operación completa de la mina. Muestran las pendientes operativas reales y las rutas de transporte.

Los contornos del medio del banco han sido trazados. También, se muestran la huella de las rutas de acarreo, las áreas de arrastre y parte de los botaderos de estéril. En este sistema, el etiquetado de elevación es el siguiente (Couzens, 1979):

- Fuera del Tajo, los contornos están etiquetados con sus elevaciones verdaderas.
- Dentro del Tajo
  - La elevación etiquetada se refiere a las elevaciones del “toe” del banco.
  - La elevación de las líneas centrales del banco es la mitad de la altura del banco por encima de la elevación del toe del banco. Por lo tanto, son las áreas planas entre las líneas centrales las que están etiquetadas.



- En las rampas, las líneas centrales del banco cruzan la rampa a medio camino, las etiquetas se colocan en la elevación del banco real de la rampa.

En una mina en operación habrá una cantidad de planes diferentes que cubrirán diferentes períodos, el personal de ingeniería generalmente es responsable de:

- Estimación anual de reservas de mineral.
- Planes anuales o plurianuales sobre la progresión del “Pit”, cambios en los caminos de acarreo, etc.
- Planes trimestrales.
- Planes mensuales.
- Planes semanales.
- Planes diarios.

### 2.3.11. 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. La Figura 2-12, muestra un gráfico de este tipo para un plan de minería de prueba antes de que se haya suavizado. 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.

### **2.3.12. Consideraciones Geométricas**

El yacimiento de mineral explotado hoy en día a cielo abierto varía considerablemente en tamaño, forma, orientación y profundidad por debajo de la superficie. La topografía de la superficie inicial pueden variar desde las cimas de las montañas hasta los pisos de los valles, a pesar de esto, hay una serie de consideraciones de diseño y planificación basadas en la geometría que son fundamentales para todas ellas.

El yacimiento se extrae de arriba hacia abajo en una serie de capas horizontales de espesor uniforme llamadas bancos. El minado comienza con el banco superior y después de que se ha expuesto una superficie de suelo suficiente, puede comenzar la extracción de la siguiente capa, el proceso continúa hasta que se alcanza la elevación del banco inferior y se alcanza el contorno del “pit” final, para acceder a los diferentes bancos se debe crear una carretera o una rampa. El ancho y la inclinación de esta rampa dependen del tipo de equipo que se va a utilizar.



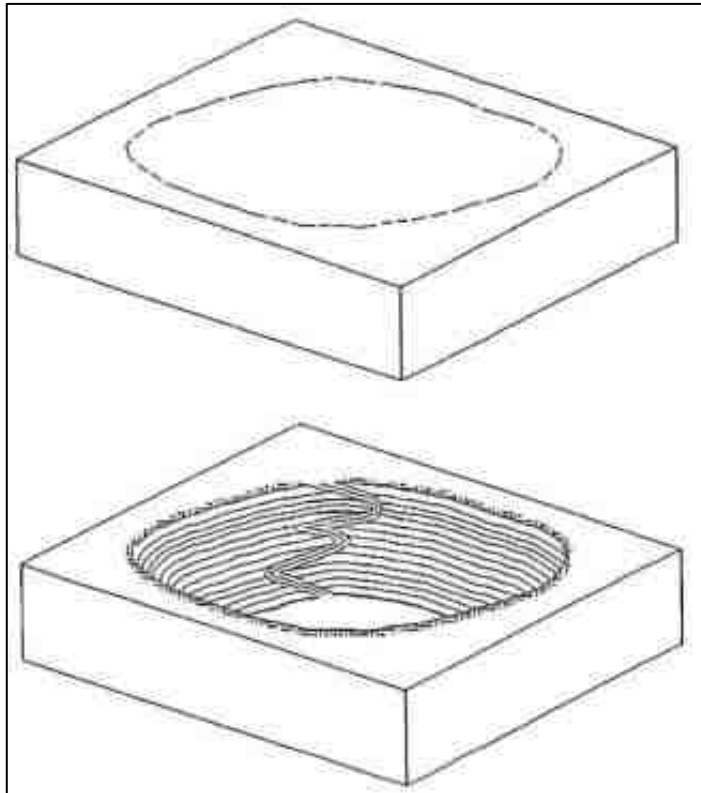


FIGURA 2- 12. Consideración geométrica de un Pit

Fuente: Open Pit Mine/SME

Las pendientes estables deben crearse y mantenerse durante la creación y vida del “Pit”. El ángulo de inclinación es un parámetro geométrico importante que tiene un impacto económico significativo, la minería a cielo abierto está muy mecanizada, cada pieza de maquinaria minera tiene una geometría asociada, tanto relacionada con su propio tamaño físico, como con el espacio que requiere para operar de manera eficiente. Hay un conjunto complementario de equipos de perforación, carga y transporte que requieren una cierta cantidad de espacio de trabajo. Este requisito de espacio, se tiene en cuenta al dimensionar los denominados bancos de trabajo. Desde el punto de vista operativo y económico, ciertos volúmenes deben, al menos, eliminarse antes que otros, estos volúmenes tienen un cierto tamaño mínimo y un tamaño óptimo.

### 2.3.12.1. Geometría Básica del Banco

El componente básico de extracción en una mina a cielo abierto es el banco, la nomenclatura del banco se muestra en la Figura 2-13.

Cada banco tiene una superficie superior e inferior separada por una distancia  $H$  igual a la altura del banco; las superficies subvertidas expuestas se llaman caras de banco, se describen por el “toe”, la cresta y el ángulo de la cara (el ángulo promedio que la cara forma con la horizontal).

El ángulo de la cara del banco “BFA” puede variar considerablemente con las características de la roca, la orientación de la cara y las prácticas de voladura, en la mayoría de los pozos de roca dura varía de aproximadamente  $55^\circ$  a  $80^\circ$ . Un valor de diseño inicial típico podría ser  $65^\circ$ . Esto se debe usar con cuidado ya que el ángulo de la cara del banco puede tener un efecto importante en el ángulo general de la pendiente.

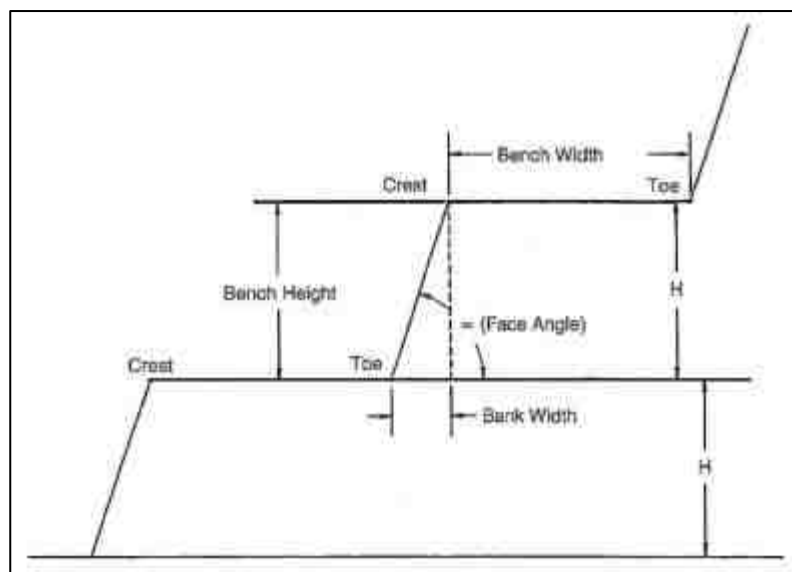


FIGURA 2- 13. Partes de un banco

Fuente: Open Pit Mine/SME

Normalmente las caras del banco se extraen tan profundamente como sea posible. Sin embargo, debido a una variedad de causas, hay una cierta cantidad de “back break”, esto se define como la distancia de la cresta real que está detrás de la cresta diseñada.

La superficie inferior del banco expuesto se llama el piso del banco, el ancho del banco es la distancia entre la cresta y el “toe” medida a lo largo de la superficie superior. El ancho del banco es la proyección horizontal de la cara del banco.

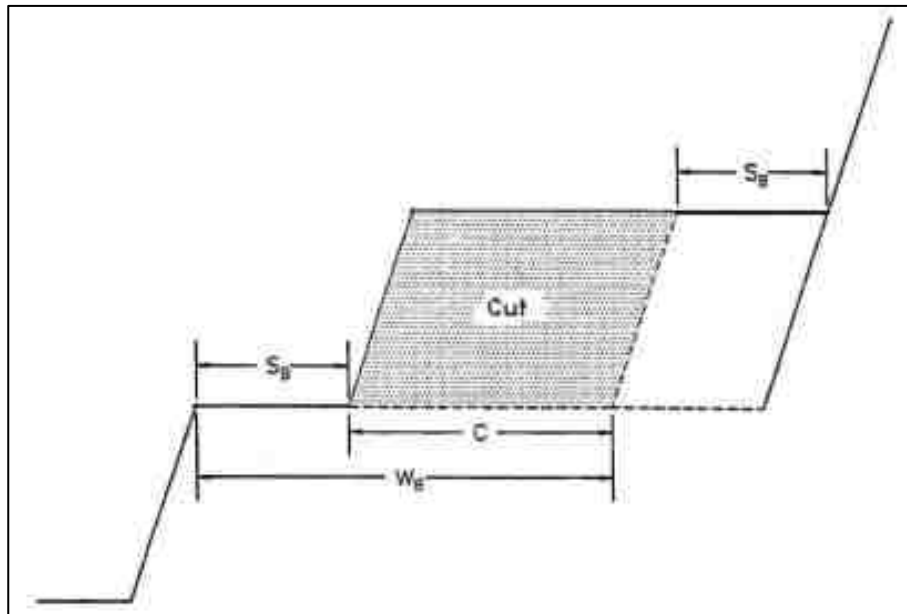


FIGURA 2- 14. Sección de corte de un banco

Fuente: Open Pit Mine/SME

Hay varios tipos de banco, un banco de trabajo, es uno que está en proceso de ser minado, el ancho que se extrae del banco de trabajo se llama corte, el ancho del banco de trabajo se define como la distancia desde la cresta del piso del banco a la nueva posición del “toe” después de que se ha extraído el corte.

Después de que se haya eliminado el corte, queda un banco de seguridad, siendo el propósito de estos bancos:

- Recoger el material que se desliza desde los bancos de arriba.
- Detener el avance descendente de las rocas.

Durante la extracción primaria, generalmente se deja un banco de seguridad en todos los niveles. El ancho varía con la altura del banco. Generalmente, el ancho del banco de seguridad es del orden de  $2/3$  de la altura del banco, al final de la vida de la mina, los bancos de seguridad a veces se reducen en un ancho de aproximadamente  $1/3$  de la altura del banco.

A veces se dejan dos bancos (banco doble) a lo largo de la pared final del “Pit”, estos son bancos de doble altura que, en consecuencia, permiten en un ángulo mayor de pendiente (y por lo tanto una mayor capacidad de minado en cuanto a las reservas). En la Figura 2-15, presentamos la configuración del banco doble.

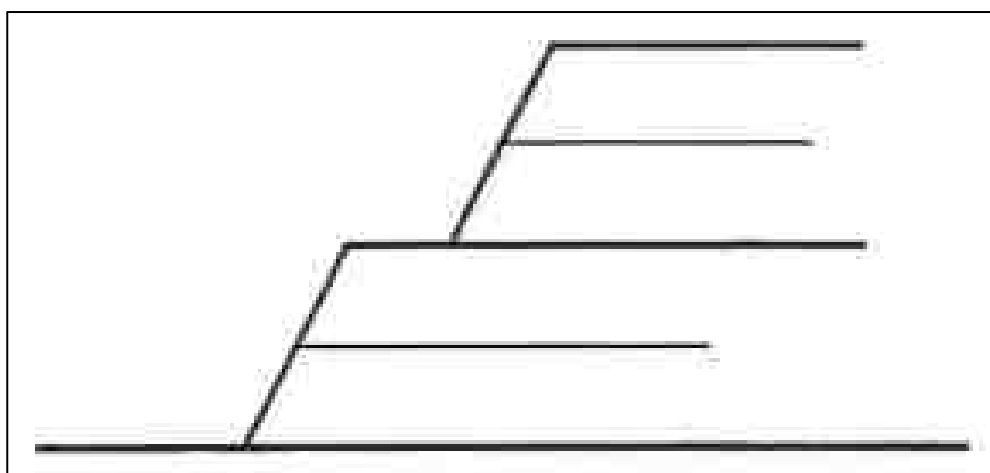


FIGURA 2- 15. Configuración de doble banco

Fuente: Open Pit Mine/SME

Además de dejar los bancos de seguridad, a menudo se construyen bermas de materiales rocosos a lo largo de la cresta. Estos con la función de formar una plataforma entre la berma y el “toe” del talud para detener las rocas que caen. En la Figura 2-16, se presenta la geometría del “Catch Bench”.

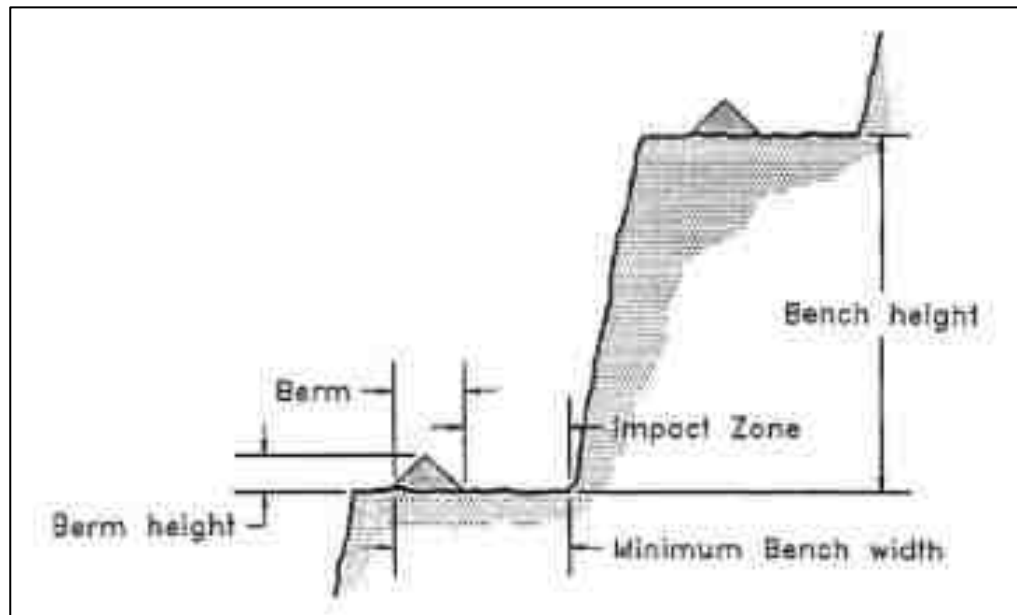


FIGURA 2- 16. Geometría de “Catch Bench”

Fuente: Open Pit Mine/SME

También se deja una berma de seguridad a lo largo de la rampa de un banco para evitar que los camiones y otras máquinas retrocedan. Tiene las mismas funciones que una barandilla en puentes y carreteras elevadas. Normalmente, la berma tiene una altura mayor o igual que el radio del neumático. La pendiente de la berma se toma en aproximadamente  $35^\circ$  (el ángulo de reposo). En la Fotografía 2-2, se muestra una vista de los bancos simples en el Tajo Ferrobamba.



FOTOGRAFIA 2- 2. Bancos simples Tajo Ferrobamba-Zona Minitajo

Hoy en día, en algunos “Pit’s” también, se crean bermas medianas en el centro de los caminos de acarreo (caminos Pioneros). En la Figura 2-17, se muestran las bermas de seguridad.

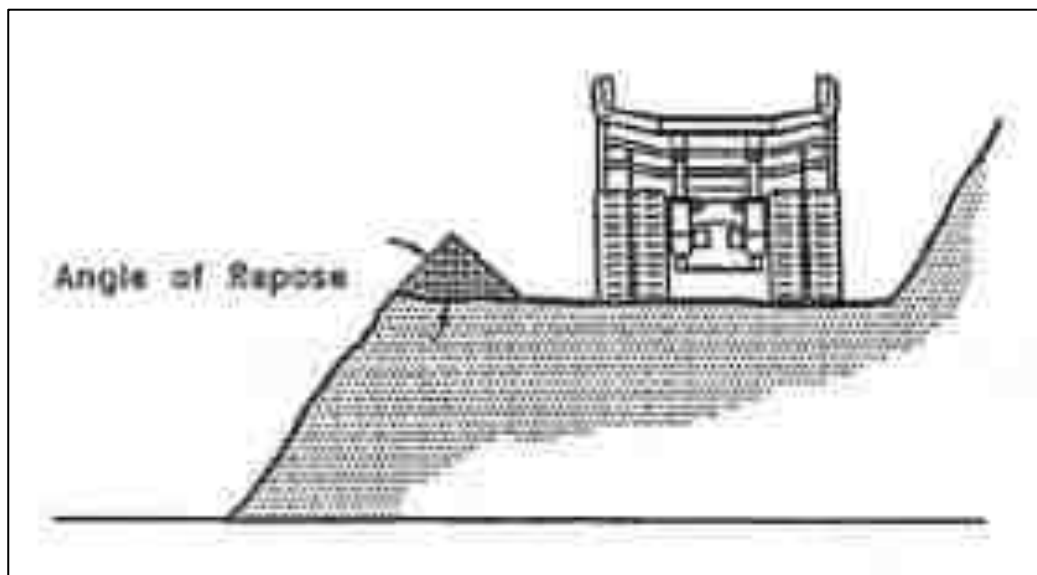


FIGURA 2- 17. Bermas de seguridad

Fuente: Open Pit Mine/SME

Varios factores diferentes influyen en la selección de la dimensión del banco. La altura del banco se convierte en la decisión básica. La altura de

banco común en el tajo Ferrobamba es de 15 metros. Para Tajos más pequeños, la altura podría ser 12 m. Para pequeños depósitos de oro, un valor típico podría ser de 7.5 m. Una directriz general es que la altura del banco debe coincidir con el equipo de carga. Al usar palas, la altura del banco debe estar dentro de la altura máxima de excavación.

Para la pala eléctrica P&H 4100 XPC, se tiene bancos de 15 metros. La Figura 2-18, muestra una regla general que la altura del banco no debe ser mayor que la de la rueda de la polea. Operar en bancos con alturas mayores a veces resulta en cornisas que ponen en peligro la carga y otras actividades de la operación.

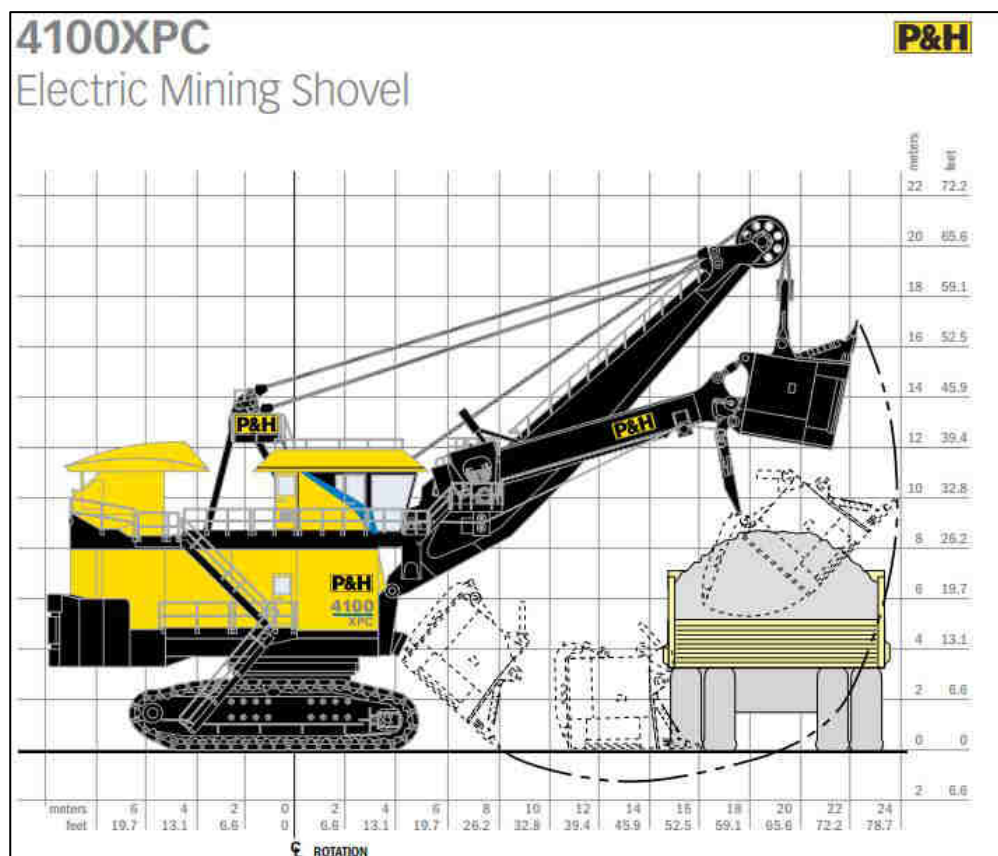


FIGURA 2- 18. Pala Eléctrica 4100XPC

Fuente: P&H

La Figura 2-19 muestra la altura de alcance típica para palas y cargadores frontales en función del tamaño del cucharón.

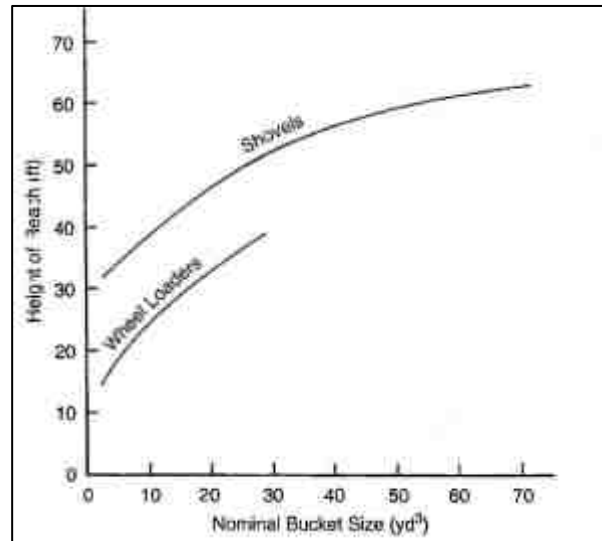


FIGURA 2- 19. Altura de minado en función al cucharon

Fuente: Open Pit Mine/SME

En un momento, las alturas de los bancos estaban limitadas por la profundidad de perforación. La simulación moderna ha eliminado en gran medida tales restricciones.

Sin embargo, en minas grandes a cielo abierto, al menos, es recomendable perforar los taladros en una sola pasada. Bancos de 15m actualmente.

Esto significa que el taladro debe tener una altura de mástil suficiente para acomodar la altura del banco más la sobre perforación requerida (10% de la altura del banco).

Bancos más altos y más anchos rinden:

- Menos selectividad (mezcla de alto y bajo grado y minerales de diferentes tipos).
- Más dilución (mezcla de ore/waste).
- Menos trabajo, por lo tanto, menos flexibilidad.
- Pendientes de trabajo estables; máquinas grandes.
- Requieren un espacio de trabajo significativo para operar de manera eficiente,

Por otro lado, tales bancos proporcionan:

- Menos configuraciones de equipos, por lo tanto, una menor proporción de tiempo de configuración fijo.
- Posibilidades mejoradas de supervisión.
- Mayor minado, voladuras más grandes significan que se puede manejar más material en un momento dado.
- Eficiencias y altas productividades asociadas con máquinas más grandes.

### **2.3.12.2. Acceso a Mineral**

Uno de los temas sobre el cual se escribe poco en la literatura minera es sobre el aspecto inicial del yacimiento. ¿Cómo uno realmente comienza el proceso de minado? Obviamente, el enfoque depende de la topografía del terreno circundante. Para presentar el tema, se supondrá que la superficie del suelo es plana. La vegetación superpuesta se ha eliminado al igual que la capa



de tierra, arena y grava. En este caso, se supondrá que el cuerpo mineral tiene 700 pies de diámetro. Un espesor de 40 pies. El mineral es duro por lo que se requiere perforación y voladura. La Figura 2-20, muestra la geometría de la mineralización.

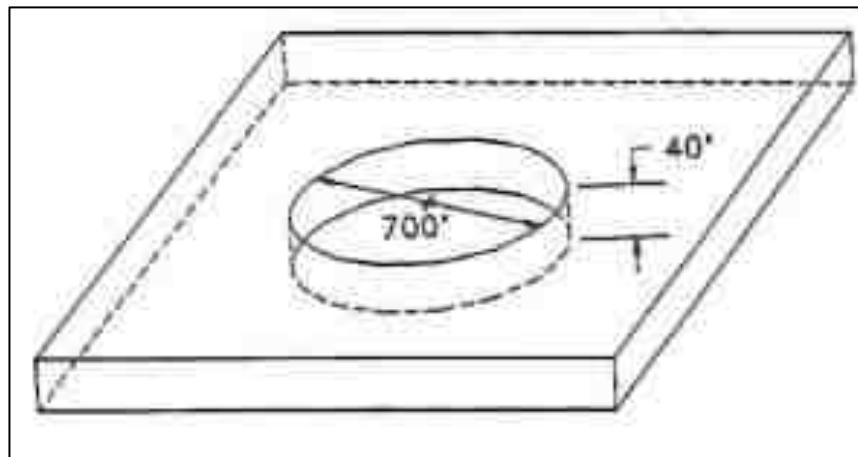


FIGURA 2- 20. Geometría de Mineral/Ejemplo

Fuente: Open Pit Mine/SME

Se debe crear una cara libre de minado en el yacimiento antes de que pueda comenzar la producción principal. Además, se debe crear una rampa para permitir el acceso de camiones y cargadores. Se ejecuta un corte para crear la cara libre y el acceso de la rampa al mismo tiempo. El movimiento de la roca es principalmente vertical hacia arriba con un movimiento lateral muy limitado. Para crear condiciones de minado satisfactorias, los taladros normalmente están bastante poco espaciados. Aquí solo se enfatizarán los aspectos de geometría. La Figura 2-21, muestra la geometría de la rampa en mineral. La Fotografía 2-3, muestra una vista de la construcción de la rampa en el Nv. 3720.

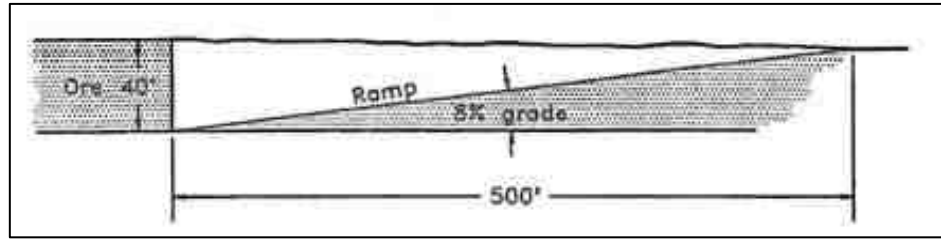


FIGURA 2- 21. Construcción de Rampa en mineral

Fuente: Open Pit Mine/SME



FOTOGRAFIA 2- 3. Rampa en Mineral Nv. 3720

Las paredes se supondrán verticales, para alcanzar los 40 pies de profundidad deseada, la rampa en proyección horizontal será de 500 pies de largo. No hay un criterio general sobre cómo el corte de caída debe ser perforado y volado. Algunas compañías perforan todo el corte con taladros de la misma longitud. La primera parte de la rampa se superpone a la roca volada mientras que la parte final está en rasante. En el diseño que se muestra en la Figura 2-22, el corte de la rampa se ha dividido en tres partes, cada uno es cargado y volado antes de disparar el siguiente. Se utilizan taladros de 9 7/8 " de diámetro. La profundidad mínima del taladro es de 15 pies y se mantiene en

los primeros 90 pies de la rampa. La profundidad del taladro se mantiene a 7 pies por debajo del “bucle” del corte final deseado.

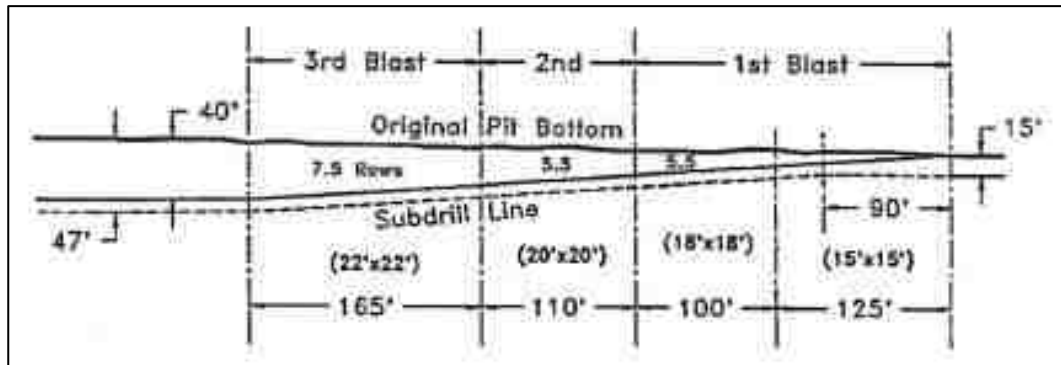


FIGURA 2- 22. Diseño de “Blasthole” en rampa

Fuente: Open Pit Mine/SME

### 2.3.12.3.Frentes de Minado

El radio máximo de excavación de una pala eléctrica en un piso nivelado, tiene un ancho máximo de corte para la pala que trabaja a lo largo de una trayectoria de corte establecido. El valor máximo es aquel que el cucharón de la pala se puede mover horizontalmente hacia afuera, logrando así el corte indicado del plan como sigue:

- El ancho máximo del corte en el nivel del piso es:

$$\text{Ancho máximo de corte (piso)} = 90\text{m.}$$

- El ancho máximo del corte a nivel de cresta es:

$$\text{Ancho máximo de corte (cresta)} = 120\text{m}$$

En la práctica, el ancho de corte de la pala que se mueve a lo largo de un camino relativamente restringido para las dimensiones de la pala, como es el caso:

Ancho mínimo de corte (cresta) = 90 m

Ancho máximo de corte (piso) = 80 m

Para los ángulos de inclinación de corte típicos de 60° a 80°, el ancho de corte máximo (piso) es la dimensión de control. Cuando el frente de minado está en el centro del corte y la pala está excavando a ambos lados, el piso máximo y los radios mínimos van en función a los cortes indicados.

En cualquier caso, para diseñar los proyectos de perforación y evaluar las dimensiones mínimas de los anchos de minado del tajo, se debe tener claro los anchos de minado de las palas eléctricas e hidráulicas.

Las Figuras 2 – 23, muestran la geometría del frente de minado del piso mínimo cuando la pala se mueve a lo largo de los dos lados de carga en el corte. La carga es primero en un banco. La pala se mueve y cargara desde el otro lado. Esto considera condiciones operativas muy ajustadas y se usaría para crear un corte final en el fondo del tajo. La Figura 2-23, muestra los anchos mínimos para una pala eléctrica.



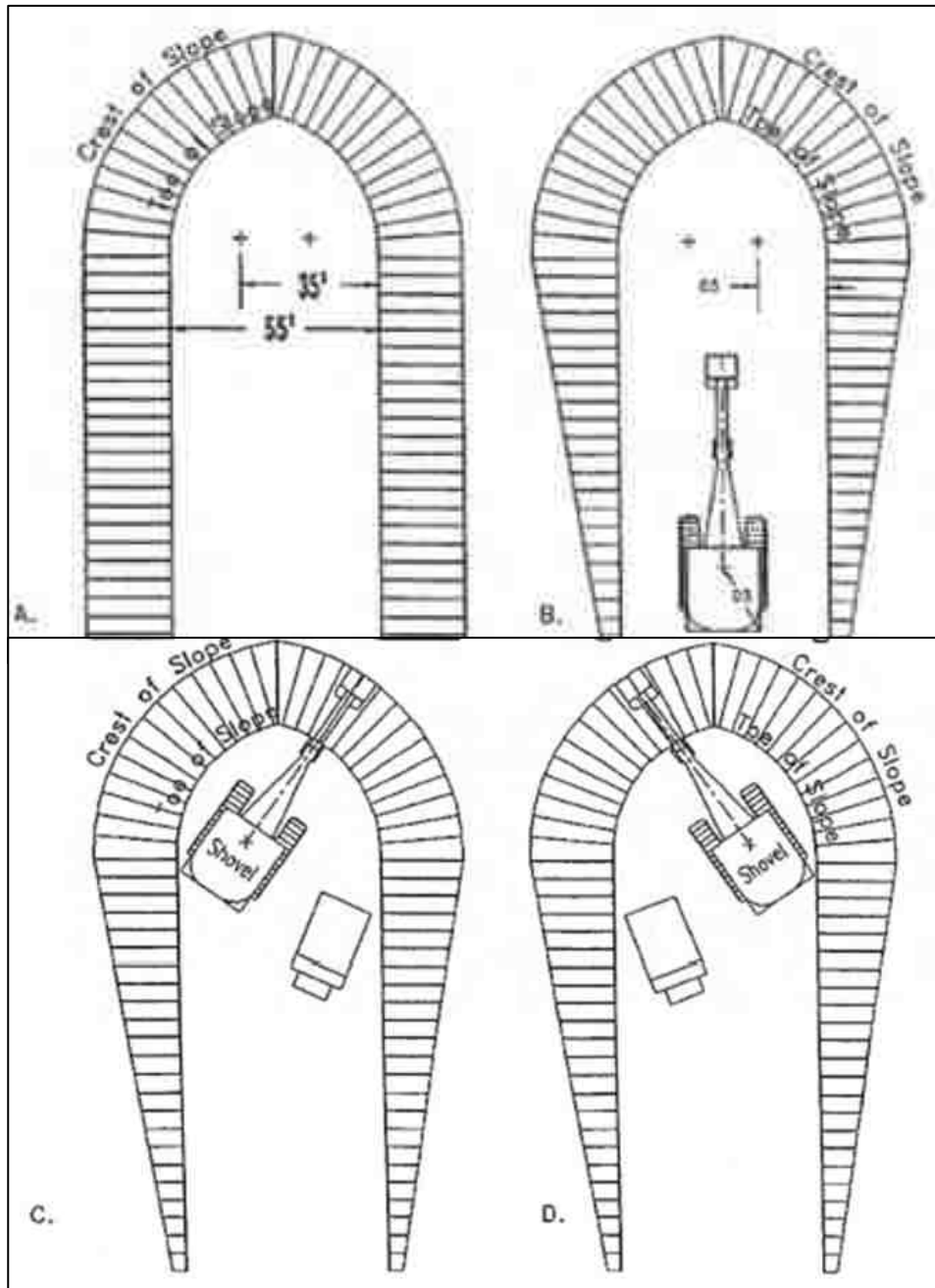


FIGURA 2- 23. Anchos mínimos de Minado para una sola Pala Eléctrica

Fuente: Open Pit Mine/SME

El corte habitual se muestra en las Figuras 2 - 24 donde la pala se mueve a lo largo de la línea central cortada y puede excavar a ambos lados. Se observará que la pala debe oscilar en grandes ángulos para llegar a la carga correcta del camión.

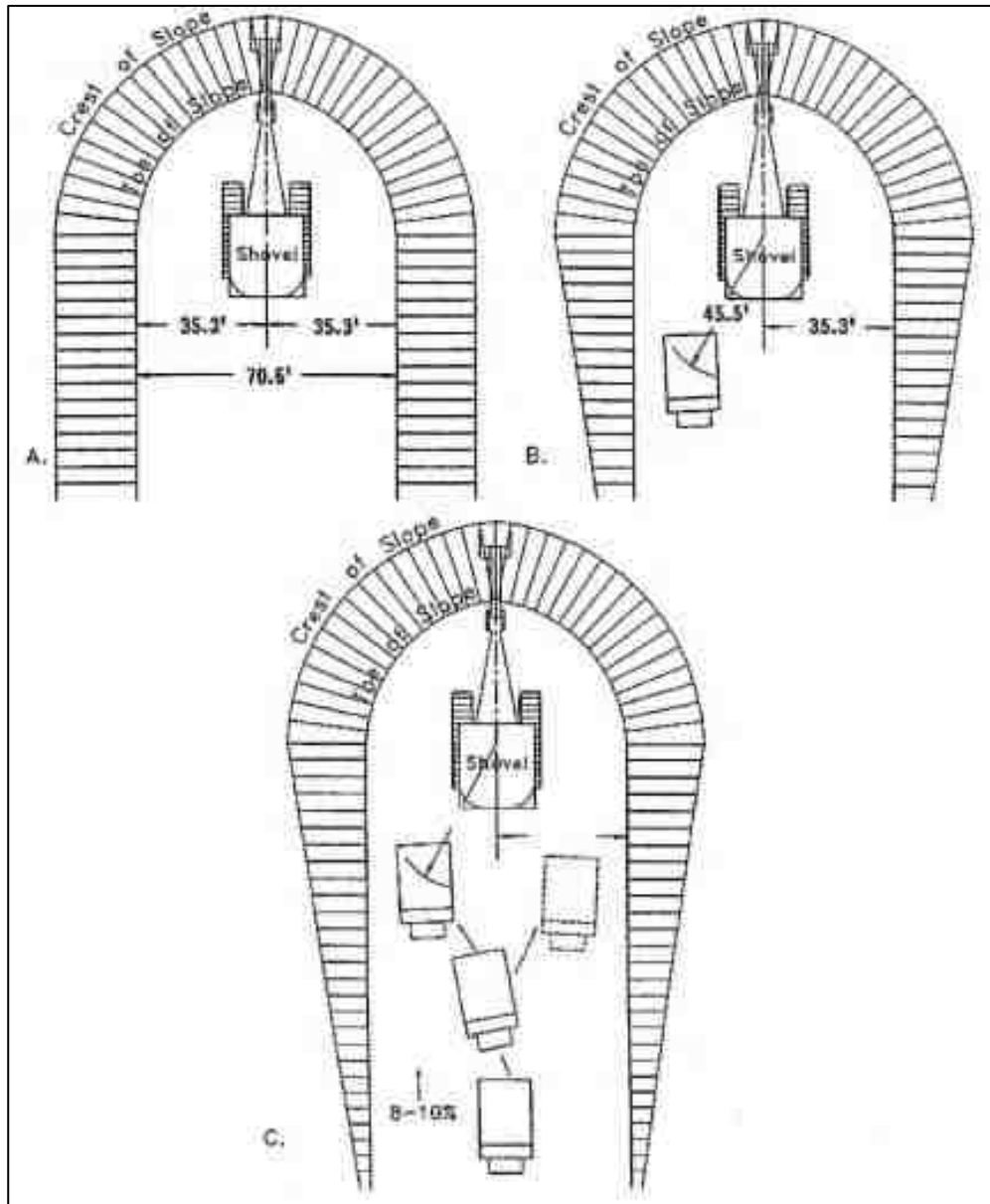


FIGURA 2- 24. Geometría de ancho mínimo de minado por ambos lados en pala Eléctrica

Fuente: Open Pit Mine/SME

En ambos casos, la geometría del banco de trabajo en esta etapa, se caracteriza por condiciones de trabajo estrechas.

Se considera dos ubicaciones para el corte de una rampa. El primero (caso A) está completamente en el desmonte que rodea el “pit”. Se desea tener el piso de la rampa en el fondo del mineral justo cuando alcanza el contacto mineral/desmonte. Esto se muestra en forma de diagrama en la Figura 2 – 25.

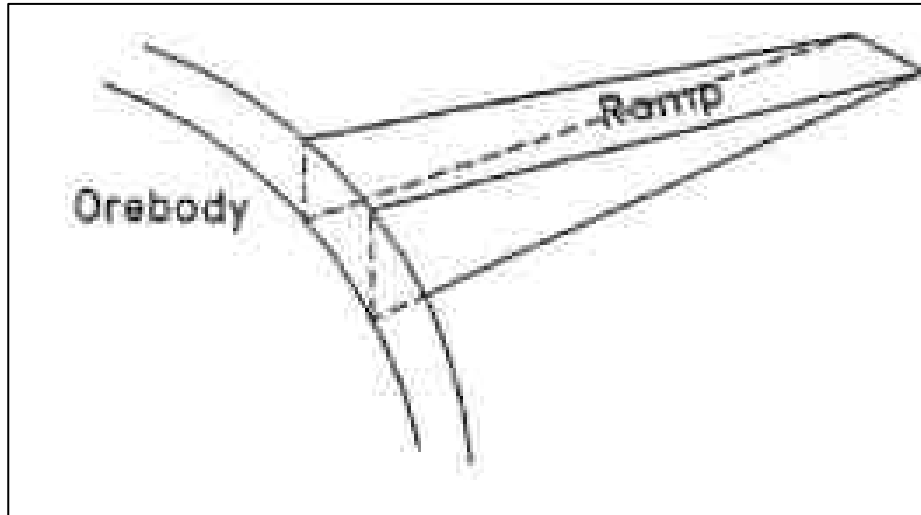


FIGURA 2- 25. Preparación de Rampa en desmonte

Fuente: Open Pit Mine/SME

Los cortes programados se usan en todos los niveles para crear una nueva plataforma de perforación. Mostrando así los niveles de minado que van desde la parte inferior del “pit” actual a través de la extracción de los niveles conocidos. Una operación de carga de dos niveles se muestra isométricamente en la figura 2 – 26, y minado de tres palas en la Fotografía 2-4.

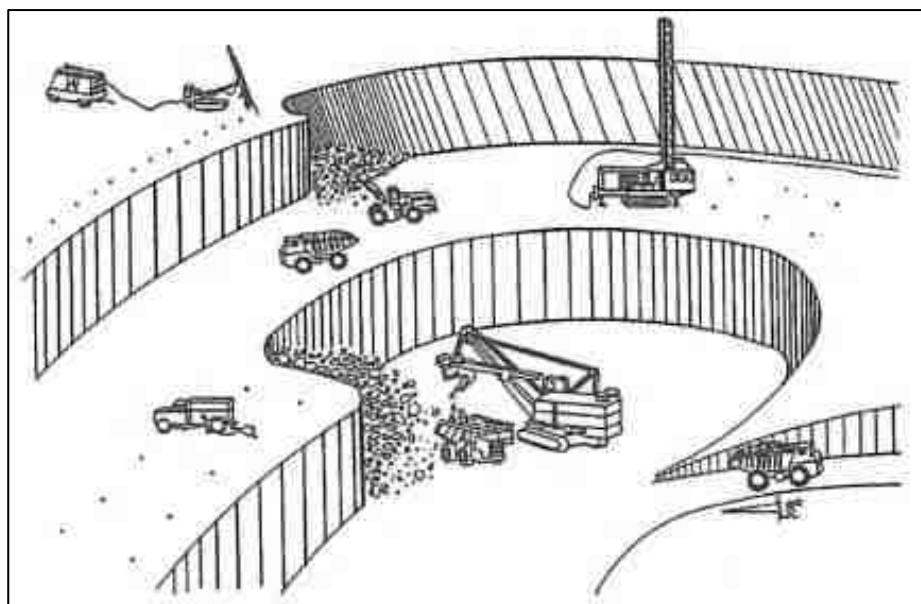


FIGURA 2- 26. Vista isométrica de minado simultaneo en diferente banco

Fuente: Open Pit Mine/SME



FOTOGRAFIA 2- 4. Minado de tres Palas en Nv. 3945

### 2.3.13. Secuenciamiento de “Pit Expansion”

Cuando el corte programado ha alcanzado los límites deseados, el corte se expande lateralmente. Inicialmente, el espacio operativo es muy limitado. Los camiones deben girar y detenerse en la parte superior de la rampa y luego bajar la rampa hacia la pala cuando el cargado haya liberado el área. Cuando el fondo del “pit” se ha expandido lo suficiente, el camión puede dar la vuelta en el fondo del “pit”.

Más adelante, a medida que el área de trabajo se vuelve bastante amplia, se pueden usar varias palas al mismo tiempo. La longitud óptima del frente de minado asignado a una máquina varía según el tamaño y el tipo, siendo eléctricas, hidráulica, o cargador frontal.

Una vez que se ha establecido el acceso, el corte se amplía hasta que todo el banco / nivel se ha extendido hasta los límites diseñados. Hay tres enfoques:

1. Cortes frontales.
2. Cortes paralelos: conducir
3. Cortes paralelos: ida y vuelta.

Los dos primeros se aplican cuando hay una gran cantidad de área de trabajo disponible, por ejemplo en el fondo del “pit”. La extracción de bancos más estrechos a los lados del “pit” es indicado por el tercer enfoque.

#### 2.3.14. Cortes Frontales

El corte frontal se muestra esquemáticamente en la figura 2 – 27.

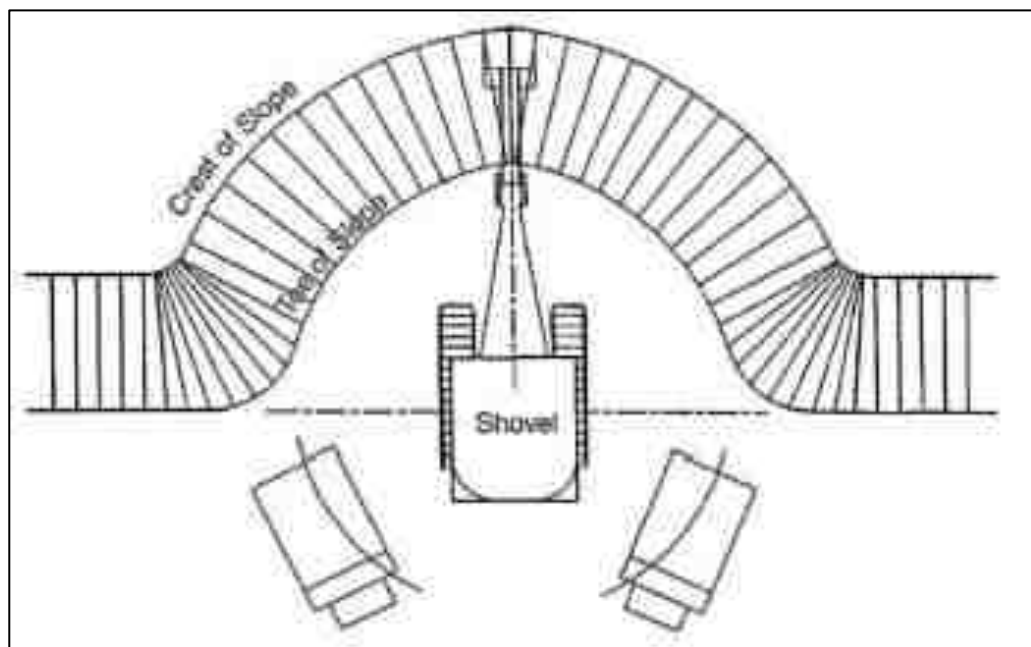


FIGURA 2- 27. Representación de Minado frontal

Fuente: Open Pit Mine/SME

La pala se posiciona al frente del banco y comienza a minar hacia adelante y hacia un lado. Se corta un sector en la pared del banco. En el caso que se muestra, se usa la doble colocación de los camiones, el camión está lleno, avanza con el camión ya cargado. El ángulo de oscilación varía de un máximo de aproximadamente  $110^\circ$  a un mínimo de  $10^\circ$ . El ángulo de oscilación promedio es de aproximadamente  $60^\circ$ , por lo que la operación de carga es bastante eficiente, debe haber espacio para que los camiones se ubiquen alrededor de la pala. La pala ingresa hasta el punto en que el centro del mástil está en línea con la cara. Luego se mueve paralelo a él y toma otro corte frontal.

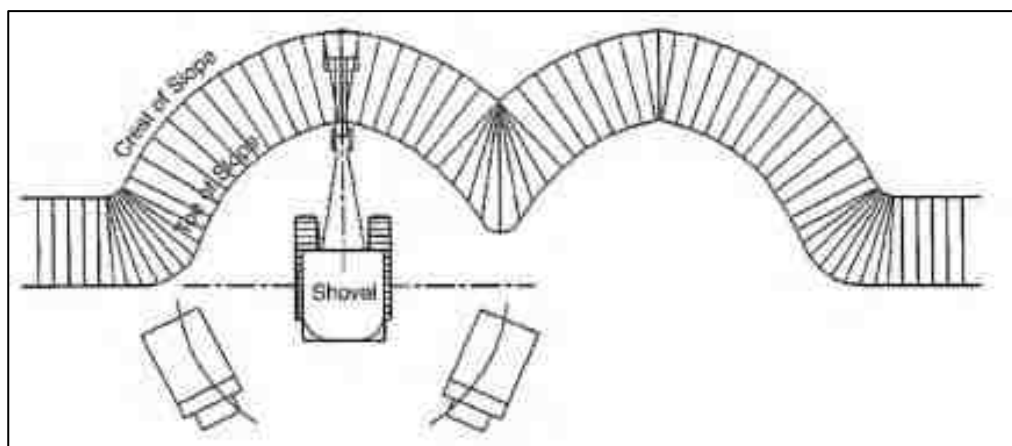


FIGURA 2- 28. Movimiento de Pala en corte Frontal

Fuente: Open Pit Mine/SME

Con un corte largo y un ancho de banco suficiente, más de una pala puede trabajar en el mismo frente, se toma un corte de relleno entre las posiciones de las caras individuales. Como se muestra en la Figura 2-29.

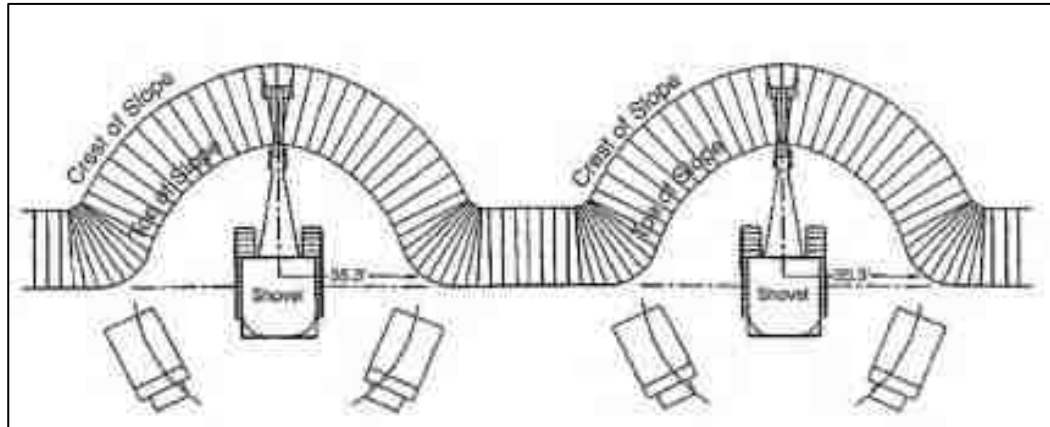


FIGURA 2- 29. Minado dos palas en el mismo banco

Fuente: Open Pit Mine/SME

Desde el punto de vista de la pala, esta es una operación de carga altamente eficiente. Sin embargo, los camiones deben detenerse y volver a su posición. Como se aprecia en la Figura 2-30.

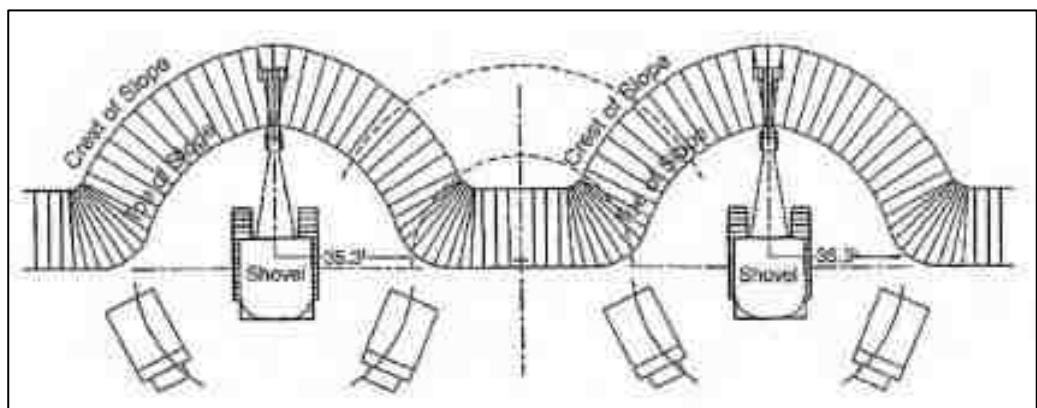


FIGURA 2- 30. Corte Final de Fase con ambas palas

Fuente: Open Pit Mine/SME

#### 2.3.14.1. Corte Paralelo a la Vía

Otra posibilidad cuando la geometría de la mina lo permite es el corte paralelo con “drive-by”. La pala se mueve y es paralela a la cara de minado.

Para este caso, el acceso al banco para las unidades de acarreo debe estar disponible desde ambas direcciones. Es altamente eficiente tanto para los camiones como para el cargador o pala. Aunque el ángulo de oscilación promedio es mayor que para el corte frontal. Ver Figura 2-31.

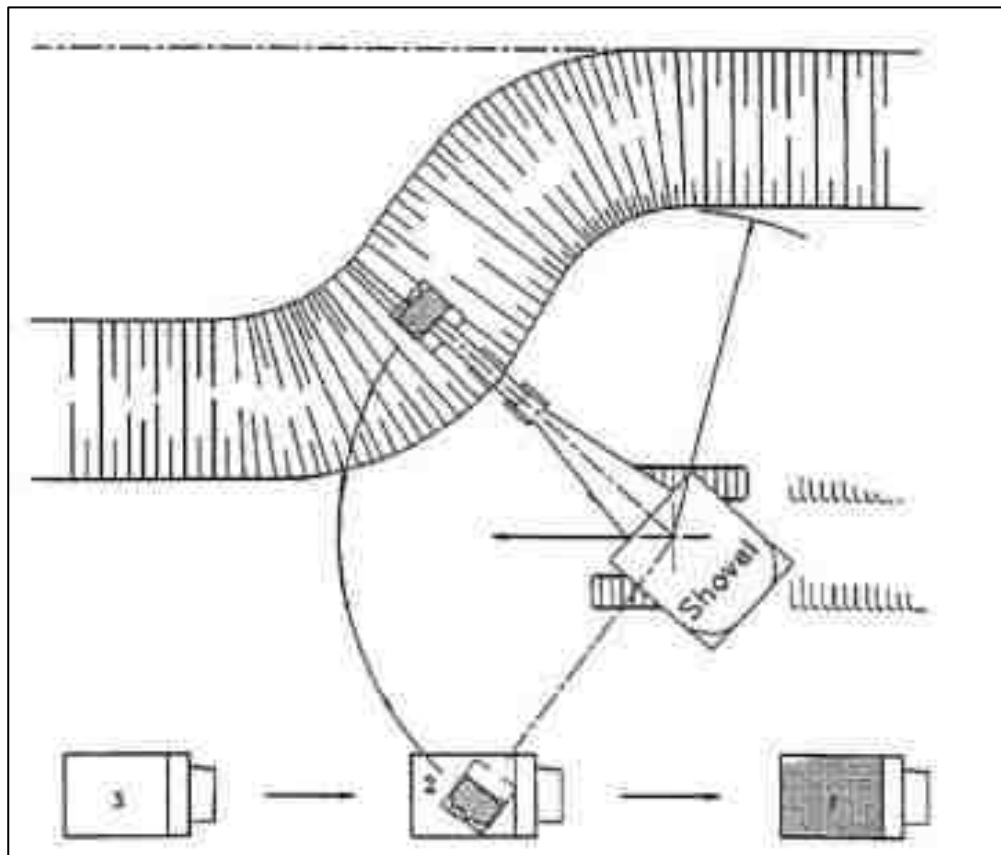


FIGURA 2- 31. Corte paralelo en vía

Fuente: Open Pit Mine/SME

#### 2.3.14.2. Cortes Paralelos

La expansión del Tajo en los niveles superiores generalmente se logra mediante cortes paralelos. Debido a limitaciones de espacio, solo hay acceso a la rampa desde un lado de la pala. Esto significa que los camiones se acercan a la pala desde atrás. Luego se detienen, giran y vuelven a la posición de carga. A veces hay espacio para el doble cargado de camiones. Ver Figura 2 – 32.

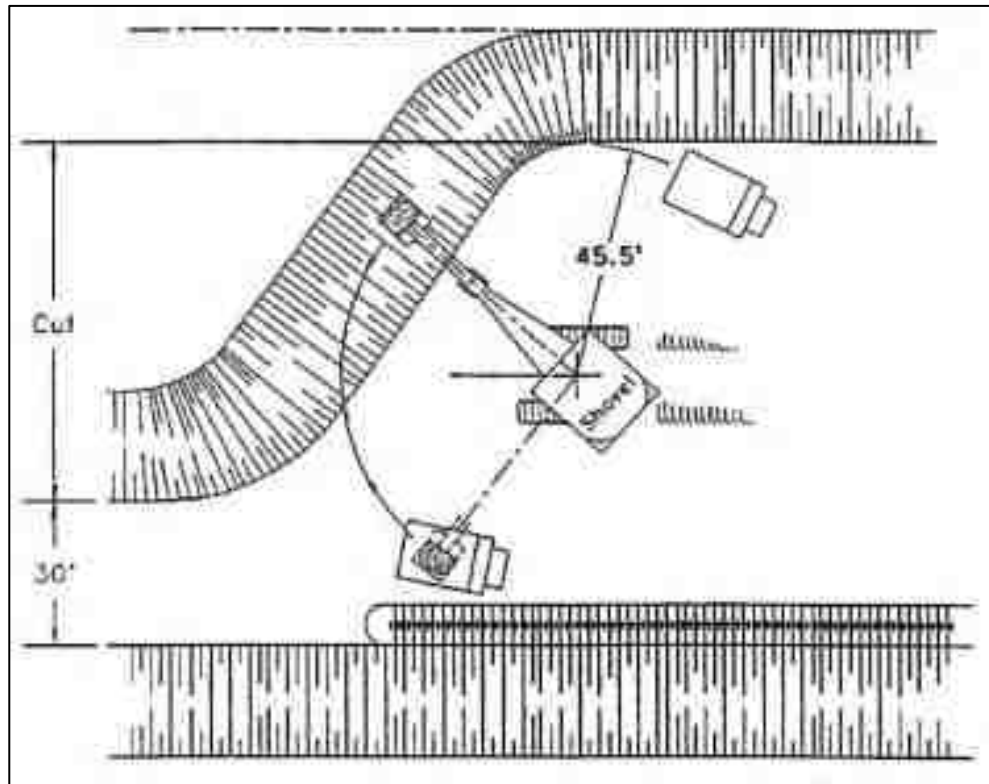


FIGURA 2- 32. Corte paralelo en ambos lados

Fuente: Open Pit Mine/SME

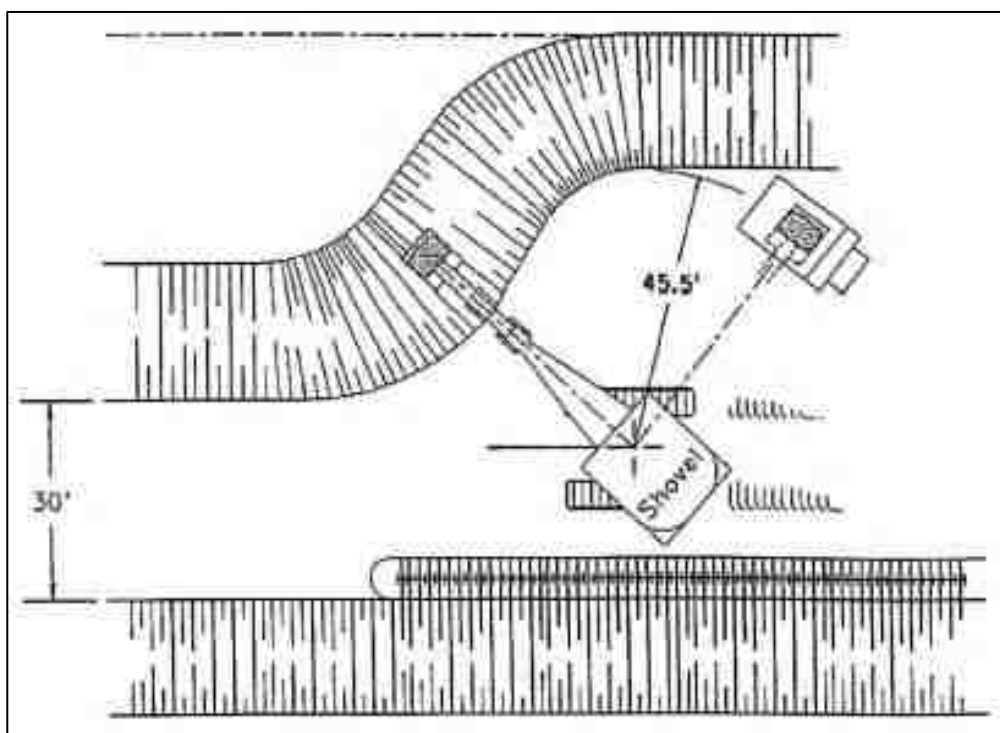


FIGURA 2- 33. Corte paralelo a un lado

Fuente: Open Pit Mine/SME

Las pendientes más pronunciadas dan como resultado un ahorro en los costos de desbroce. Por otro lado, al reducir el espacio operativo, pueden aumentar los costos de operación.

La figura 2 - 34 muestra la única secuencia de cargado. El camión 2 (figura 2 - 34B) espera mientras la pala completa la carga del camión 1. Después de que el camión 1 se ha ido (Fig. J, 34C), el camión 2 gira y se detiene (Fig. 2 - 34D) y retrocede a su posición (Fig. 2 - 34E), mientras se carga el camión 2 llega el camión 3 (Fig. 2 - 34F). El proceso luego se repite. En esta situación, tanto los camiones como la pala deben esperar causando una reducción en la productividad general.



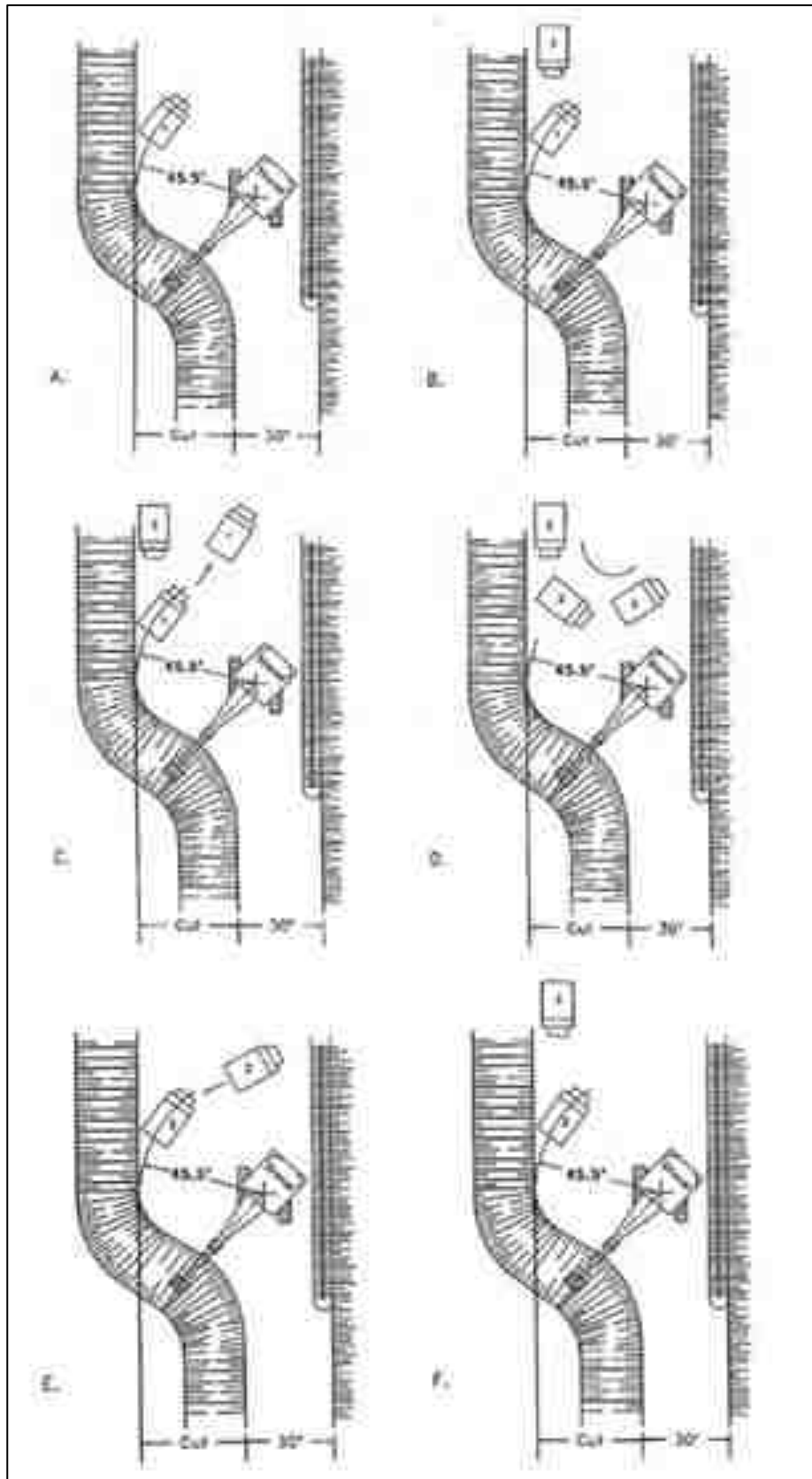


FIGURA 2- 34. Secuencia de minado en corte paralelo a un solo lado

Fuente: Open Pit Mine/SME

La situación de doble localización se muestra en la Figura 2 -35. El camión 1 es el primero en ser cargado (Fig. 2 - 35),

El camión 2 llega (Fig. 2 - 35B) y vuelve a su posición (Fig. 2 - 35C). Cuando está en posición, la pala ha completado la carga del camión 1. Al salir el camión 1 (Fig. 2 - 35D), la pala comienza a cargar el camión 2. A medida que se carga el camión 2, llega el camión 3. Gira (fig. 2 - 35E) y vuelve a su posición (Fig. 2 - 35F). A medida que el camión 2 sale de la pala comienza a cargar el camión 3 (Fig. 2 - 35G). Con este tipo de disposición no hay que esperar por la pala y esperar menos por los camiones. Por lo tanto, la productividad general de este sistema es mayor que la de un solo punto. La secuenciación desafortunadamente no es lo que sugeriría la teoría. Las figuras 2 - 35H y 2 - 35I muestran dos situaciones bastante típicas. Ambas pueden minimizarse mediante el uso de un sistema eficaz de comunicaciones / “dispatch”.



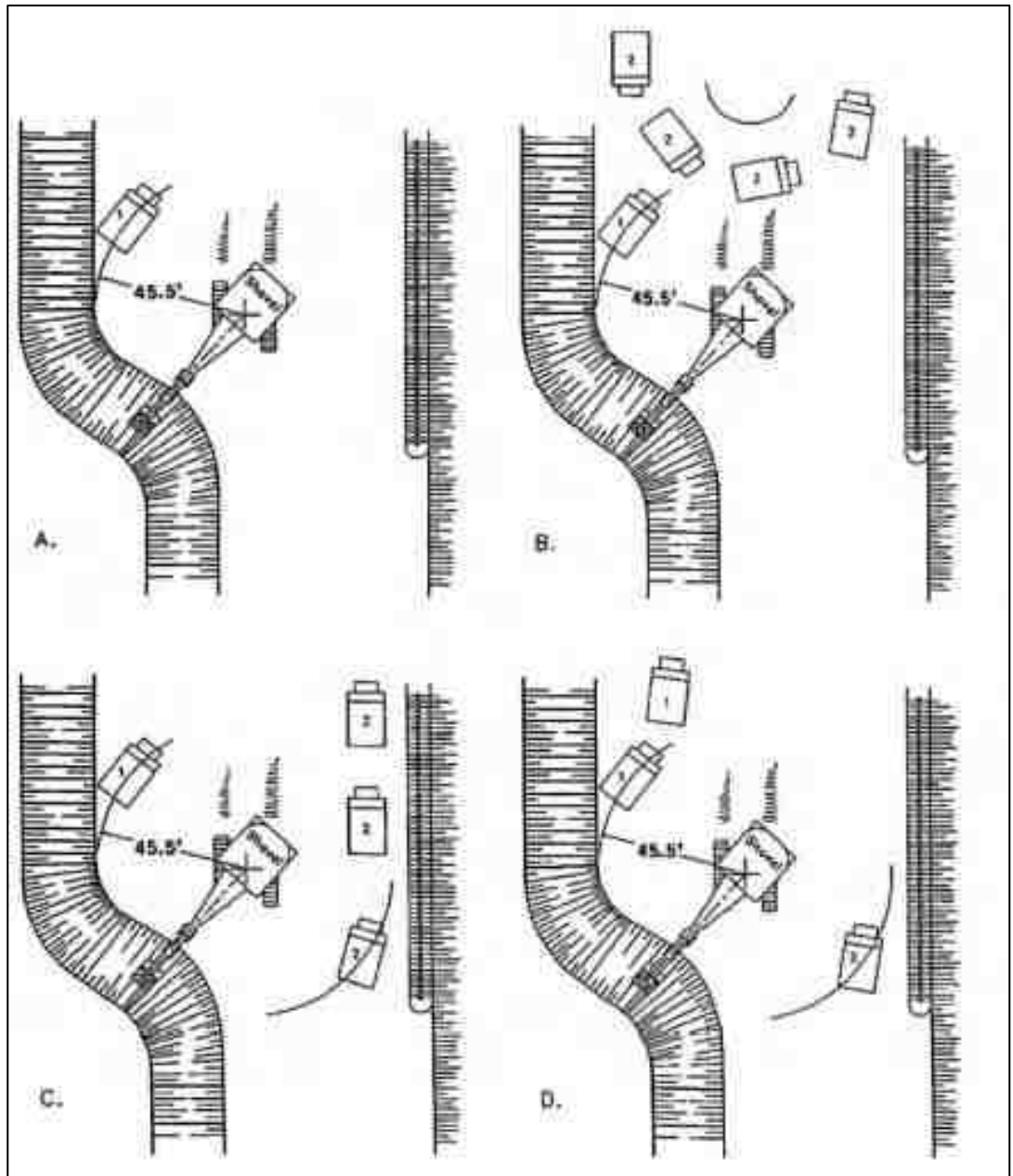


FIGURA 2- 35. Secuencia de minado en corte paralelo en ambos lados

Fuente: Open Pit Mine/SME

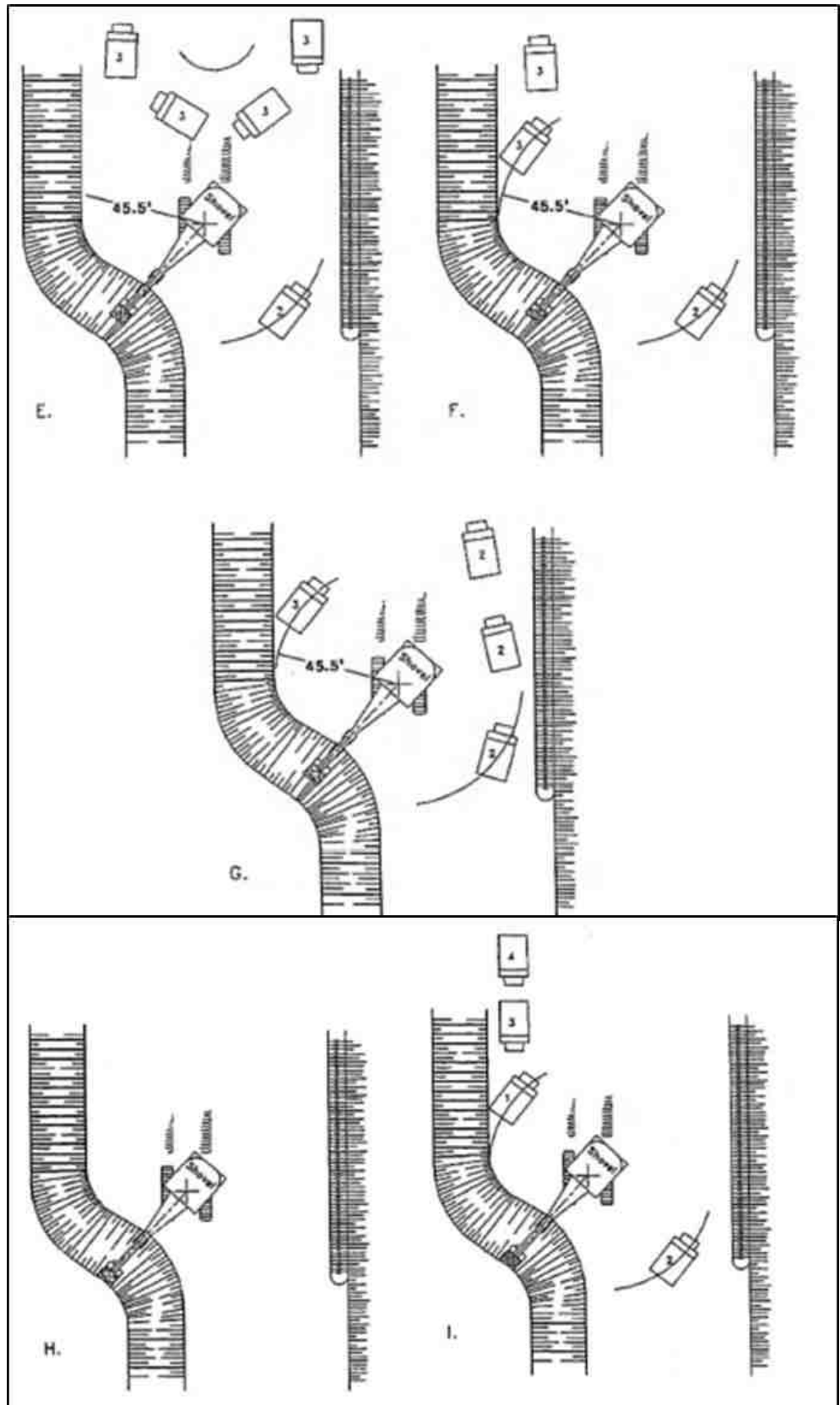


FIGURA 2- 36. Secuencia de minado en corte paralelo en ambos lados

Fuente: Open Pit Mine/SME

### 2.3.14.3. Condiciones Necesarias para Cortes Paralelos

Existen condiciones necesarias para determinar la cantidad de cortes requeridos en el momento de acomodar los camiones y las palas involucradas en la operación de carguío.

La dimensión que se busca es el ancho del banco de trabajo. El banco de trabajo es ese banco en el proceso de ser minado. Este ancho que es sinónimo del término "corte operativo", se define como la distancia desde la cresta del banco que proporciona el piso para las operaciones de carga hasta la punta del banco que se crea cuando se avanza en el corte paralelo. La cantidad mínima de cortes varía dependiendo de si se usa la carga simple o doble de los camiones, y este último obviamente requiere algo más. Esto se expresa como:

$$W_b = S_b + W_c$$

Donde:

$W_b$ : Ancho mínimo

$S_b$ : Ancho del banco de seguridad mínimo

$W_c$ : Ancho del corte

La forma más fácil de mostrar los principios implicados es a modo de ejemplo. Para esto, se harán las siguientes suposiciones:

- Altura del banco = 15m.
- Se requiere una berma segura.



- El espacio libre mínimo entre el neumático exterior del camión y la berma de seguridad = 5 pies.
- Angulo de la cara del banco =  $65^\circ$ .
- La carga se realiza con un cucharón de  $9 \text{ yd}^3$ .
- El transporte es por camión de 85 toneladas de capacidad,
- Ancho del camión = 16 pies.
- Radio de rodadura del neumático = 4 pies.

El arreglo general en el plan y la sección que se muestra en la Figura 2 - 36. El diseño muestra que:

- Ancho del banco de trabajo = 102 pies.
- Ancho de corte = 60 pies.
- Ancho del banco de seguridad = 42 pies.

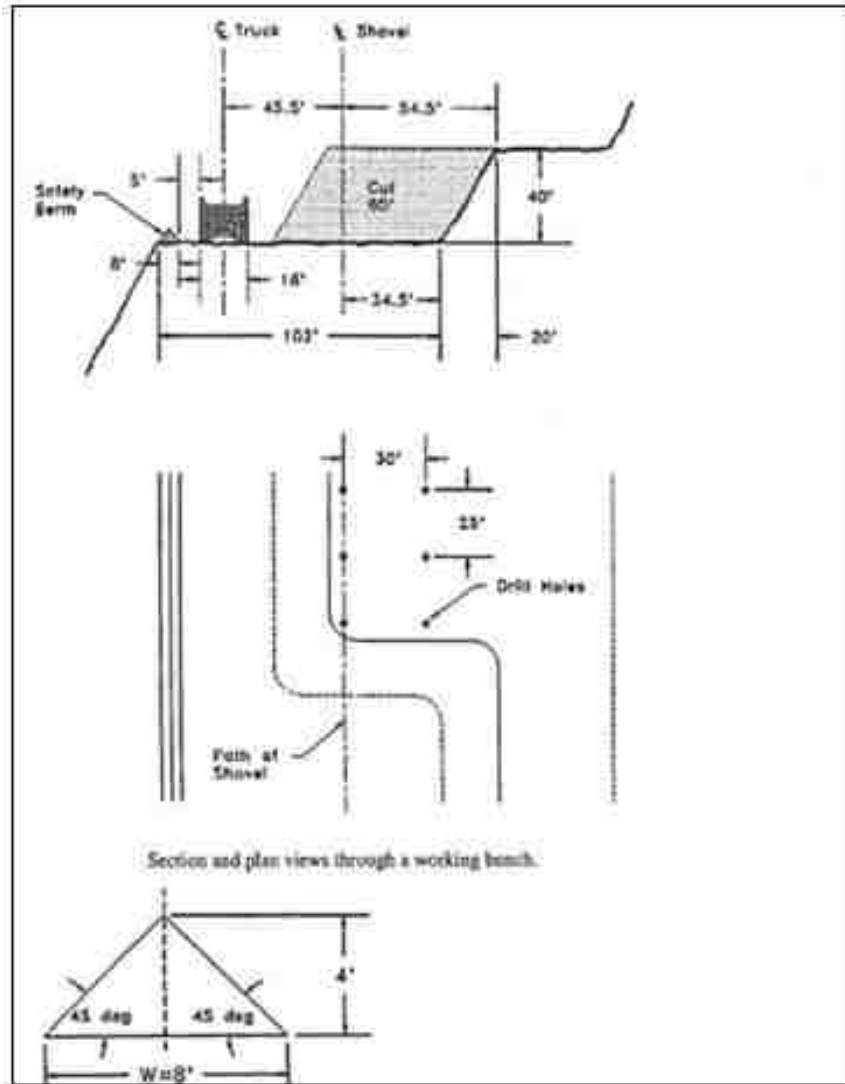


FIGURA 2- 37. Representación simple de una berma de seguridad

Fuente: Open Pit Mine/SME

#### 2.3.14.4.Secuenciamiento de Cortes

Según la Figura 2-37, el proceso comienza con la perforación trabajando en la superficie superior de B1. Los taladros que se tomarán de B1 se perforan y vuelan. La pala se mueve a lo largo del piso del banco B1 (superficie superior de B2) y carga los camiones que también viajan en esta superficie. El banco de trabajo tiene un ancho de 80 m. Cuando se completa el corte que se tomará del banco 2 ahora está perforado y volado. La pala se mueve a lo largo de la parte

superior del banco 3 con un ancho de corte. Una porción del banco 2 permanece como un banco de seguridad. El proceso se repite hasta que se llega al fondo del “pit”. La pala vuelve a subir al banco 1 y el proceso se repite.

Si se supone que la pala puede producir 100,000 toneladas/día, entonces la producción total de estos 4 bancos es de 100,000 toneladas/día. Los cuatro bancos asociados con esta pala se conocen como una unidad de producción minera.

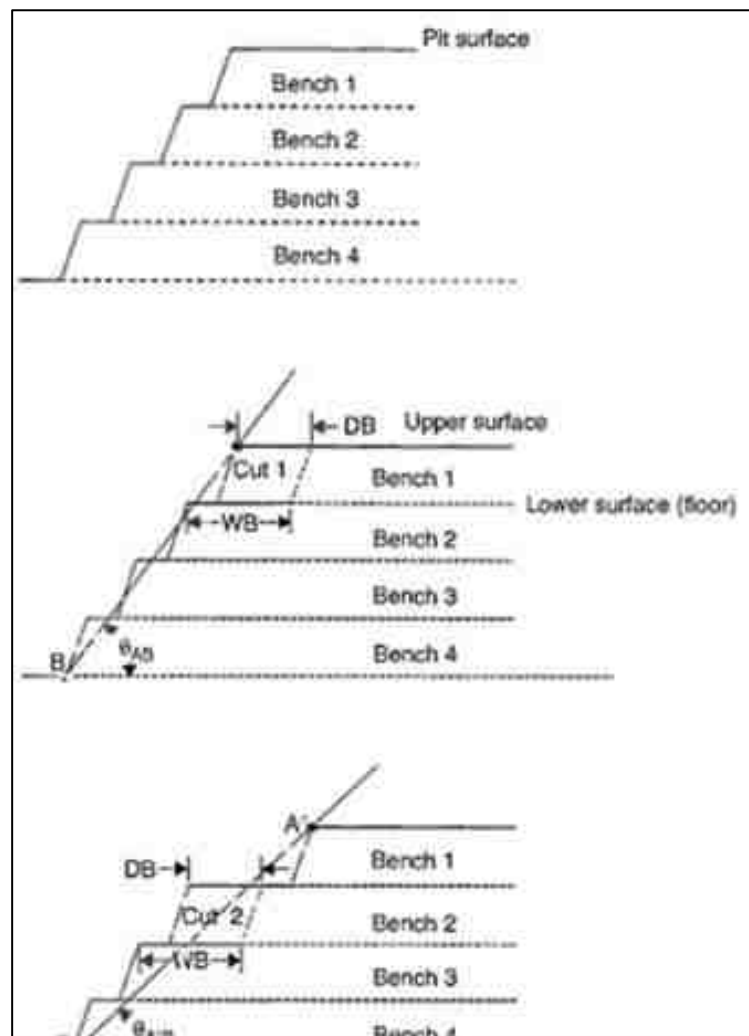


FIGURA 2-38. Cortes por niveles de banco

Fuente: Open Pit Mine/SME

### 2.3.15. Angulo del “Pit”

Hay una serie de pendientes que entran en el diseño del Tajo. Se necesita cuidado para que no haya confusión sobre cómo se calculan y qué significan. Ese es el ángulo de la cara del banco, se define como el ángulo hecho con la horizontal de la línea que conecta el “toe” con la cresta. Ver Figura 2-38.

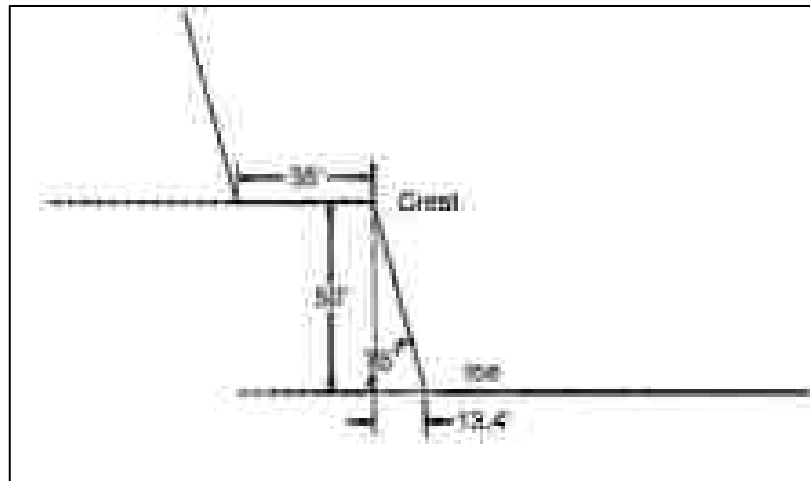


FIGURA 2- 39. Geometría del Angulo del talud

Fuente: Open Pit Mine/SME

### 2.3.16. Rampas y Caminos

Las carreteras son uno de los aspectos más importantes de la planificación a cielo abierto, su presencia debe incluirse al principio del proceso de planificación, ya que pueden afectar significativamente los ángulos de la pendiente y estos tienen un efecto significativo en las reservas. Los ángulos de inclinación total sin las carreteras se pueden usar en los diseños preliminares. Su introducción posterior puede significar grandes cantidades de desbroce no planificado o la esterilización de algunas reservas planificadas. Se puede usar un ángulo de inclinación más plano que incluye la carretera, esto puede ser

demasiado conservador e incluir más pérdidas de lo necesario. Ver Figura 2-39 y Fotografía 2-5, que muestran los caminos iniciales de las rutas de camiones.

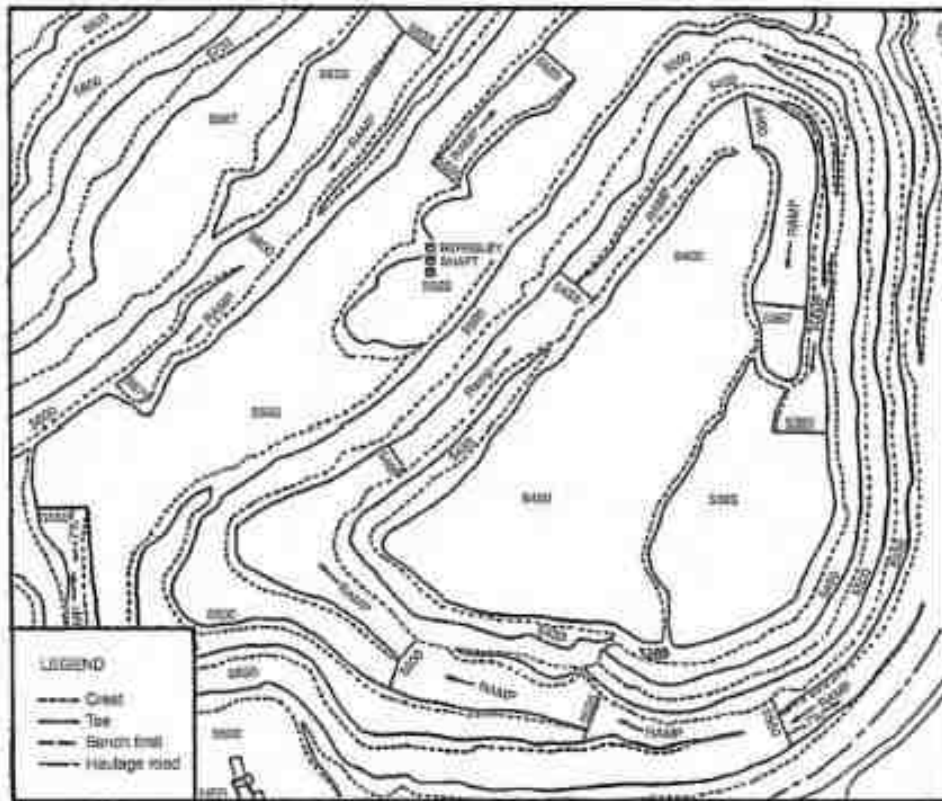


FIGURA 2- 40. Topografía vista en Planta

Fuente: Open Pit Mine/SME



FOTOGRAFIA 2- 5. Caminos Pioneros-Ruta de Camiones

### 2.3.17. “Stripping Ratio”

Considere el cuerpo de mineral que se muestra en la Figura 2-41, que tiene la forma de un cilindro. Aflora en la superficie y se extiende a una profundidad “h”, el volumen del mineral contenido es a lo largo del cilindro.

El ratio de desmonte, o relación estéril a mineral, tiene una importancia trascendental en el diseño y planificación de las minas a cielo abierto, ya que refleja la cantidad de material estéril que es preciso mover para extraer el mineral y, consecuentemente, marca la economía del proceso de extracción. Esta relación se suele expresar en las siguientes unidades: (t/t), ( $m^3/m^3$ ) o ( $m^3/t$ ).

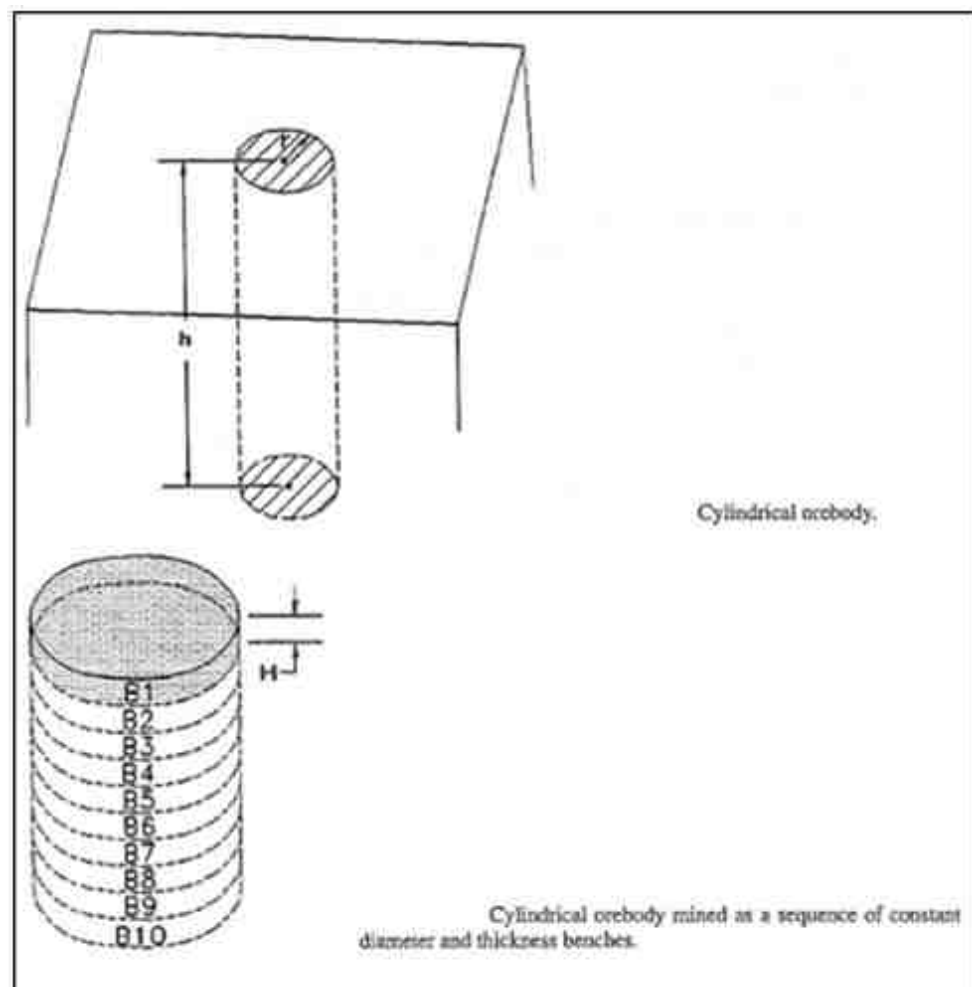


FIGURA 2- 41. Secuencia de minado de un cuerpo cilíndrico de mineral

Fuente: Open Pit Mine/SME

### **2.3.18. Flota Minera**

En minería superficial de mediana a gran escala, el precio principal del equipo de carga de producción es la pala, aunque existen variedades diferentes y se usan palas eléctricas y/o hidráulicas. La flota de equipos de carguío existentes en las Bambas se muestra esquemáticamente en la Tabla 2-8.

TABLA 2- 8. Flota de equipos de Acarreo/Prevision de Equipos

Tajo	Equipment Model		Dec-17
Ferrobamba	<b>Le Torneau LT2350 (LD001)</b>		1
	45.1	Ktpd	20
		Tphr	1,608
	Availability	%	0.81
	Use of Availability	%	0.65
	Operating Efficiency	%	0.95
	Climate Factor	%	0.90
	Le Torneau LT2350 (LD001) Op. Hours	Hrs	<b>393</b>
	<b>CAT 6060S (SH011)</b>		1
	68.8	Ktpd	44
		Tphr	2,641
	Availability	%	0.87
	Use of Availability	%	0.80
	Operating Efficiency	%	0.97
	Climate Factor	%	0.95
	CAT 6060S (SH011) Op. Hours	Hrs	<b>515</b>
	<b>CAT 6060S (SH012)</b>		1
	68.8	Ktpd	44
		Tphr	2,641
	Availability	%	0.87
Use of Availability	%	0.80	
Operating Efficiency	%	0.97	
Climate Factor	%	0.95	
CAT 6060S (SH012) Op. Hours	Hrs	<b>515</b>	
<b>CAT 6060S (SH013)</b>		1	
68.8	Ktpd	44	
	Tphr	2,641	
Availability	%	0.87	
Use of Availability	%	0.80	
Operating Efficiency	%	0.97	
Climate Factor	%	0.95	
CAT 6060S (SH013) Op. Hours	Hrs	<b>515</b>	
<b>CAT 7495HR (SH001)</b>		1	
122.4	Ktpd	82	
	TPH	4,698	
Availability	%	0.88	
Use of Availability	%	0.82	
Operating Efficiency	%	0.97	
Climate Factor	%	0.95	
CAT 7495HR (SH001) Op. Hours	Hrs	<b>539</b>	
<b>CAT 7495HR (SH002)</b>		1	
122.4	Ktpd	82	
	TPH	4,698	
Availability	%	0.89	
Use of Availability	%	0.82	
Operating Efficiency	%	0.97	
Climate Factor	%	0.95	
CAT 7495HR (SH002) Op. Hours	Hrs	<b>541</b>	
<b>P&amp;H 4100XPC (SH003)</b>		1	
122.4	Ktpd	83	
	Tphr	4,698	
Availability	%	0.89	
Use of Availability	%	0.82	
Operating Efficiency	%	0.97	
Climate Factor	%	0.95	
P&H 4100XPC (SH003) Op. Hours	Hrs	<b>545</b>	
<b>P&amp;H 4100XPC (SH004)</b>		1	
122.4	Ktpd	81	
	Tphr	4,698	
Availability	%	0.88	
Use of Availability	%	0.82	
Operating Efficiency	%	0.97	
Climate Factor	%	0.95	
P&H 4100XPC (SH004) Op. Hours	Hrs	<b>537</b>	

Fuente: "Forecast" Las Bambas 2017



TABLA 2- 9. Flota de equipos de Acarreo/Prevision de Equipos

Ferrobamba	<b>Komatsu 930E</b>		44
	Availability	%	0.89
	Use of Availability	%	0.91
	Komatsu 930E Op. Hours	Hrs	<b>26,459</b>
	<b>CAT 797</b>		9
	Availability	%	0.89
	Use of Availability	%	0.88
	CAT 797 Op. Hours	Hrs	<b>5,244</b>

Fuente: "Forecast" Las Bambas 2017

TABLA 2- 10. Flota de perforadoras/Prevision de Equipos

Ferrobamba	<b>P&amp;H 250XP-ST (TD001)</b>		
	Availability	%	0.68
	Use of Availability	%	
	P&H 250XP-ST (TD001) Op. Hours	h	
	<b>P&amp;H 320XPC (TD008)</b>		1
	Availability	%	0.90
	Use of Availability	%	0.70
	P&H 320XPC (TD008) Op. Hours	h	<b>471</b>
	<b>P&amp;H 250XPC (TD002)</b>		1
	Availability	%	0.70
	Use of Availability	%	0.75
	P&H 250XPC (TD002) Op. Hours	h	<b>391</b>
	<b>PV 351 (TD009)</b>		1
	Availability	%	0.89
	Use of Availability	%	0.72
	PV 351 (TD009) Op. Hours	h	<b>477</b>
	<b>P&amp;H 320XPC (TD003)</b>		1
	Availability	%	0.90
	Use of Availability	%	0.70
	P&H 320XPC (TD003) Op. Hours	h	<b>471</b>
	<b>P&amp;H 320XPC (TD004)</b>		1
	Availability	%	0.90
	Use of Availability	%	0.75
	P&H 320XPC (TD004) Op. Hours	h	<b>505</b>
	<b>CAT MD6040 (TD005)</b>		1
	Availability	%	0.90
	Use of Availability	%	0.70
	CAT MD6040 (TD005) Op. Hours	h	<b>469</b>
	<b>CAT MD6040 (TD006)</b>		1
	Availability	%	0.90
	Use of Availability	%	0.70
	CAT MD6040 (TD006) Op. Hours	h	<b>469</b>
	<b>CAT MD6040 (TD007)</b>		1
Availability	%	0.92	
Use of Availability	%	0.70	
CAT MD6040 (TD007) Op. Hours	h	<b>481</b>	
<b>DR560 (TD011)</b>		1	
Availability	%	0.86	
Use of Availability	%	0.50	
DR560 (TD011) Op. Hours	h	<b>320</b>	
<b>DR560 (TD012)</b>		1	
Availability	%	0.85	
Use of Availability	%	0.50	
DR560 (TD012) Op. Hours	h	<b>317</b>	

Fuente: "Forecast" Las Bambas 2017

### 2.3.18.1.P&H 4100XPC

Para las palas de P & H, el eje del cargador y la multitud de piñones todavía se usan en roca, pero una manivela de balancín reemplaza al balancín. Las palas de oruga tienen un balancín y carecen de un eje de envío.

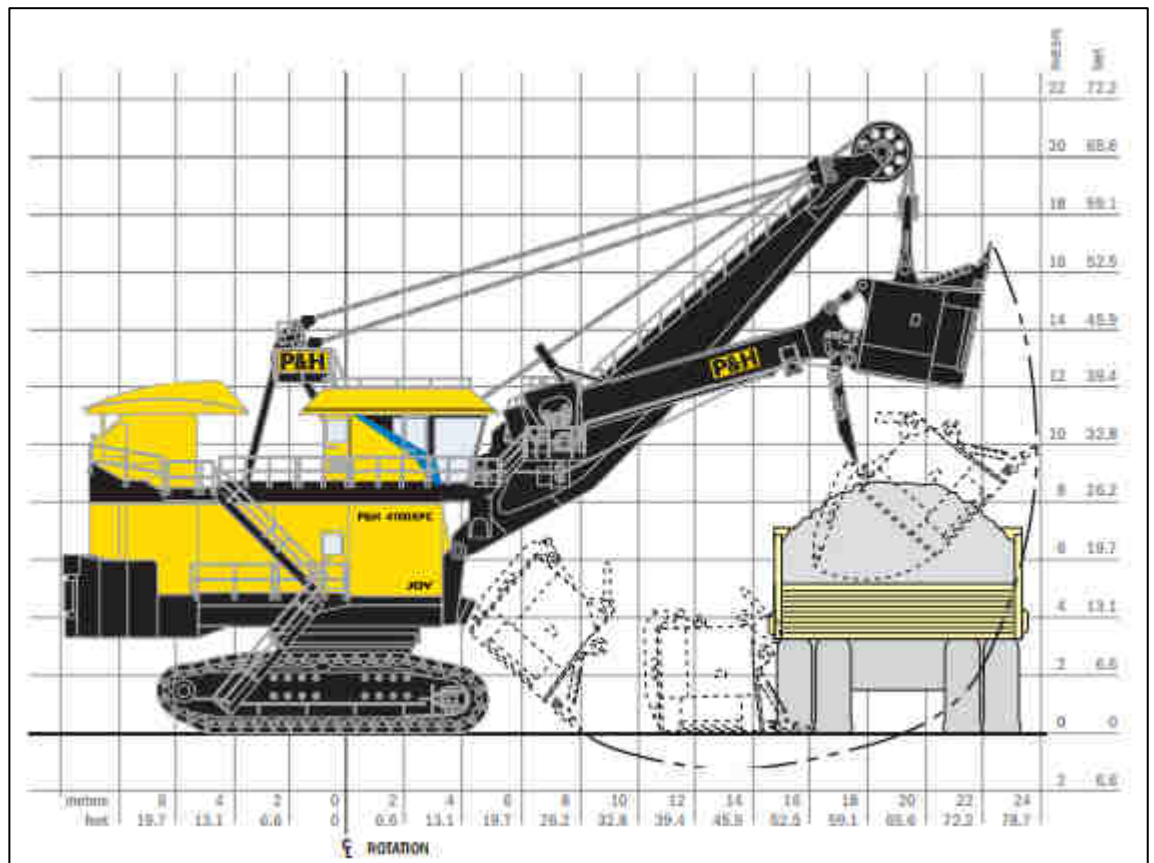


FIGURA 2- 42. Pala eléctrica P&H 4100XPC

Fuente: Manual de equipos P&H

El elemento de excavación de una pala mecánica es un cucharón unido a un mango. El labio del cucharón, el filo principal, está unido al frente del cucharón y está equipado con dientes reemplazables, el mango está conectado a la parte posterior del cucharón, el fondo del cucharón es una puerta con bisagras y tiene un pestillo para descargar los contenidos.

Toda la máquina generalmente se monta en un sistema de rastreadores. Los rastreadores son interminables cinturones de enlaces articulados o unidos entre sí, permiten la movilidad y el posicionamiento de la máquina con respecto al banco, la dirección puede lograrse accionando una correa y bloqueando la correa opuesta, las acciones son:

- Izaje.
- Clavado.
- Giro.
- Descarga.
- Impulso.

Aunque hay varios sistemas disponibles para impulsar palas, este capítulo se centrará por completo en los alimentados eléctricamente a través de un cable posterior, aunque la dependencia del cable posterior limita en cierto modo la movilidad, se puede facilitar el manejo del cable posterior mediante el uso de carretillas especiales de manipulación de cables. Para secciones aisladas del “Pit”, se pueden emplear unidades de potencia diesel-eléctricas montadas sobre patines, el consumo de energía está entre 0.2 y 0.45 kwh por yarda cúbica de banco del material movido. Las ventajas de la potencia del cable eléctrico se consideran:

- Utilización eficiente de la energía.
- Confiabilidad del sistema.
- Equipo de control simple.
- Funciones y personalización.



La P&H 4100XPC está construido con varias características para mejorar la seguridad, fiabilidad y productividad durante el ciclo de vida de la operación.

- Sistemas de lubricación automática y aire comprimido con avanzado diagnóstico y control.
- Sistema de monitoreo de temperatura para todos los motores, cojinetes del eje del tambor, rodamientos del eje del cargador.
- Sistema de ajuste suave del brazo automático (ABSS) y perfil del brazo sobre de protección para ayudar a evitar la carga excesiva en el accesorio durante la operación.
- Sistema Anti-Swing-in-Bank para reducir la carga lateral excesiva en el mango y archivo adjunto.
- Cabestrante de control de polipasto remoto y cabestrante de cable de elevación para ayudar en la seguridad y cambios de cuerda eficientes.
- Sistema de presurización de la casa para proporcionar aire filtrado para enfriamiento y evacuación de polvo.

La pala tiene múltiples opciones para condiciones locales y específicas de la minería en las siguientes áreas:

- Control climático.
- Tecnología y “software”.
- Sistemas de mantenimiento.



En la Tabla 2-11 se dan las especificaciones de trabajo de la pala P&H 4100 XPC y en la Tabla 2-12 el consumo de energía eléctrica requerida. Asimismo, en la Figura 2-40, presentamos las dimensiones del equipo y la Fotografía 2-6, la pala en operatividad.

TABLA 2- 11. Especificaciones de trabajo y Capacidad P&H4100XPC

Working ranges			Capacity		
Height of cut	16.8 m	55 ft. 2 in.	Nominal payload*	99.8-108.9 mt	120 st
Radius of cut	23.9 m	78 ft. 8 in.	Nominal dipper capacity		
Dumping height* (door open)	9.5 m	31 ft. 0 in.	SAE struck	52.8-61.2 m <sup>3</sup>	69-82 yd <sup>3</sup>
Floor level radius	16.0 m	52 ft. 6 in.	SAE 2:1	58.3-67.6 m <sup>3</sup>	74.4-88.4 yd <sup>3</sup>
Tail swing radius	9.8 m	32 ft. 3 in.	Rated suspended load	195 mt	215 st
Operator eye level	10.1 m	33 ft. 1 in.	Optimum truck size (400 st truck shown)	218-363 mt	240-400 st
*Height shown with bail-type dipper. Heights will be greater with bail-less or compact-bail dippers. Actual dumping height can be greater than door clearance height.			*Payload and dipper capacity are dependent on many factors. Contact Joy Global for an analysis of your specific application.		

Fuente: Manual de equipos P&H

TABLA 2- 12. Consumo de energía P&H4100XPC

Power requirements		
Supply Voltage*	7200 or 13800V 3 Phase, 60 Hz	6000, 6600, 7200 or 11000 3 Phase, 50 Hz
Supply Transformer	(Minimum) 3750 kVA	
Minimum Short Circuit VA Available at Shovel	30 MVA	
*Voltage per customer requirements		

Fuente: Manual de equipos P&H

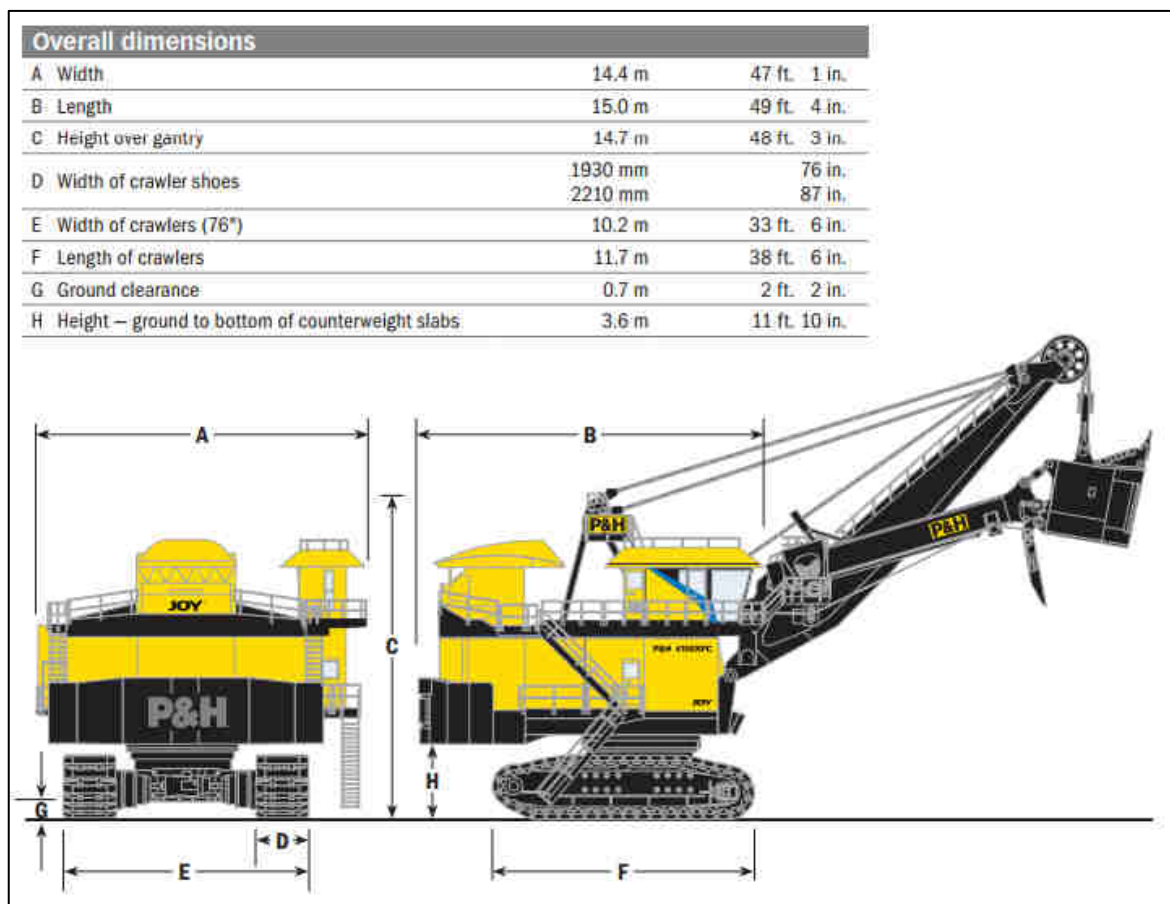


FIGURA 2- 43. Dimensiones de P&H4100XPC

Fuente: Manual de equipos P&H



FOTOGRAFIA 2- 6. Pala N° 03 P&H4100XPC

### 2.3.18.2.CAT 7495HR

Las palas eléctricas han tenido éxito en la remoción de materiales en sitios de minería de todo el mundo durante más de un siglo. Impulsados por la visión de hacer que estas máquinas altamente productivas, sean más seguras y confiables e incluso más productivas, se fabricó la pala eléctrica que funciona mejor, con comandos de las características siguientes:

- Sistema probado de mando eléctrico CA IGBT.
- Un sistema más sencillo.
- Un sistema más seguro.
- Un sistema sólido.
- Cabina y estación del operador de última generación que ofrece mayor comodidad.
- Rendimiento mejorado.
- Mejor seguridad.
- Mejor capacitación.
- Mayor confiabilidad.

Cada cual ofrece un rendimiento extraordinario y alta confiabilidad; puede elegir cualquiera de los dos sistemas de ataque. La cuerda de ataque tradicional es un diseño probado, que ha demostrado su confiabilidad en sitios de minería de todo el mundo durante tres cuartos de siglo. El innovador “HydraCrowd” va un paso más allá, al permitir que el mantenimiento sea más predecible y prolongar la producción de la pala eléctrica.

Para prolongar la vida útil y en última instancia reducir los costos de mantenimiento, todas las estructuras principales de las palas de cuerda están



diseñadas en función de su durabilidad y confiabilidad. El rendimiento prolongado ante condiciones de minería adversas que enfrenta a diario se logra gracias a la selección de aceros y piezas fundidas de alta resistencia, acoplados y con tratamiento térmico de alivio de esfuerzos, que crean un revestimiento confiable apto para una de las herramientas de carga más productivas de la industria.

- Fabricado con acero de alta resistencia a climas fríos y a los impactos para aumentar la resistencia y durabilidad.
- Soldaduras perfiladas y alisadas de máxima penetración en las principales uniones.
- Inspecciones MT, UT y con rayos X en algunas soldaduras para asegurar la calidad.
- Las estructuras completas cuentan con alivio de esfuerzo para evitar las fisuras.
- Las bocas de inspección y escaleras instaladas en fábrica facilitan la inspección.
- Interiores pintados de blanco para facilitar la inspección de fisuras.

La Tabla 2-13 y 2-14, se dan las especificaciones de los sistemas eléctricos de impulso, peso y dimensiones del equipo CAT7495HR y adicionalmente en la Tabla 2-15, se da las dimensiones de trabajo, la Fotografía 2-7, se muestra en equipo en operatividad.

TABLA 2- 13. Especificaciones Sistema eléctrico CAT7495HR

<b>Sistema eléctrico: con HydraCrowd</b>	
<b>Mando</b>	
Sistema de mando Acutrol IGBT	
<b>Requisitos de potencia</b>	
Voltaje	3 fases, 50/60 Hz, 7.200 V
Demanda promedio cada 15 minutos	945 a 1.322 kW
Potencia máxima	3.778 kW
<ul style="list-style-type: none"> <li>Otras opciones de voltaje disponibles para adaptarse a los requisitos del cliente</li> </ul>	
<b>Requisitos del sistema de distribución</b>	
Máquina en sistema separado	4.000 kVA
<b>Sistemas eléctricos principales</b>	
Voltaje del sistema (nominal)	50/60 Hz, 7.200 V
Cable de trayectoria (proporcionado por el cliente)	SHD-3-#1/0 a 8.000 V
Transformador auxiliar	350 kVA, 7.200 V principal
Transformador de iluminación	2 a 25 kVA 120/240 V secundario
<b>Luces</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Luces HPS en los pies de la pluma, parte superior del bastidor A, caja de maquinaria, recinto de lubricación recinto de control, recinto de servicios y reflectores.</li> <li>Luces incandescentes en las luces de tierra, pasarelas y la cabina del operador.</li> </ul>	

Fuente: Manual de equipos CAT

TABLA 2- 14. Especificaciones de Peso y Dimensiones CAT 7495HR

<b>Dimensiones: con HydraCrowd</b>		
Carga útil de la draga (cargas útiles disponibles de hasta 109 tons métricas [120 tons EE.UU.] cuando se especifica)	100 tons métricas	110 tons EE.UU. métricas
Capacidad de la draga	30,6 a 61,2 m <sup>3</sup>	40 a 80 yd <sup>3</sup>
Largo de la pluma	20,4 m	67'
Longitud real de la manija de la draga	10,9 m	35' 10"
Longitud total de la manija de la draga	14,3 m	47'
<b>Pesos: con HydraCrowd</b>		
Peso de trabajo, con draga y varillaje estándar	1.442.274 kg	3.179.670 lb
Peso neto, interno, sin lastre ni draga	1.059.056 kg	2.334.820 lb
Draga de uso general: 56 m <sup>3</sup> (73 yd <sup>3</sup> )	80.603 Kg	177.700 lb
Lastre (proporcionado por el cliente)	302.614 kg	667.150 lb
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estos pesos varían ligeramente según la draga y los equipos optativos.</li> </ul>		

Fuente: Manual de equipos CAT

TABLA 2- 15. Dimensiones de trabajo para CAT 7495HR

Alcances de trabajo óptimos		
<b>1</b>	Altura de descarga	10,06 m 33'
<b>2</b>	Altura de descarga con límite máximo de avance eléctrico	8,61 m 28' 3"
<b>3</b>	Radio máximo de descarga	21,64 m 71'
<b>4</b>	Altura máxima de corte	17,8 m 58' 5"
<b>5</b>	Radio máximo de corte	25,2 m 82' 8"
<b>6</b>	Radio del nivel del piso	17,47 m 57' 4"
<b>7</b>	Altura del espacio libre (plumas de punto de polea)	20,87 m 68' 6"
<b>8</b>	Radio del espacio libre (plumas de punto de polea)	19,65 m 64' 5"
<b>9</b>	Radio máximo de espacio libre (bastidor rotatorio)	9,34 m 30' 8"
<b>10</b>	Espacio libre bajo el bastidor (al suelo)	3,76 m 12' 4"
<b>11</b>	Altura del bastidor en A	14 m 46'
<b>12</b>	Ancho total	13,96 m 46' 1"
<b>13</b>	Espacio libre bajo el punto más bajo en el bastidor del camión o caja de engranajes de propulsión	0,90 m 2' 11,5"
<b>14</b>	Nivel de la visión del operador	10,61 m 34' 10"

Fuente: Manual de equipos CAT



FOTOGRAFIA 2- 7. Pala N° 01 CAT 7495

### 2.3.18.3. CAT 6060S

La pala hidráulica para minería más popular de Cat, es el modelo 6060FS, ofrece un cucharón de  $34 \text{ m}^3$  ( $44,5 \text{ yd}^3$ ) adaptado para camiones de 218 a 227 toneladas métricas (240 a 250 tons EE.UU.) de carga de paso cuádruple, como los modelos Cat 793D, 793F y MT4400D AC. El modelo 6060FS facilita mayores velocidades de trabajo mediante su potente salida de motor y su sofisticado sistema hidráulico y permite tiempos de ciclo rápidos y alta productividad. La opción de mando eléctrico (AC/6060 AC FS) ofrece un costo total de propiedad, incluso más bajo.

Comprendemos los desafíos que deben enfrentar, la importancia de la fiabilidad y la relación entre la disponibilidad y la productividad. Es por eso

que los fabricantes se esfuerzan continuamente en producir las palas hidráulicas para minería, fiables y productivas posibles. Gracias a que ofrecen la gama de carga útil más amplia en comparación con cualquier fabricante en la industria, además de la capacidad de combinación con la popular línea de camiones mineros y el respaldo de la red de distribuidores Cat de clase mundial, por lo que se tiene una posición privilegiada para asociarse y lograr las metas altas de productividad. Las palas hidráulicas se construyen por los fabricantes para atender las necesidades en la minería, cada día importa y cada carga cuenta.

Según los fabricantes, cumplen con las necesidades específicas de su lugar de trabajo con una selección de opciones sólidas de sistema de mando, al permitir la opción de seleccionar el sistema de mando más apropiado para su operación, el modelo Cat 6060FS puede equiparse con dos motores diesel para una mayor movilidad o con un mando eléctrico para mejorar la eficiencia. • Motores Cat 3512C, duraderos y comprobados, los Motores Cat 3512C, que ofrecen un rendimiento y durabilidad sin igual, están probados para resistir las exigentes condiciones que se encuentran en las minas de todo el mundo. Con una salida de alta potencia, fiabilidad comprobada y una excelente eficiencia del combustible, los Motores 3512C mantienen su herramienta principal de carga principal en producción, mientras que mantienen los costos de operación bajos para que su negocio se mantenga rentable. Sistema eficiente de mando eléctrico del modelo AC/6060 AC FS. Al entregar una alternativa de menor costo por tonelada a las palas hidráulicas para minería impulsadas por diesel, la opción de mando eléctrico mantiene la solidez que necesita y ofrece una mayor

disponibilidad debido a que no se necesita reabastecimiento ni más servicio. El modelo AC/6060 AC FS es la solución ideal para las operaciones que no requieren una gran cantidad de movilidad y en las que se valora un modelo de bajo costo por tonelada.

Mantener la productividad y garantizar la seguridad de los operadores, incluso durante la pérdida de un solo motor. Se dará cuenta de una mayor seguridad, un mayor tiempo de funcionamiento, una mayor productividad y una mejor facilidad de servicio como resultado del concepto de doble motor.

Menor desgaste y desgarramiento en los componentes de la oruga con una extensión de la vida útil de la cadena y una mejora de la fiabilidad total de la máquina, los trenes de rodaje están diseñados con un amplio uso de análisis de elementos finitos, las estructuras de acero se han optimizado, los motores de desplazamiento están bien protegidos por las placas de cubierta y por las cubiertas con puerta con bisagras, y se cuenta con una exclusiva cadena sólida que incorpora un diseño de soporte combinado - eslabón. Se amplía aún más la vida útil de la cadena, gracias a un avanzado sistema de tensión de la cadena con acumulador de membrana que adapta automáticamente la tensión de las cadenas, según las condiciones de operación. La Figura 2-44, muestra un equipo con la altura máxima de carga.



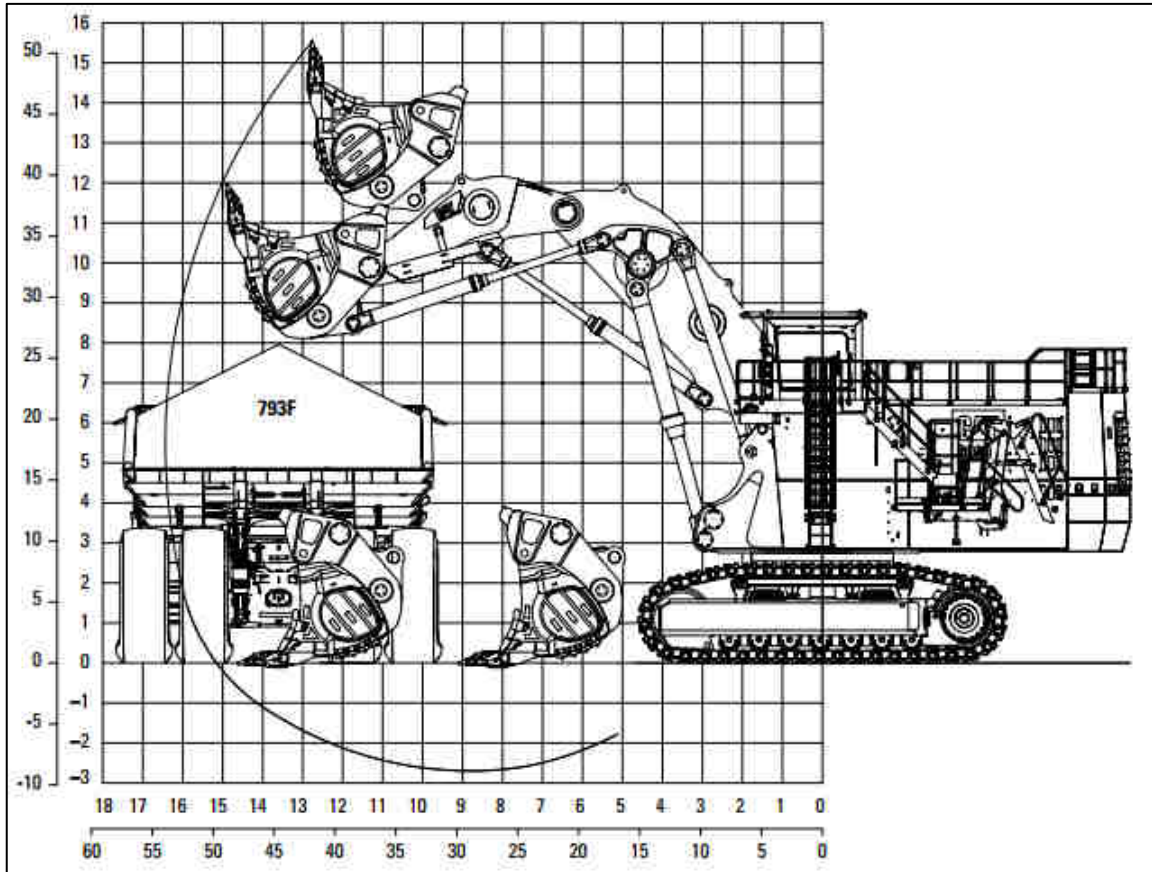


FIGURA 2- 44. Altura máxima de cargado CAT6060S

Fuente: Manual de equipos CAT6060S

En las Tablas siguientes 2-16 y 2-17, se muestran los datos generales del equipo CAT6060 y las especificaciones de potencia respectivamente. Asimismo, en la Fotografía 2-8, se tiene una vista del equipo en la zona de carguío.

TABLA 2- 16. Datos generales CAT6060S

<b>Datos generales</b>		
<b>Peso en orden de trabajo</b>		
Pala frontal	569 toneladas métricas	627 tons EE.UU.
Retroexcavadora	570 toneladas métricas	628 tons EE.UU.
<b>Salida del motor SAE J1995</b>		
Cat 3512C	2,240 kW	3,000 hp.
<b>Capacidad del cucharón estándar</b>		
Pala frontal (colmada de 2:1)	34,0 m <sup>3</sup>	44,5 yd <sup>3</sup>
Retroexcavadora (colmada de 1:1)	34,0 m <sup>3</sup>	44,5 yd <sup>3</sup>

Fuente: Manual de equipos CAT6060S

TABLA 2- 17. Especificaciones de potencia CAT6060S

<b>Motores diesel</b>		
Marca y modelo	2 × Cat 3512C (Tier 2)	
Potencia nominal neta total ISO 3046/1	2,240 kW 1.800 min <sup>-1</sup>	3,000 hp 1.800 min <sup>-1</sup>
Potencia neta nominal total SAE J1349	2,240 kW 1.800 min <sup>-1</sup>	3,000 hp 1.800 min <sup>-1</sup>
Potencia bruta nominal total SAE J1995	2,240 kW 1.800 min <sup>-1</sup>	3,000 hp 1.800 min <sup>-1</sup>
Número de cilindros (cada motor)	12	
Calibre	170 mm	6,69"
Carrera	215 mm	8,46"
Cilindrada	58,6 L	3,574 pulg <sup>3</sup>
Aspiración	Con turbocompresor y enfriador del aire a presión	
Altitud máxima sin reducción de potencia a 20 °C (68 °F): sobre el nivel del mar	3,000 m	9,800'
Emissiones	EPA de EE.UU. flexible	
Alternadores	2 × 150 A	
Capacidad del tanque de combustible	13.000 L	3,435 gal EE.UU.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilador del radiador impulsado hidráulicamente con velocidad del ventilador controlada electrónicamente</li> <li>• Administración del motor microprocesada</li> <li>• Filtros de aire de servicio pesado</li> <li>• Filtro de combustible de dos etapas con separador de agua</li> <li>• Separador de agua adicional de alta capacidad</li> </ul>	

Fuente: Manual de equipos CAT6060S



FOTOGRAFIA 2- 8. Pala Hidraulica N° 13 CAT6060S

#### 2.3.18.4. Cargador “LeTourneau” L-2350

El Cargador de Ruedas L-2350 es fabricada por “LeTourneau” y es actualmente el mayor cargador de este tipo que se fabrica en serie en el mundo. Es utilizada principalmente en grandes minas y está especialmente diseñada para trabajar con camiones de carga cuya capacidad llega a las 350 – 400 toneladas, como el Liebherr T 282 B. Se fabrica con dos opciones de motor: La Detroit Diesel serie 4000 y la Cummins OSK60.

En su cucharón caben más de  $40 \text{ m}^3$  ( $53 \text{ yd}^3$  -  $70 \text{ yd}^3$ ) de material y levanta hasta 72 toneladas. Esta máquina diesel-eléctrica lleva un sistema de tracción formado por un motor diesel, generador de corriente alterna y tracción eléctrica por motores en las ruedas, típico del fabricante americano.

El cargador L-2350, del fabricante estadounidense de maquinaria de movimiento de tierras LeTourneau, posee el récord mundial “Guinness de

Biggest Earth Mover”. Diseñado para cargar camiones de carga central con capacidades de hasta 400 toneladas, el L-2350 proporciona una carga útil operativa de 160,000 libras, una altura de elevación de 24 pies y un alcance de 11.5 pies. Joy Global adquirió la compañía en 2011 y agregó P&H a la designación del equipo, que se muestra en la Figura 2-45.

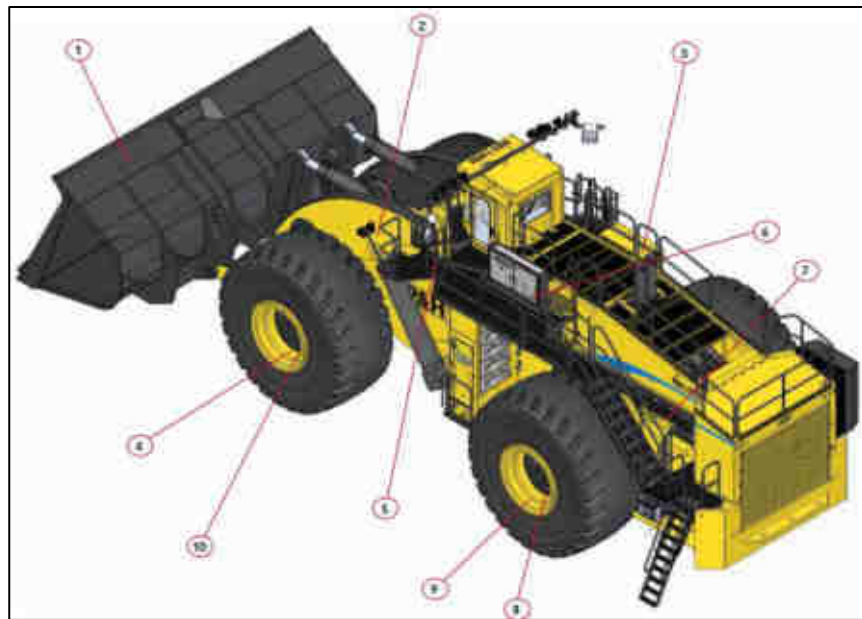


FIGURA 2- 45. Diseño LeTourneau L-2350

Fuente: Manual de equipos LT-2350

1. “Buckets”.
2. “Frame and lift arms”.
3. “Klenz air filtration system”.
4. “Joy SR Hybrid Drive system”.
5. “Ball and socket joints”.
6. “LINCS II digital controls”.
7. “Diesel electric drive constant RPM”.
8. “Hydraulic features”.

9. “Planetary drives”.
10. “Pressurized axle housings”.



FOTOGRAFIA 2- 9. Cargador N° 01 LeTourneau L-2350

#### **2.3.18.5.KOM 930E-4SE**

El camión Komatsu 930E-4SE permitirá a las compañías mineras y contratistas cumplir con sus objetivos de producción al menor costo de acarreo al proporcionar un diseño de alta calidad comprobado, que brinda la disponibilidad líder de la industria.

Un producto final que ha experimentado una evolución continúa en los últimos 25 años y se acerca a las 2000 unidades producidas. El 930E inició el mercado Ultra Class y continúa siendo el líder del mercado.

La integridad estructural desarrollada a través de un riguroso diseño y pruebas es la base probada de los camiones “Komatsu Electric Drive”, se prueba su resistencia al trabajo.

Los equipos con altos niveles de disponibilidad proporcionan la mayor flexibilidad para la utilización del usuario. La alta disponibilidad conduce a:

Planificación más consistente de las actividades de mantenimiento:

- Uso más eficiente de la mano de obra.
- Mejor planificación para la compra de piezas.
- Reducir los costos generales de inventario.
- Evaluación más precisa de la salud general del equipo.
- Pequeños aumentos en la disponibilidad mecánica equivalen a aumentos desproporcionadamente mayores en la producción.
- La alta disponibilidad en una flota de transporte promueve un uso más eficiente de las herramientas de carga.

Específicamente, el 930E-4SE proporciona los tiempos de ciclo más rápidos de la industria para camiones de ultra clase. La velocidad sobre el nivel permite una flota de acarreo reducida y una eficiencia de consumo de combustible improvisada debido a un menor tiempo de pendiente.

El 930E-4SE se debe considerar para la mayoría de las aplicaciones en las que una parte del ciclo de acarreo está en pendiente. Productividad a través de disponibilidad sobresaliente durante toda la vida del activo. En la Figura 2-46 se aprecia las dimensiones de un KOM 930E-4SE, en la Figura 2-47, se observa la dimensión posterior del equipo y la Figura 2-48, las dimensiones delanteras del camión. Igualmente en la Fotografía 2-10, presenta una vista de



la flota de camiones operando en la rampa Jahuapaylla Alta en la unidad minera.

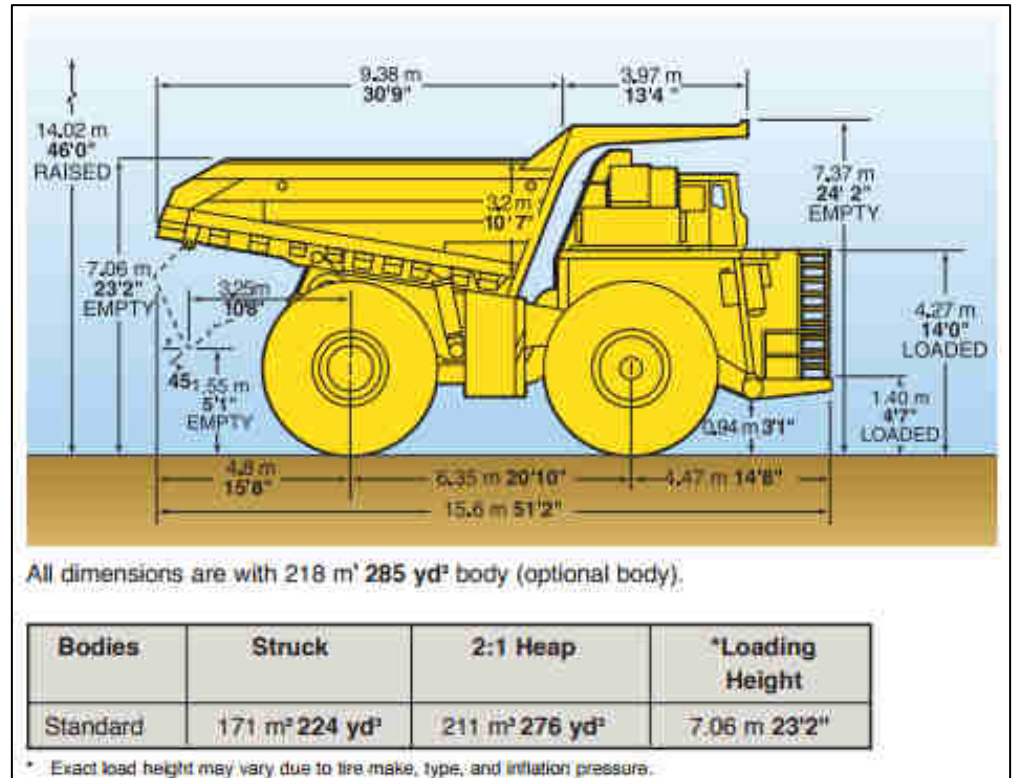


FIGURA 2- 46. Dimensiones KOM 930E-4SE

Fuente: Manual de equipos 930E-4SE

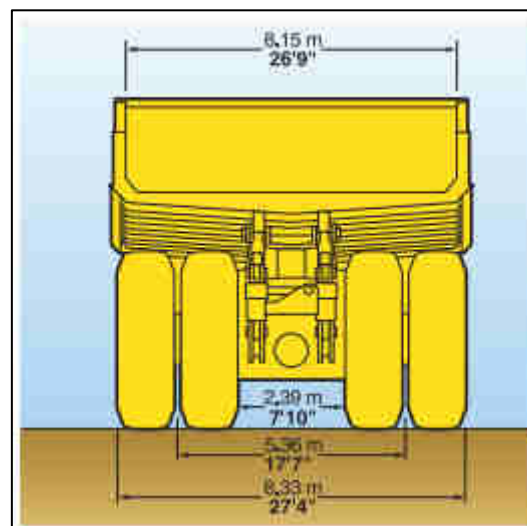


FIGURA 2- 47. Dimensión posterior KOM 930E-4SE

Fuente: Manual de equipos 930E-4SE

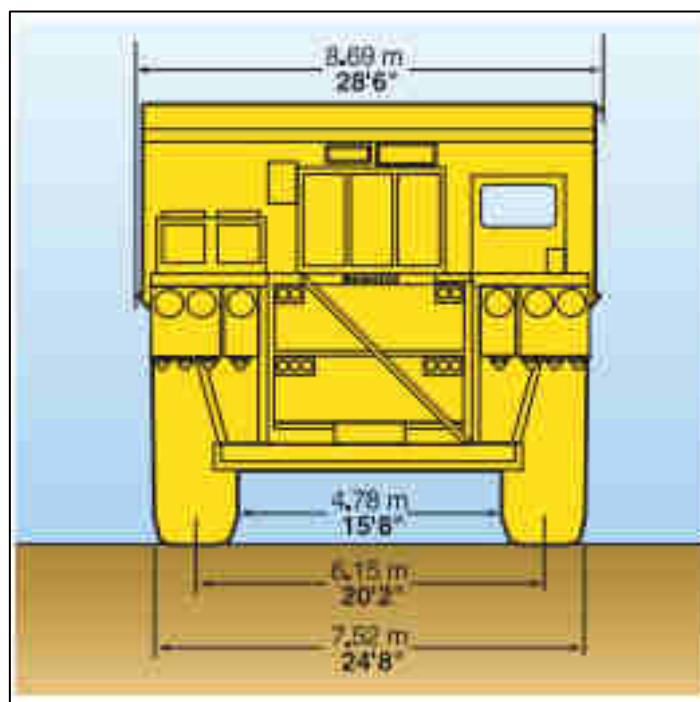


FIGURA 2- 48. Dimensión Delantera KOM 930E-4SE

Fuente: Manual de equipos 930E-4SE



FOTOGRAFIA 2- 10. Camiones 930E-4SE KOM en Rampa Jahuapaylla Alta

### 2.3.18.6. CAT 797F

Ya sea que acarree cobre, carbón, oro, mineral de hierro o desmonte, el 797F proporciona el costo óptimo en su clase por unidad de producción. Incluidos los mejoramientos en seguridad, productividad, capacidad de servicio y comodidad, podrá ver la razón por la cual el modelo 797F es líder de la industria en su clase. Las sugerencias del fabricante combinan las características con el servicio inigualable de respaldo del distribuidor y descubrirá la razón por la cual más compañías mineras eligen los camiones mineros Cat para sus necesidades de producción.

El motor C175-20 de Cat ofrece el balance perfecto entre potencia, diseño robusto y economía. Servotransmisión, la transmisión de siete velocidades de cambios suaves proporciona un desplazamiento cómodo al mismo tiempo que entrega potencia constante, eficiencia del combustible mejorada y rendimiento máximo del tren de fuerza. Los frenos de discos múltiples Cat enfriados por aceite en las cuatro esquinas ofrecen excepcional frenado, sin pérdida de capacidad en todo tipo de camino de acarreo, la variedad de cajas diseñadas y fabricadas por Caterpillar proporcionan rendimiento y fiabilidad óptimos. Cabina de excelente comodidad, los operadores perciben una cabina grande y espaciosa con visibilidad inigualable y comodidad excepcional. Facilidad de servicio mejorada, los puntos de fácil servicio mejorados y la ubicación de los puntos de servicio agrupados, permiten que el camión permanezca más tiempo en los caminos de acarreo. En la Figura 2-49, se presenta las dimensiones y especificaciones técnicas del



CAT 797F y mediante la Tabla 2-18, las velocidades imprimidas y el peso neto del equipo. Igualmente, en la Fotografía, 2-11, se aprecia el imponente equipo.

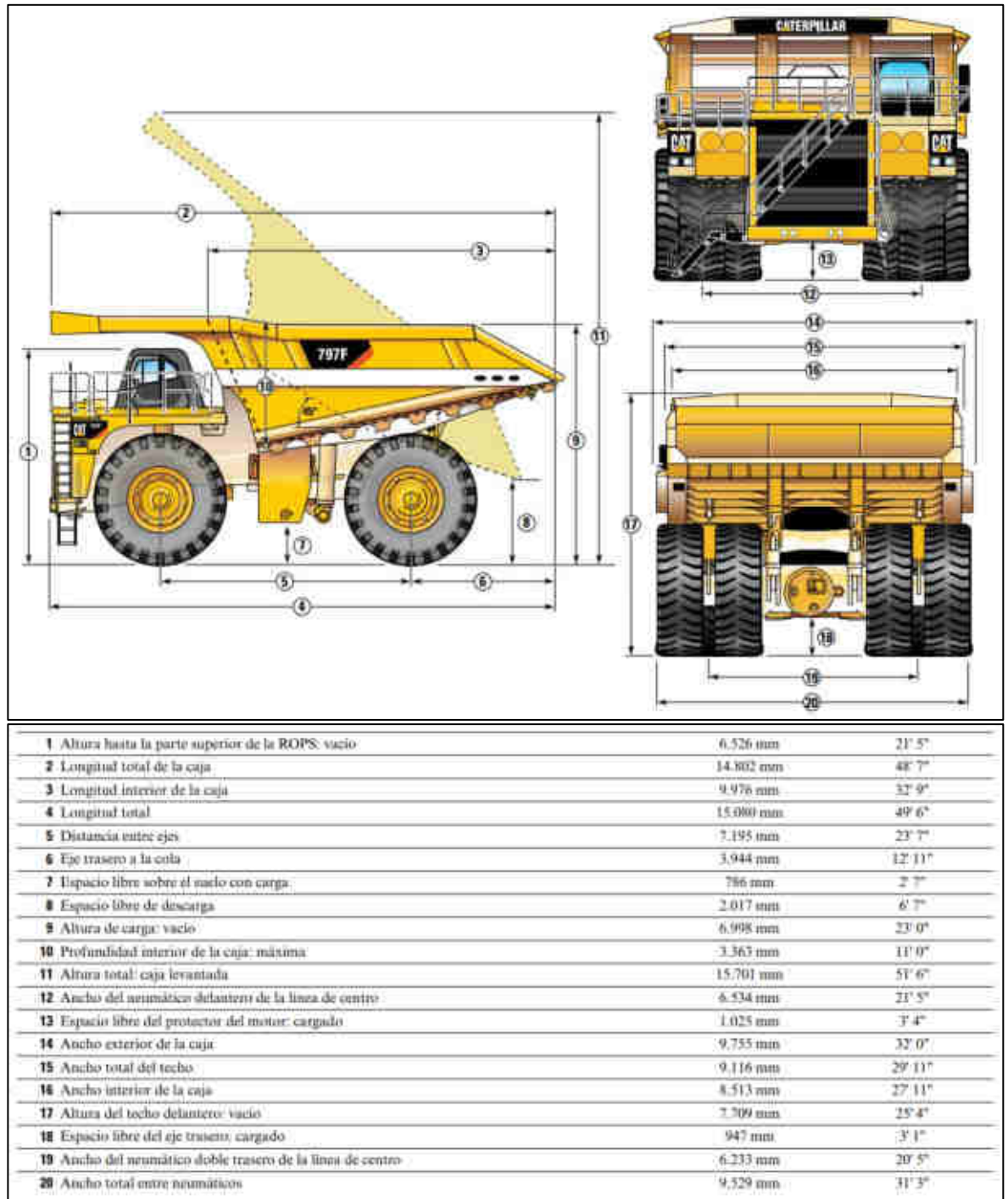
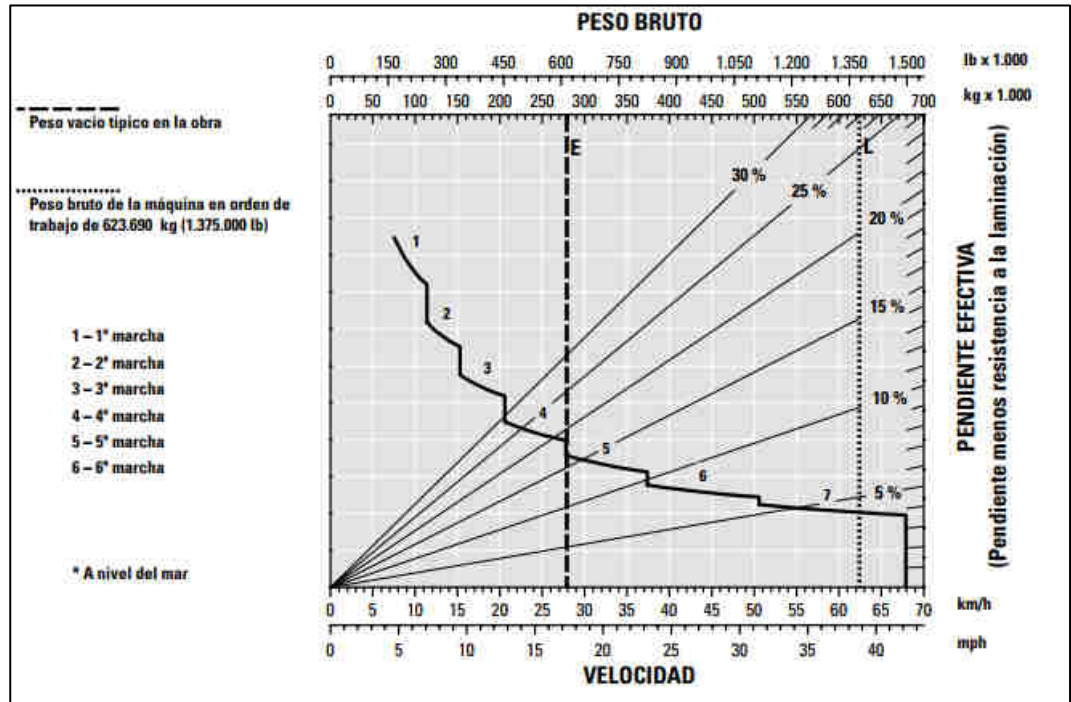


FIGURA 2- 49. Dimensiones/especificaciones CAT 797F

Fuente: Manual de equipos CAT 797F

TABLA 2- 18. Velocidades VS Peso Bruto CAT 797F



Fuente: Manual de equipos CAT 797F



FOTOGRAFIA 2- 11. Camión N° 74 CAT 797F-Zona de entrenamiento

### 2.3.19. Disponibilidad y Utilización de Equipos

Actualmente, el método básico de programación de equipos en la industria minera de superficie es determinar el equipo requerido para mantener el tonelaje deseado y luego programar solo el equipo requerido para realizar el trabajo, en caso de avería, la producción se mantiene cuando la tripulación toma otra máquina en “standby” o simplemente está fuera de servicio. Con el fin de dimensionar adecuadamente la flota de equipos en general, se necesita el conocimiento de una serie de factores relacionados con la disponibilidad y utilización de la máquina, al respecto, se utilizan uno o más de los siguientes términos.

- Disponibilidad.
- Disponibilidad Operacional.
- Disponibilidad Mecánica.

- Disponibilidad Física.
- Utilización.
- Uso de Disponibilidad.
- Eficiencia de Trabajo.
- Eficiencia Laboral.
- Eficiencia Operativa.
- Utilización Efectiva.

El cálculo de horas o minutos útiles se logra aplicando estos factores a varios períodos de tiempo. Expresiones de tiempo tales como:

- Horario programado.
- Horas anuales.
- Horas totales.
- Horas laborales.
- Hora de cambio.
- Horas de funcionamiento.
- Horas de eficiencia.

Puede ser usado, desafortunadamente, hay poca consistencia con la cual se usan la mayoría de estos términos y se calculan sus valores en la industria minera actual. La disponibilidad para una compañía minera puede no tener el mismo significado que para otra empresa minera o para un proveedor de equipos de minería.



### 2.3.19.1. Flujo de Tiempo

En la Figura 2-50, se muestra un diagrama de flujo simple que muestra la distribución del total de horas para el equipo en una operación minera. El flujo se puede representar como una serie de nodos en los que los flujos se dividen en flujos básicamente productivos y no productivos desde un punto de vista de producción. La relación entre el flujo productivo de un nodo y el flujo total hacia el nodo se puede considerar una relación de eficiencia o una eficiencia de nodo, el flujo de tiempo total a cualquier punto dado se puede determinar multiplicando el flujo por las eficacias de los nodos intermedios.

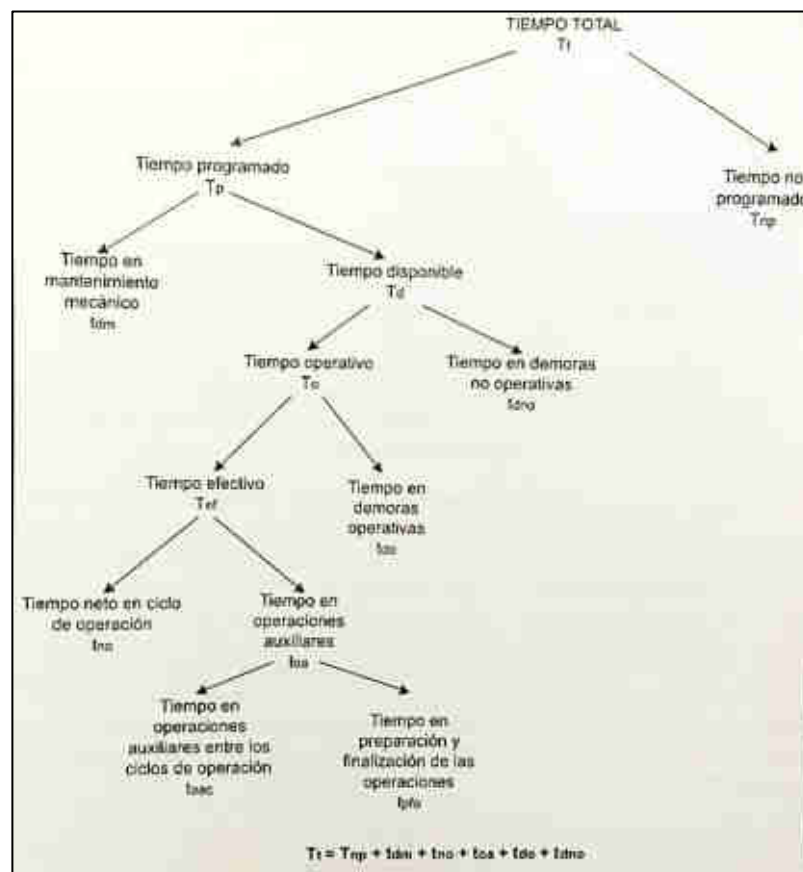


FIGURA 2- 50. Distribución de tiempo total del equipo respecto al proceso productivo

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.19.2. Disponibilidad

Un factor importante en la programación del equipo es la disponibilidad de las diversas unidades, se define como la proporción del tiempo durante el cual la máquina puede realizar la función requerida.

Hay tres diferentes disponibilidades:

- Disponibilidad operacional (o disponibilidad física).
- Disponibilidad mecánica.
- Disponibilidad inherente.

Normalmente se calcula la disponibilidad operacional que es comúnmente utilizado y, a menudo abreviado a la disponibilidad, esto también es muy conveniente para usar en los cálculos. Sin embargo, la disponibilidad más significativa es la disponibilidad mecánica que relaciona las horas de trabajo con el trabajo en horas más las horas de inactividad, si las horas de espera son iguales a cero, las disponibilidades operacionales y mecánicas son iguales.

Se puede ver que la relación no es demasiado sensible al tiempo de espera. Sin embargo, si la disponibilidad operacional es 5% o más por encima de la disponibilidad mecánica (30% de tiempo de espera), se debe utilizar esta última, el uso de disponibilidad mecánica verdadera dará un resultado conservador. En la Tabla 2-19, se presenta la distribución de tiempo.



TABLA 2- 19. Calculo de distribución de tiempo

Calendar Time			
Available:			Not Avail
Operating Time			684.5
Process Loss			
Production Time	Non Production Time	Planned Operational Delay	Unplanned Standby Delay

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.19.3.Utilización

La disponibilidad indica el porcentaje del tiempo que una máquina está siendo utilizada, en realidad, esto se hace a través de “la utilización” o el “uso de la disponibilidad”.

La utilización ofrece una medida de cómo se utilizan eficientemente los equipos disponibles en una operación. Si las relaciones para unidades individuales son bajas, problemas operativos tales como:

- Bajo rendimiento de la máquina.
- Máquina con tarea asignada.
- Máquina ubicada en un área no programada para su uso, podría ser sugerido. por otro lado, podría simplemente reflejar:
  - La necesidad de cubrir un trabajo generalizado.
  - La decisión de retener equipos obsoletos pero útiles como respaldo.

Valores demasiado altos podrían indicar una escasez de equipos o un exceso de operadores, si es el primero, entonces el colapso del equipo podría ocasionar una reducción en el déficit, si es último, el costo laboral resultante por tonelada sería mayor, por lo que puede ser necesario agregar equipo o reprogramar. En la Figura 2-51, se presenta un sistema de control de tiempos.

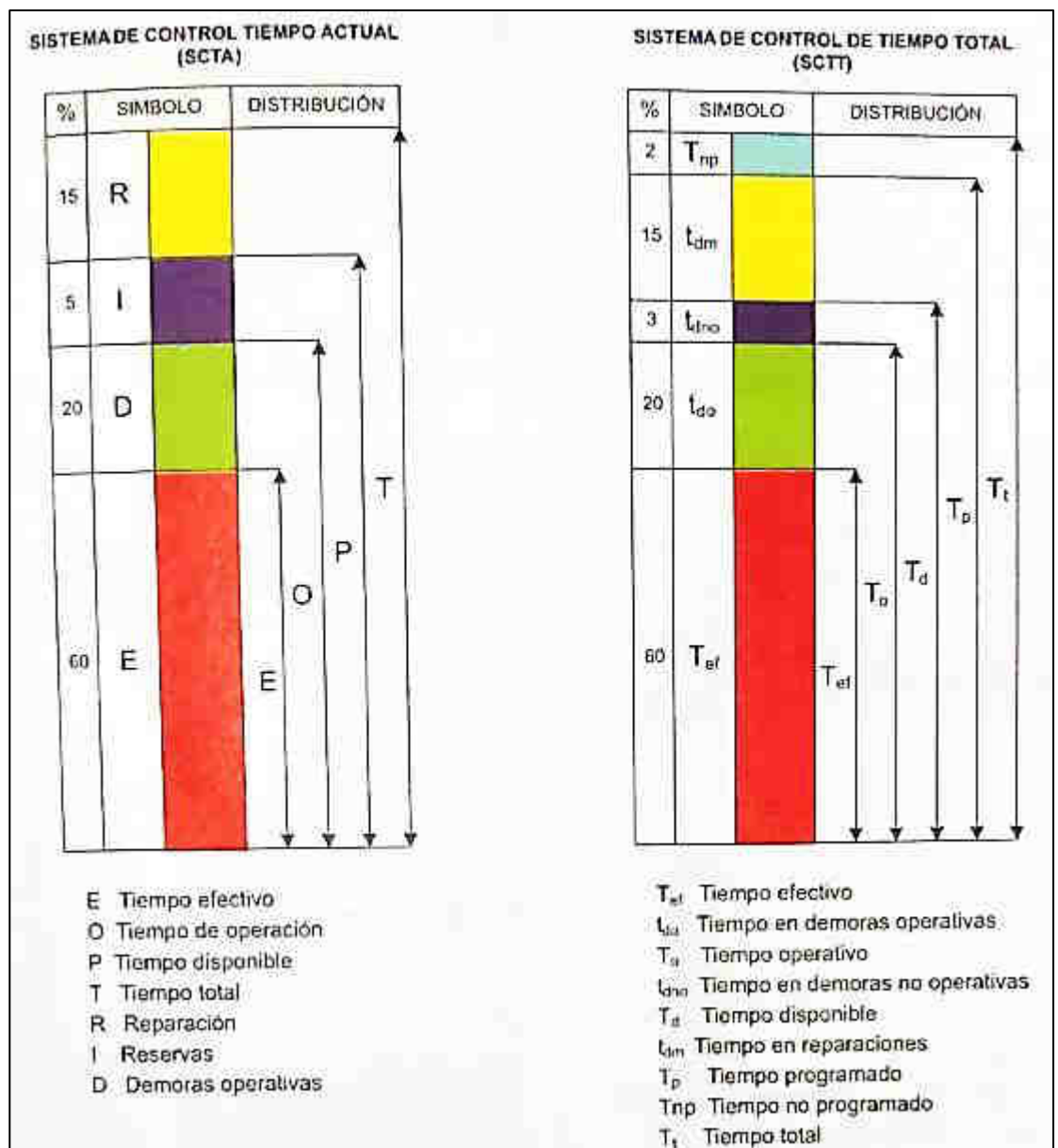


FIGURA 2- 51. Sistema de control de tiempos

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### “SOFTWARE” APLICADO AL PLANEAMIENTO MINA

#### 3.1. Aplicaciones de la Informática en el Planeamiento

Las aplicaciones de la informática a la evaluación y análisis de los recursos minerales son muchos y muy variables. Si hubiese que establecer una primera jerarquización de los diferentes programas existentes en el mercado con aplicación a la citada temática, tal vez el precio sería el mejor parámetro a considerar. Así, se podría hablar de dos grupos de programas:

##### 3.1.1. Programas con Aplicaciones Mineras

Son programas que no han sido desarrollados, en general, con la minería como objetivo básico, aunque tienen módulos o aplicaciones que pueden ser utilizados, a veces con resultados muy interesantes. Sus costos son muy variados, desde licencias libres (denominados programas de dominio público)



hasta valores sumamente caros. Dada la gran cantidad y heterogeneidad de este grupo de programas, resulta imprescindible establecer una mínima clasificación:

#### **3.1.1.1. Hojas de Cálculo**

Las hojas de cálculo son, en realidad, el punto de partida de cualquier programa que quiera analizar una serie de datos. No son programas, por tanto interesantes sino, en muchos casos, imprescindibles. Lo que sucede es que sus aplicaciones van más allá, en algunos casos, de lo meramente necesario como base de datos numéricos. Hay numerosos tipos de hojas de cálculo, aunque los más conocidos son Lotus 1-2-3, Quatro Pro, Microsoft Excel. El primer objetivo de una hoja de cálculo es almacenar los datos necesarios para los cálculos posteriores. Estos datos pueden ordenarse de muy diferente forma, según el objetivo propuesto, aunque una hoja de cálculo cuyo primer destino esté relacionado con la estimación de reservas debe incluir aspectos como: posición del sondeo, distancia del nivel de interés, potencia, ley – calidad - %. También la hoja de cálculo permite llevar a cabo sencillas operaciones que en diversos estadios de la evaluación de un yacimiento que son imprescindibles, algunas hojas de cálculo permiten, incluso, la obtención de datos relacionados con el análisis financiero, como la tasa de rentabilidad Interna (TRI) o el valor actual Neto (VAN).

#### **3.1.1.2. Programas de Dominio Público**

Estos programas son los que se distribuyen libremente, sin ser necesario abonar un precio a ninguna agencia o persona, pudiendo copiarse sin ninguna restricción. Existen programas de este tipo con diversas aplicaciones al estudio



de los recursos minerales y, en particular, a su evaluación. Todos ellos suelen estar distribuidos por Organismos públicos de USA y su interés es variado, así como por ejemplo: Geoeas & Geostatistical Tollbox.

### **3.1.1.3. Rockware & Similares**

En este grupo se incluyen aquellos programas de bajo costo que presentan todo un conjunto de utilidades geológicas, algunas de las cuales tienen una aplicación directa a la evaluación de recursos minerales. Existe una gran variedad de programas, aunque quizá los más conocidos sean el “Surfer” y el “Rockware”, este último presenta una disposición modular, con un total de hasta 11 módulos, de los cuales tres poseen claras aplicaciones en la evaluación de yacimientos. Gridzo, Rockstat y Rocksolid, son otros programas también.

### **3.1.1.4. Programas Específicamente Mineros**

Este tipo de programas, están diseñados específicamente para el entorno minero, caracterizándose por su alto precio y también su alta complejidad de manejo. Tienen un carácter modular, lo que permite un menor coste si tan solo es necesario la utilización de un determinado modulo. Permiten un uso integral en todos los estadios del aprovechamiento de un recurso mineral, exploración previa, evaluación de las reservas del yacimiento, diseño minero (tanto a cielo abierto como subterráneo), control de leyes durante la fase de explotación, etc. Este carácter permite combinar las utilidades de una hoja de cálculo, programas estadísticos y gráficos y programas de cálculo de reservas mineras y diseño de explotaciones.



Estos programas también permiten obtener una modelización del cuerpo mineralizado, creando un modelo de hilos (“wireframe”) al que posteriormente se le puede integrar el modelo de bloques obtenido previamente. Este modelo de hilos y bloques puede ser seccionado, observándose diferentes perspectivas, con sus correspondientes características, según el interés del usuario. Este tipo de programas por su alto coste económico, se suelen utilizar en explotaciones de mediana a gran minería, generalmente a cielo abierto (donde se obtiene un mejor rendimiento) y que llevan a cabo un exhaustivo control de todos los parámetros involucrados en el desarrollo minero. No es extraño por tanto, que muchas compañías mineras, fundamentalmente por temas económicos, suplan su utilización con otras alternativas como pueden ser la combinación de programas CAD con programas geoestadísticos.

### **3.1.2. Mercado de los “Software’s” Mineros**

Las soluciones existentes abarcan un gran rango de áreas, destacando algunas como mantenimiento, operación y planificación. Diversas alternativas ofrece la industria de los “software” mineros disponibles en el mercado, desde soluciones orientadas a aplicaciones específicas hasta productos que ofrecen servicios más integrales, que abarcan y controlan diversas áreas del negocio minero. Todo ello, en post de una mayor eficiencia, palabra clave en un negocio cada vez más competitivo como lo es la minería, donde el mayor aprovechamiento de las capacidades y los ahorros tienen un peso importante en el éxito y viabilidad de los proyectos. De ahí la relevancia de los productos orientados a una mejor gestión del proceso minero, a fin de contar en forma clara y amigable con los datos adecuados y oportunamente para la toma de decisiones.



A continuación, un catastro con algunas de las alternativas imperantes en el mercado y las soluciones que ofrecen:

### 3.1.2.1. Mintec-“MineSight”

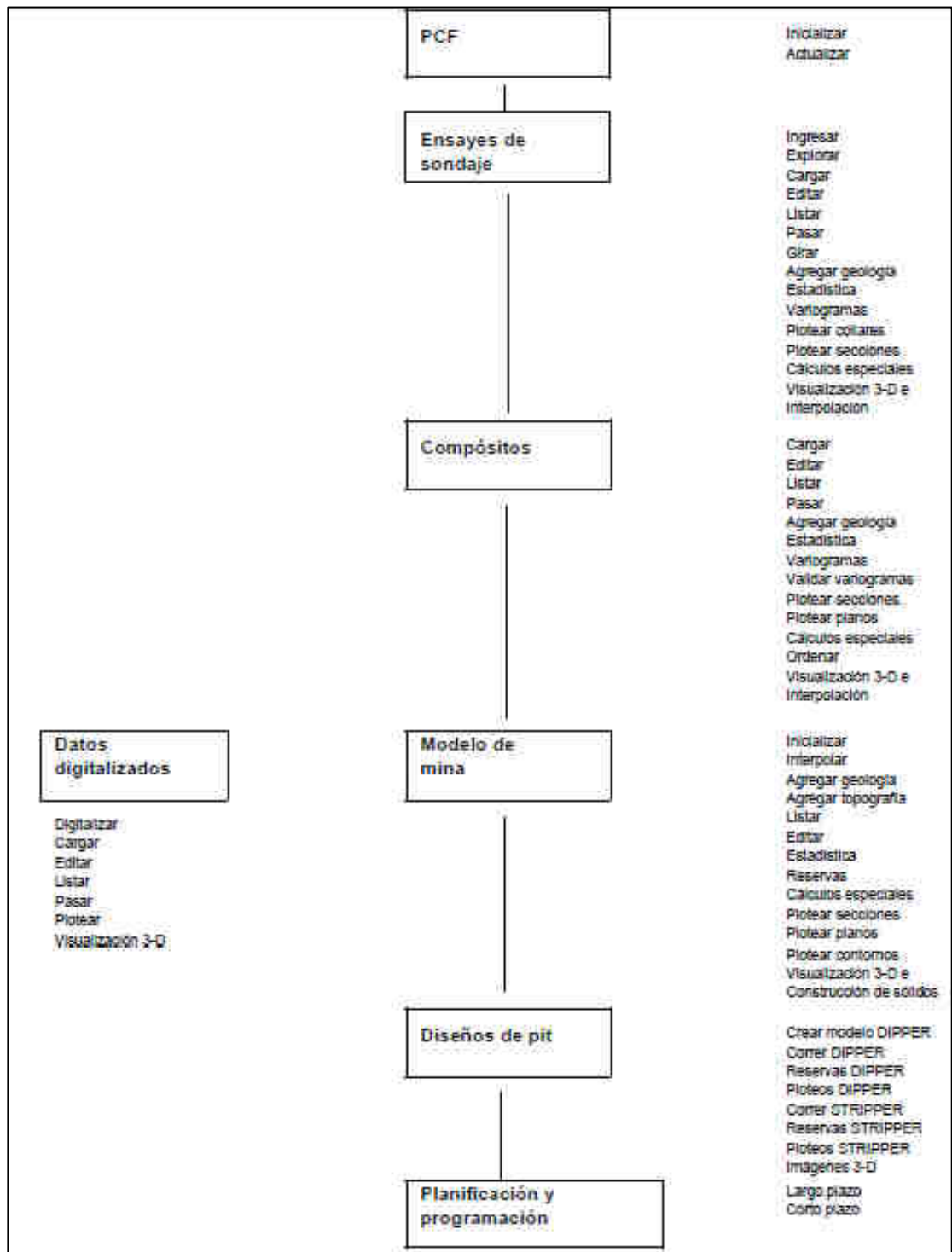
“MineSight” se ha diseñado para tomar datos crudos de origen estándar (sondajes, muestreos subterráneos, barrenos de voladura, etc.) y extender esta información hasta el punto de derivarse un programa de producción.

“MineSight” tiene un grupo extenso de programas diseñados para manejar los problemas de la evaluación de yacimiento mineral y la planificación minera. Cada módulo le permite un gran nivel de control sobre sus datos y el proceso de modelamiento. Los valores para todas las opciones disponibles en cada programa son determinados por el usuario.

El siguiente diagrama de la Tabla 3-1, muestra el flujo de tareas para un proyecto estándar de evaluación minera. Estas tareas cargan los ensayos de sondaje, calculan los compósitos, desarrollan un modelo de mina, diseñan un “pit” y crean programas a largo plazo para el análisis financiero.



TABLA 3- 1. Flujo de tareas para proyectos



Fuente: Mintec – MineSight

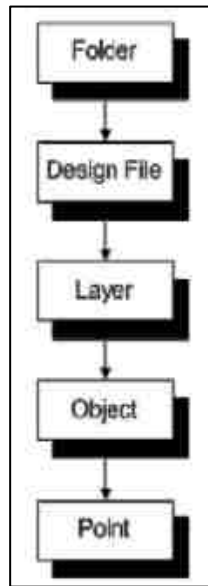
### 3.1.2.2. Maptek-Vulcan

VULCAN es la más avanzada herramienta disponible de Modelamiento y visualización 3D para diseño en la Industria Minera. Es precisamente la enormidad de opciones disponibles para el usuario que hacen de VULCAN una herramienta de alta eficacia y eficiencia que redundan en notables aumentos de productividad.

El “software” minero geológico VULCAN es uno de los productos principales de Maptek. Creado en el año 1981. Entre sus principales características, permite su aplicación a todos los aspectos geológicos y de planificación minera; posee las herramientas necesarias para la creación del diseño, tanto para “open pit”, como para minería subterránea; permite el modelamiento de yacimientos metálicos, carboníferos y de metales industriales, y entrega las herramientas para un completo desarrollo topográfico. El “software” permite convertir los complejos datos en información visual que se reflejan en la creación de imágenes interactivas y dinámicas en 3D, facilitando su comprensión y entendimiento. Además, puede desarrollar un completo estudio de factibilidad y de impacto ambiental. Los datos en VULCAN están estructurados en 5 niveles. (Carpeta), Design File (Archivos de Diseño), Layer (Capas), Object (Objetos) y Point, (Puntos). En los últimos tres niveles los datos pueden ser agrupados basándose las propiedades de Grupo o Feature, tal como se presenta en la Tabla 3-2.



TABLA 3- 2. Flujo de tareas Vulcan



Fuente: MAPTEK

### 3.1.2.3. “Minemax”

“Minemax” se inició en 1996 por Jim Butler, (Phd Engineering, University Of Tokyo). La compañía se especializa en soluciones de planificación y programación minera con oficinas en Perth, Western Australia y Denver, EE. UU. Los productos de las empresas se utilizan en más de 35 países y por organizaciones mineras líderes en todo el mundo.

El principal producto de “Minemax” es “Minemax Planner”, una herramienta líder en optimización y programación de recursos. Mientras que las tecnologías de mercado anteriores usaban el algoritmo Lerchs Grossman para clasificar los bloques de recursos, “Minemax Planner” aplica una rama de las matemáticas conocida como “Combinatorics”.

“Minemax” ha establecido su reputación como líder en planificación y programación minera. En la Figura 3-1, se aprecia una simulación en 3D de un área de trabajo.

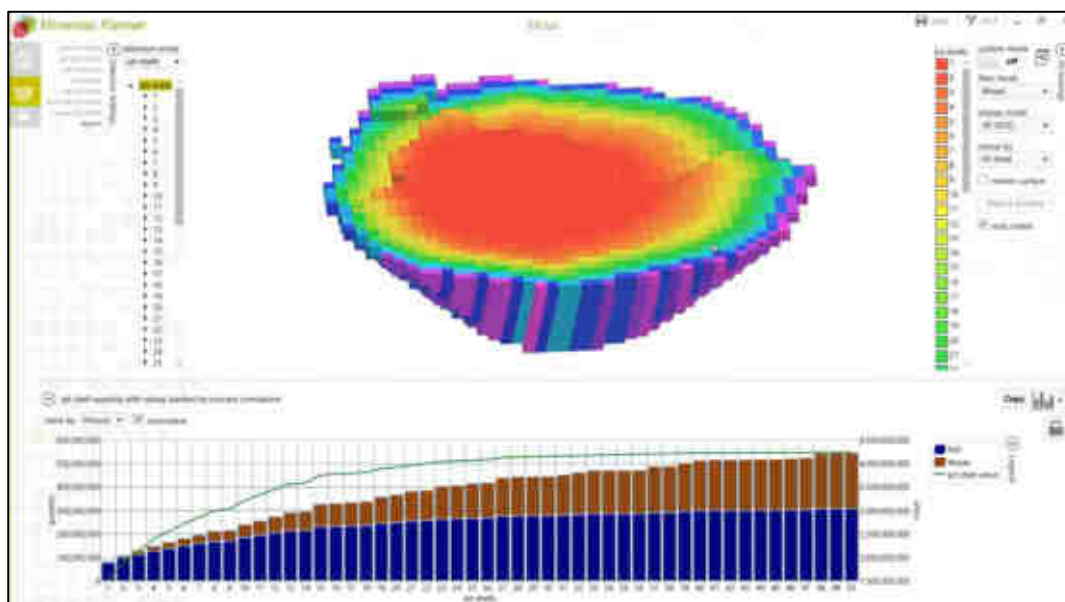


FIGURA 3- 1. Entorno de trabajo Minemax

Fuente: Minemax

#### 3.1.2.4. “Deswik”

Aprovechando décadas de experiencia profesional en el desarrollo de “software” y un historial comprobado de creación de aplicaciones de minería técnica, “Deswik”, ofrece herramientas líderes en la industria para garantizar que los planes de mina sean robustos, transparentes y realizables.

El “software” ha sido desarrollado para aprovechar las últimas tecnologías de alto rendimiento y los algoritmos informáticos de vanguardia, a los que se accede a través de una interfaz flexible e intuitiva. Al evitar los problemas heredados a los que se enfrentan otros paquetes anteriores, junto con

el excelente servicio de atención al cliente, los creadores opinan que pueden brindar soluciones completas para satisfacer las demandas de la minería moderna. En la Figura 3-2, se muestra una simulación de fases de un “pit”.

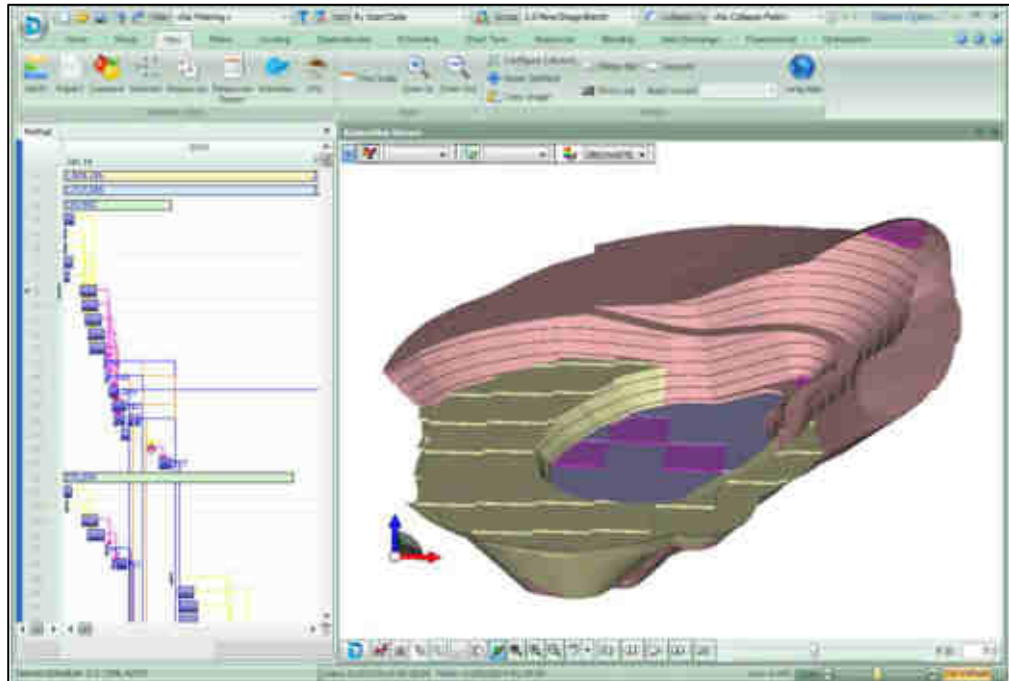


FIGURA 3- 2. Entorno de trabajo Deswik

Fuente: Deswik

### 3.1.2.5. “Gemcom- Whittle”

Las soluciones integradas que desarrolla “Gemcom” abarcan desde las fases de exploración, evaluación de recursos, diseño de minado, optimización, planeamiento minero y control de leyes de producción, hasta la reconciliación y balance metalúrgico a lo largo de la línea de producción. La línea de soluciones MPMS (“Mine Production Management Solutions”) es cuidadosamente diseñada y ajustada a las necesidades reales y futuras de cada uno de los clientes, incluyendo productos específicos como “GEMS” o “Whittle” y/o herramientas de otros proveedores o desarrollos propios de cada

empresa. Lo relevante es la integración real de todos los elementos involucrados en la cadena de valor, lo que posibilita una visión global confiable, con los indicadores adecuados que permiten a los ejecutivos tomar decisiones más certeras. MPMS: Solución orientada a la administración y control de los procesos en la cadena de valor productiva de una empresa minera. ProdTrack: Sistema de control de producción y balance metalúrgico a lo largo de la línea de procesos. GEMS: Suite de herramientas de aplicación a las tareas de una operación minera, que cubren las necesidades de los profesionales en todas las áreas de la ingeniería y geología. GEMS-PCBC: Suite de herramientas específicas para faenas que utilizan el método de Block Caving para su explotación. PCBC opera bajo ambiente GEMS, y está completamente integrado con el resto de herramientas generales de administración de datos.

“Whittle”, Sistema para optimización económica y planeamiento estratégico de minado. Herramientas para el análisis de sensibilidad, secuenciamiento óptimo, aplicación de algoritmos de Millaza y Lerch y Grossman, son parte de este sistema.



## CAPÍTULO IV

### OPTIMIZACIÓN DEL SECUENCIAMIENTO DEL PLAN DE MINADO

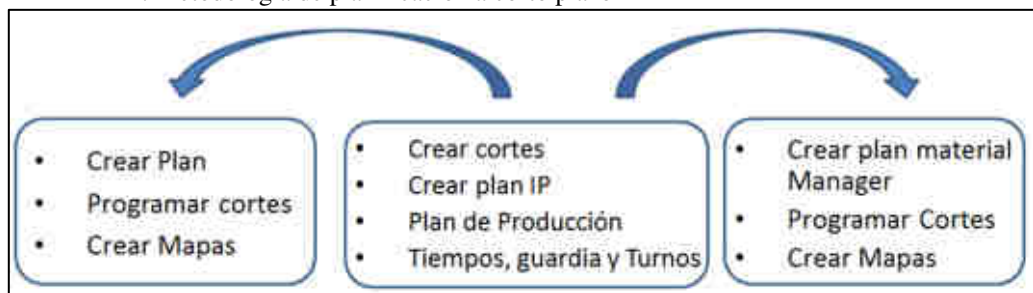
#### 4.1. Secuenciamiento del Plan Semanal de Minado a Corto Plazo con el “Software Minesight”

“MineSight”, es una herramienta que permite realizar los planes de Minado en el corto, mediano y largo plazo, para esto es necesario realizar una configuración del programa, asegurando que los datos a evaluar sean correctos en cada uno de los pasos. En este caso, realizaremos un plan a corto plazo que es un desglose de un plan a largo plazo en unidades más pequeñas, con el fin de guiar el minado más de cerca. Con los sólidos de etapas producidas en el proceso de planificación a largo plazo, el ingeniero planificador genera cronogramas de actividades que abarcan periodos de extensión variables, como un trimestre, un mes o una semana. Los planes se obtienen a un nivel de detalle correspondiente a un día o a un turno conociéndolo con el nombre de “planes de producción”.



Se realizara un Plan de Minado Semanal en “Minesight Interactiver Planner” (IP). La meta es diseñar y planificar los cortes de minado para que respondan a algunos objetivos específicos como satisfacer metas de producción o compatibilidad de planes a corto plazo, utilizando cortes para calcular el tonelaje de las reservas y los requerimientos inmediatos de camiones, palas, chancadora, etc. Por último el planificador implementa la planificación diseñando mallas de perforación y mapas al final del periodo. En la Tabla 4-1, se presenta la metodología de planificación a corto plazo.

TABLA 4- 1. Metodología de planificación a corto plazo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1. Seteo “MineSight Reserve”

“MineSight Reserve” (MSReserve), es una herramienta de cálculo que se puede utilizar para generar informes de reservas de sólidos o polígonos entre superficies GSF (archivo 13) o un rango de coordenadas, todo basado en un modelo de bloque “MineSight” 3D especificado. “MSReserve” proporciona una interfaz fácil de configurar para definir y generar informes de reservas. Utiliza tecnología avanzada de creación de informes y gráficos para la creación rápida y sencilla de gráficos, cuadros e informes en múltiples formatos.

Las reservas se calculan en función del modelo (archivo 15) que se especifica en la configuración de lógica de reservas. El 3DBM o GSM especificado se puede rotar. Desde el menú modelo dentro de MS3D, puede calcular las reservas del modelo dentro de sólidos o polígonos, entre superficies cuadrículadas, y dentro de un rango de coordenadas.

Los factores críticos en los cálculos de reserva incluyen la determinación de la contabilidad de materiales adecuada con respecto a parciales, topografía y porcentajes de material. Los informes de “MSReserve” proporcionan una vista previa que le permite ver exactamente cómo se tratarán las diferentes situaciones cuando se calculan las reservas.

En este módulo es importante configurar las características totales existentes en el modelo de bloques de corto Plazo, para que de esta manera cada Item propuesto pueda ser identificado en los Cortes de Minado con un tonelaje y Ley correspondiente. En la Tabla 4-2 y 4-3, el sistema de control del tipo de material y el seteo ORTY en el tajo Ferrobamba.



TABLA 4- 2. Sistema de control-Tipo de material

ORE TYPE (ORTY)	CONDITION & DESCRIPTION						
Código Numérico	Nomenclatura	Descripción	GRUPO LITOLÓGICO	% Cu	Tasa de Oxidación (TOx=CuSol/CuTot)	Destino (Ore Routing)	
1	MA-ES	Material Estéril	TODAS LAS LITOLOGIAS	< 0.20 % POR SULF o < 0.10% SK SULF	0.15 ≤ TOx	Dique de Relaves	
				< 0.24 % POR MIX o < 0.22% SK MIX	0.15 ≤ TOx < 0.50		
				< 0.5%	TOx ≥ 0.50	Dique de Relaves	
11	DESMA	Desmonte Malo		< 0.20 % POR SULF o < 0.10% SK SULF	0.15 ≤ TOx	Botadero/Tramo 8	
				< 0.24 % POR MIX o < 0.22% SK MIX	0.15 ≤ TOx < 0.50		
				< 0.5%	TOx ≥ 0.50	Botadero/Tramo 8	
2	MA-OX	Material Oxidado			≥ 0.50 % < 1.8%	TOx ≥ 0.50	Stock de oxidos
22	MINOX	Mineral Oxidado			≥ 1.80 %	TOx ≥ 0.50	Stock Oxidos Huancarana
3	MINMX	Mineral Mixto		SKARN	≥ 0.22 %	0.15 < TOx < 0.50	Chancadora/Stock Mixtos
			PORFIDO	≥ 0.24 %	0.15 < TOx < 0.50		
4	MINBL	Mineral Baja Ley	SKARN	≥ 0.19 %	TOx ≤ 0.15	Chancadora/Stock Sulfuro	
			PORFIDO	≥ 0.20 %	TOx ≤ 0.15		
5	MINML	Mineral Media Ley	SKARN, PORFIDO	≥ 0.40 %	TOx ≤ 0.15		
6	MINAL	Mineral Alta Ley	SKARN, PORFIDO	≥ 0.80 %	TOx ≤ 0.15		
7	MARSU	Mineral Sulfuro en Marmol	MARMOL	≥ 0.27 %	TOx ≤ 0.15		

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4- 3. Seteo según ORTY Ferrobamba

Zone	Value	Default	Directly	Recovery
MAES	1			300
MINOX	2			300
MINMX	3			300
MINBL	4			300
MINML	5			300
MINAL	6			300
MARSU	7			300
DESMA	11			300
MINOX	22			300

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Seteo “Interactive Planner”

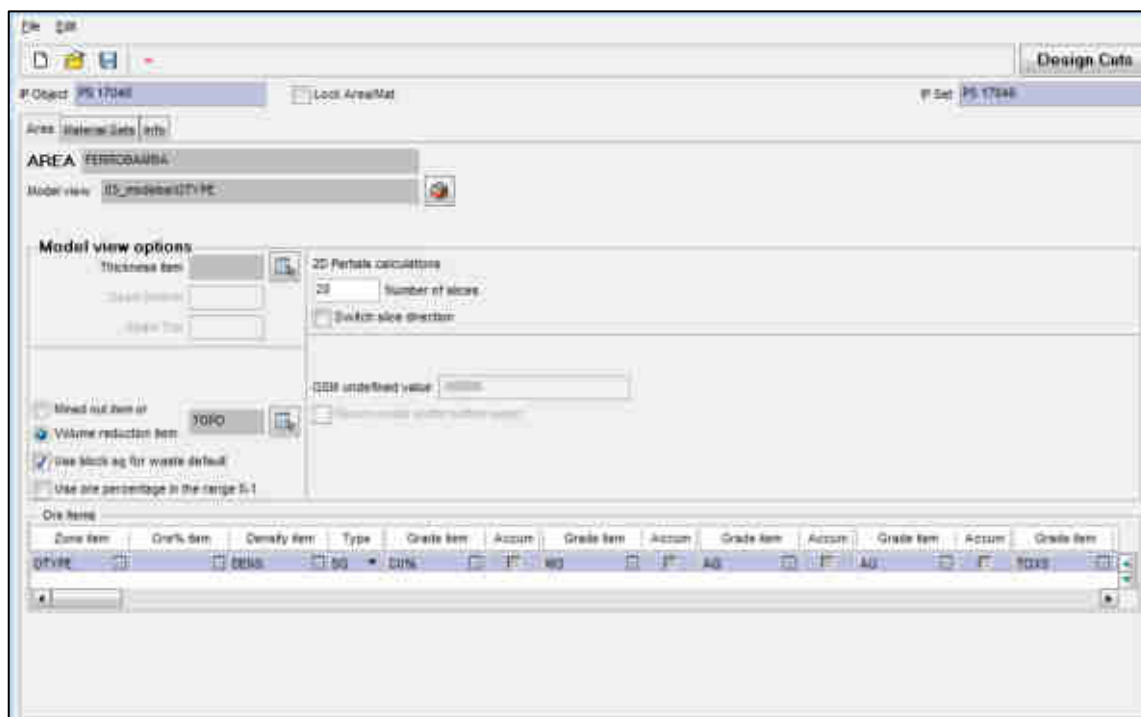
La planificación minera a corto y mediano plazo se lleva a cabo en “MineSight” 3-D utilizando “Interactive Planner (IP)”, que crea cortes y calcula las reservas para un modelo de mina o para un archivo de taladros de perforación. Los parámetros del plan, la geometría de corte y los atributos, y finalmente las reservas se almacenan en un “SQL” o posterior al que se puede acceder mediante scripts, consultas, informes o herramientas de terceros. Por lo tanto, las reservas se pueden calcular y mostrar utilizando una variedad de métodos.

Los datos del IP constan de áreas y conjuntos de materiales (que controlan la lógica de informes y la metodología de agrupamiento de corte), la geometría y los atributos de corte, y las reservas. Para comenzar, se debe realizar una conexión a la base de datos y se debe definir un conjunto de IP. El conjunto IP es la recopilación de datos del objeto IP tal como existe en la base de datos.

Los parámetros de informe y la metodología para agrupar las reservas definidas por las áreas y conjuntos de materiales se establecen en el cuadro de diálogo Herramientas de IP. Los cortes se realizan en el cuadro de diálogo diseño de corte digitalizando en el visor o seleccionando objetos de geometría existentes. Cuando se guarda un corte, las reservas se calculan en función de los parámetros del área de corte y del conjunto de materiales y las reservas se almacenan en la base de datos. En la Tabla 4-4, se presenta la configuración de “Interactive Planner”.



TABLA 4- 4. Configuración “Interactive Planner”



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.1. Polígonos de Banco

La planificación a corto plazo comienza cortando cada solido de etapa en polígonos a mitad de banco (línea media) para luego dividir estos últimos en cortes más detallados de acuerdo con determinados criterios, tales como tonelajes, ley o tipo de material. Los polígonos de banco son cortes en 2D que representan la totalidad del banco. Se crean a partir de solidos o polígonos y son útiles como plantillas que se aplican luego para delinear los límites del plan cuando se diseñan los cortes de minado semanal. En la Figura 4-1, se aprecia la línea media topográfica.

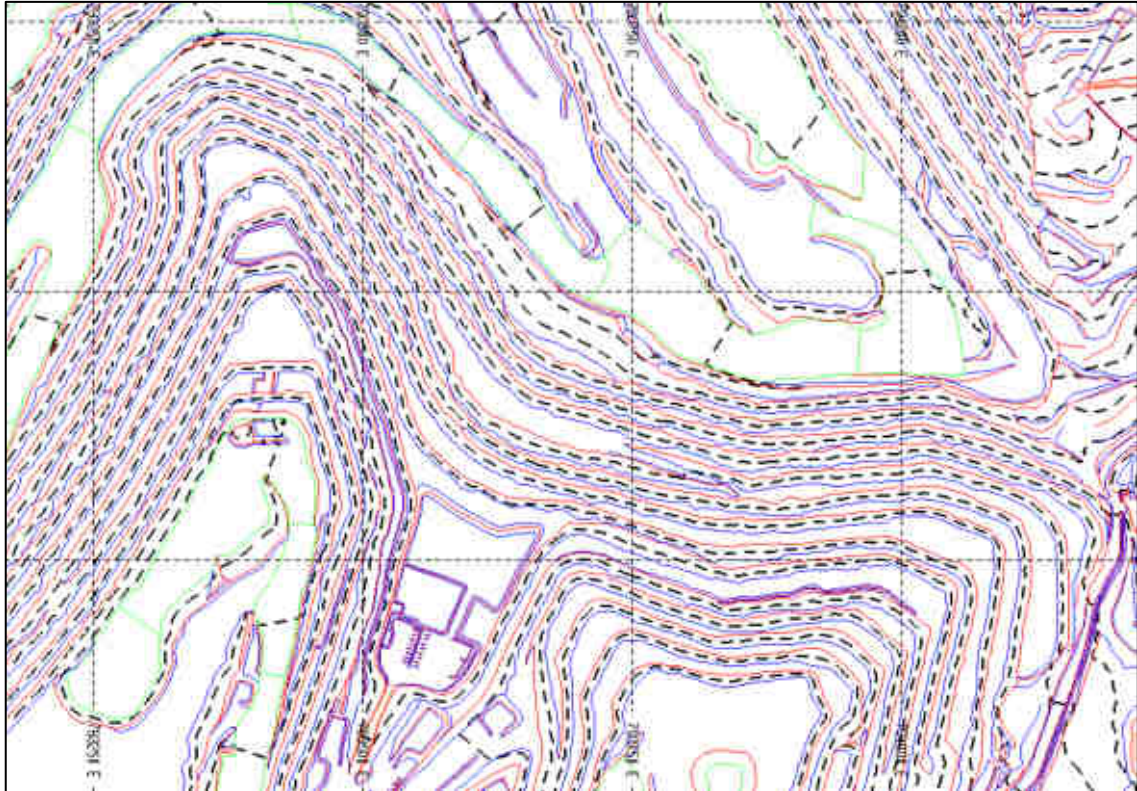


FIGURA 4- 1. Línea Media Topográfica

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.2. Crear Polígonos de Banco

Se crearan polígonos de banco para cada una de las palas programadas utilizando la función “Slice View”, guardando así los polígonos en objetos geométricos independientes. En la Figura 4-2, se tiene los polígonos de banco por pala.

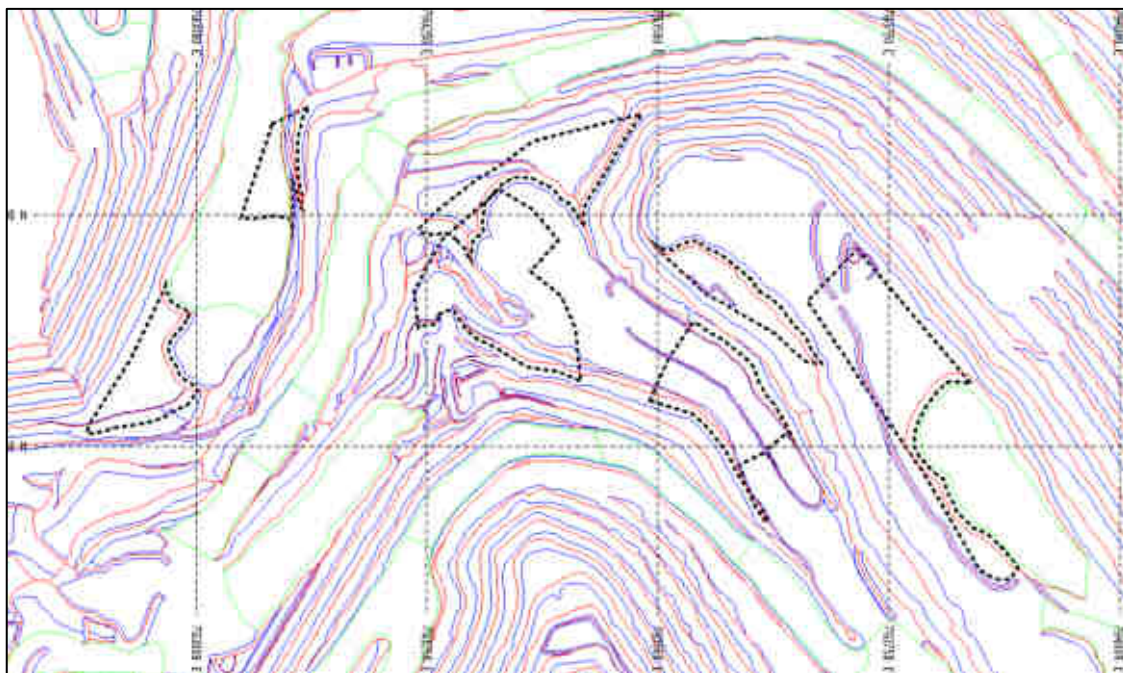


FIGURA 4- 2. Polígonos de Banco por Pala

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.3. Polígono a Mitad de Banco

Debido a la forma en que se computan las reservas en el MSIP, conviene crear los polígonos a mitad de banco para obtener resultados más exactos. Se aprecia en la Figura 4-3, los cortes sobre el pie del banco.

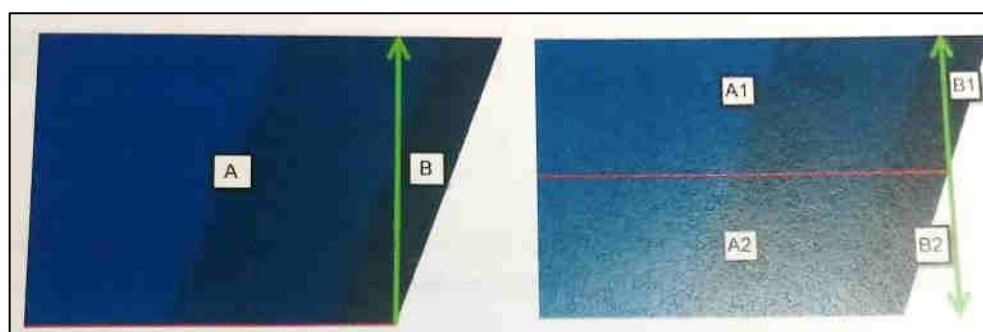


FIGURA 4- 3. Cortes sobre el pie del banco

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.4. Cortes de Minado

Al diseñar los cortes, es importante comprender que nivel de detalle requiere la planificación. Para las palas de mayor producción los cortes tienden a ser más grandes y más uniformes en tamaño pero con menos detalle; al contrario, los cortes para las palas con menor producción programada son más breves, son más variables tanto en forma como en tamaño. El tipo de planificación dictamina el método y las herramientas que se emplearan. Algunas herramientas en “Minesight” permiten la generación automática de los cortes, lo cual es ideal para planificaciones a largo plazo. Otras herramientas son totalmente manuales, así el usuario tiene pleno control, estas son mejores para las planificaciones semanales y diarias que exigen cortes más detallados.

#### 4.1.2.5. Generación Automática de Cortes

La función “Auto-Cut Generation” crea cortes menos detallados y más uniformes en forma y tamaño. Utiliza polígonos planares en 2D, polilíneas y sólidos y luego realiza cortes en forma de cuadrícula o siguiendo una polilínea predefinida, pudiendo definir:

- Indicar que la herramienta lea el origen de cada sólido o polígono.
- Definir las dimensiones y la cantidad de cortes.
- Limpiar los resultados fusionando o eliminando los cortes que no satisfacen el criterio de tamaño.
- Asignar nombre a los cortes.



#### 4.1.2.6. Polígonos para Palas

Con la herramienta “Cut Generation Tool” se define un ancho operacional mínimo para el minado. Posterior a esto se va utilizando un cursor para diseñar manualmente los polígonos de las palas eléctricas e hidráulicas y del cargador LT-2350 que definirán un ancho operacional mínimo para el equipo, que más tarde se dividirá estos polígonos en cortes de minado con “AutoSlicer”, esta última herramienta permite generar rápidamente los cortes siguiendo algún criterio como distancia de avance en minado, área, volumen, tonelaje, etc. Tal como se muestra en la Figura 4-4.

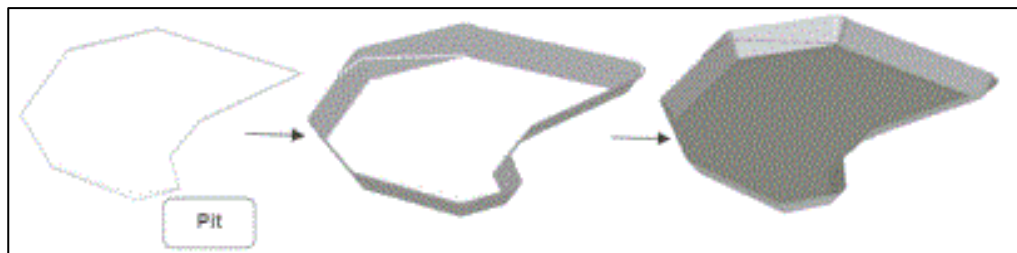


FIGURA 4- 4. Polígonos/Solidos para Palas

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.7. Cortes con “AutoSlicer”

##### 4.1.2.7.1. “Along Ray” (left)

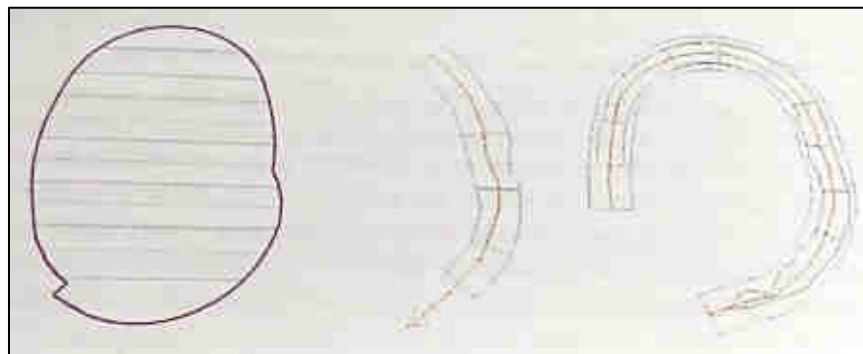
Este método crea cortes perpendiculares a la flecha que se muestra en el visor, siguiendo un rayo. La orientación de las flechas se puede modificar ajustando los valores de azimut o Dip.

#### 4.1.2.7.2. “Along Polyline” (center)

El método exigirá que se utilice una polilínea ya creada para definir la dirección de los cortes siguiendo esa polilínea. Es la mejor opción para bancos rectos o ligeramente curvados.

#### 4.1.2.7.3. “Along Polyline Tube” (right)

Método similar a “Along Polyline”, pero se aplica en 3D, es decir requiere que se defina un radio, para seguir una polilínea en tubo. Es ideal para cortes de sólidos o cuando se trabaja con un banco con curvas muy definidas. Tal como se observa en la Figura 4-5 y 4-6.



**Along Ray Along**

**Polyline Along**

**Polyline Tube**

FIGURA 4- 5. Cortes con “AutoSlicer”

Fuente: Elaboración propia



FIGURA 4- 6. Corte de Pala

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.8. Corte Manual

A medida que el plan de corto plazo se aproxima a la etapa de producción, la planificación exige cortes más detallados; en ese caso los cortes serán más pequeños con forma más irregular para satisfacer requerimientos específicos de producción. Ninguna herramienta creara automáticamente este tipo de cortes que representaran un corte real al que pueda ejecutarse en campo.

Cada corte está diseñado para satisfacer metas de factores específicos, como tonelaje, ley, tipo de material o topografía. En general se digitalizan respecto de una vista del modelo de corto plazo, así como se presenta en la Figura 4-7.

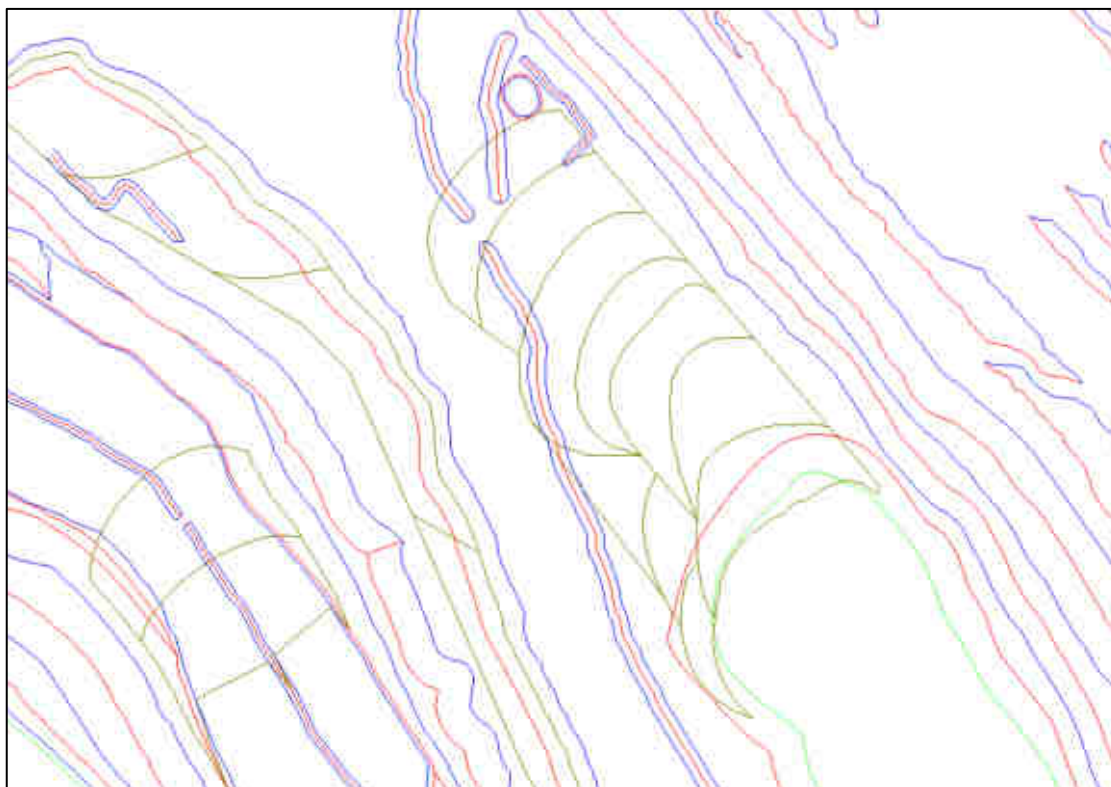


FIGURA 4- 7. Cortes Manuales

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Programa Semanal de Palas & Chancado

Es importante tener en cuenta las disponibilidades otorgadas por mantenimiento mina y mantenimiento de chancado, para de esta forma proyectar los cortes según paradas programadas de los equipos, para realizar los cortes correspondientes por cada equipo de minado en mineral y desmonte. En la Tabla 4-5, se presenta el programa de palas y perforadoras. Asimismo, en la Tabla 4-6, se presenta el programa de chancado y fajas “overland”.

TABLA 4- 5. Programa de Palas y Perforadoras

Equipo en Operación en el Semanario	Palas en Operación	Equipo	Zona de PDR con fecha de Operaciones - Muestreo	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo		Lunes		Martes	
				11/12/2017		12/12/2017		13/12/2017		14/12/2017		15/12/2017		16/12/2017		17/12/2017		18/12/2017		19/12/2017	
				Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
		SH001																			
	30	SH002																			
	30	SH003																			
30	30	SH004																			
		SH004	1-402-28																		
30	30	SH001	Stock de Inyector 1.4 y 2.8																		
30	30	SH002																			
	30	SH003	Rotura																		
	30	TD001																			
	30	TD002																			
	30	TD003																			
	30	TD004	Sala Maquina Apto. Jiribilla																		
		TD005																			
	30	TD006	Fase II																		
	30	TD007																			
		TD008																			
		TD009																			
	30	TD001																			
	30	TD002																			

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4- 6. Programa de chancado y fajas Overland

EQUIPOS PLANTA CONCENTRADORA								
AREA CHANCADO		210/0220						
2017W50								
Descripción	Unidad	13-Dec	14-Dec	15-Dec	16-Dec	17-Dec	18-Dec	19-Dec
Tiempo Programado	hr	24	24	24	24	24	24	24
Mantenimiento Programado Chancadora 1	hr	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento No programado MITR&MTBF Chancadora 1	hr	1	1	1	1	1	1	1
Disponibilidad Física Chancadora 1	hr	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Mantenimiento Programado Chancadora 2	hr	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento No programado MITR&MTBF Chancadora 2	hr	1	1	1	1	1	1	1
Disponibilidad Física Chancadora 2	hr	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Mantenimiento Programado Fajas Overland	hr.	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento No Programado Fajas Overland	hr	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Disponibilidad Física Fajas Overland	hr	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1. Capacidad Nominal de Producción

La capacidad de producción se definirá en función a la disponibilidad y utilización asignada a cada equipo durante los 7 días del Plan Semanal, multiplicado por la capacidad Nominal. Los datos son presentados en la Tabla 4-7.

TABLA 4- 7. Producciones por equipo de carguío (Ktons)

PALA	PROD	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
SH01	120	86	86	86	86	86	86	86
SH02	120	80	80	50	80	80	80	80
SH03	120	91	91	91	91	91	91	91
SH04	120	88	88	88	0	0	74	88
SH11	70	59	7	59	59	59	59	59
SH12	70	54	54	54	48	54	54	54
SH13	70	55	55	55	55	55	55	5
LD01	40	0	22	25	25	25	25	25

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Secuenciamiento Semanal de Minado

El resultado de un secuenciamiento de Plan Semanal es gracias a la información brindada por cada pala respecto a las disponibilidades y utilización que serán brindadas para los tonelajes de la semana, la cual comprende 7 días de minado, respetando las restricciones otorgadas para los mantenimientos

preventivos y/o asignaciones de otras áreas de trabajo en las zonas planificadas. Los cortes programados son presentados en la Figura 4-8 y los cortes a detalle en la Figura 4-9. De la misma forma se presenta la Figura 4-10 y 4-11, sobre frentes y leyes respectivamente y mediante la Tabla 4-8 se presenta el reporte de cortes.

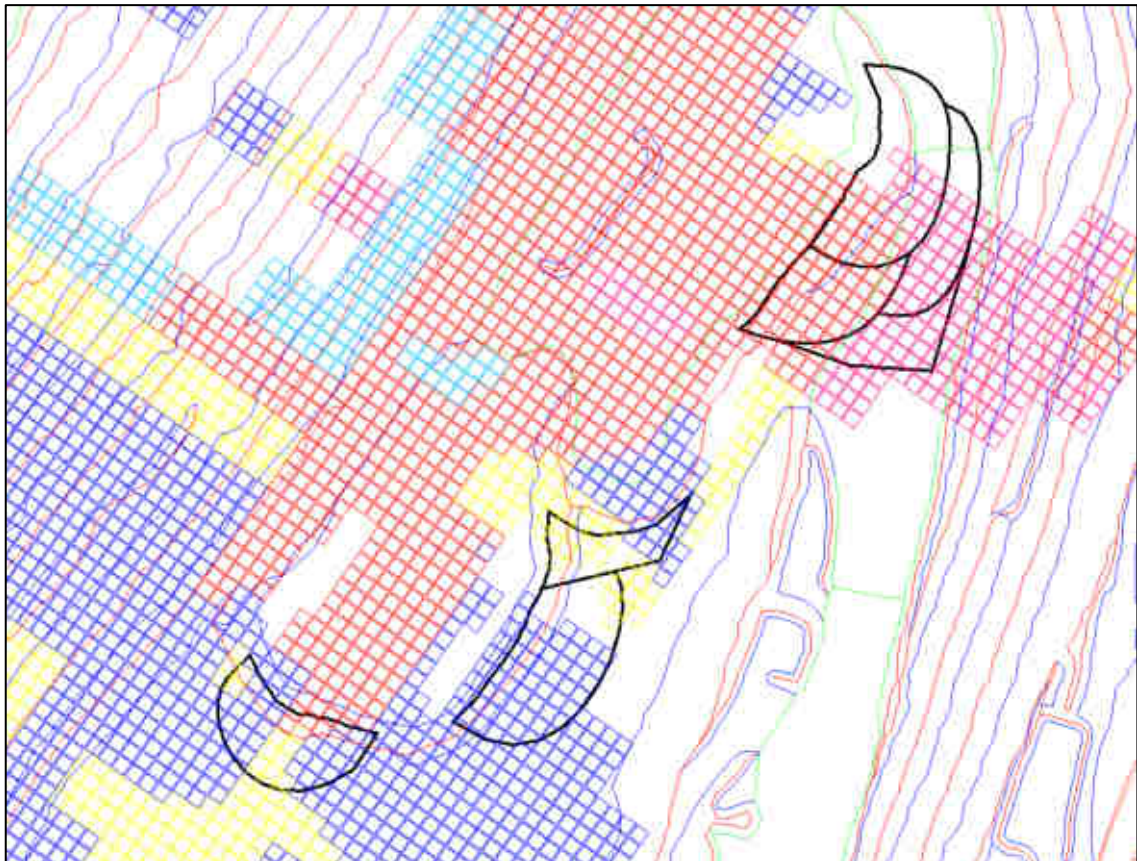


FIGURA 4- 8. Cortes programados para mineral en pala hidráulica N° 11

Fuente: Elaboración propia

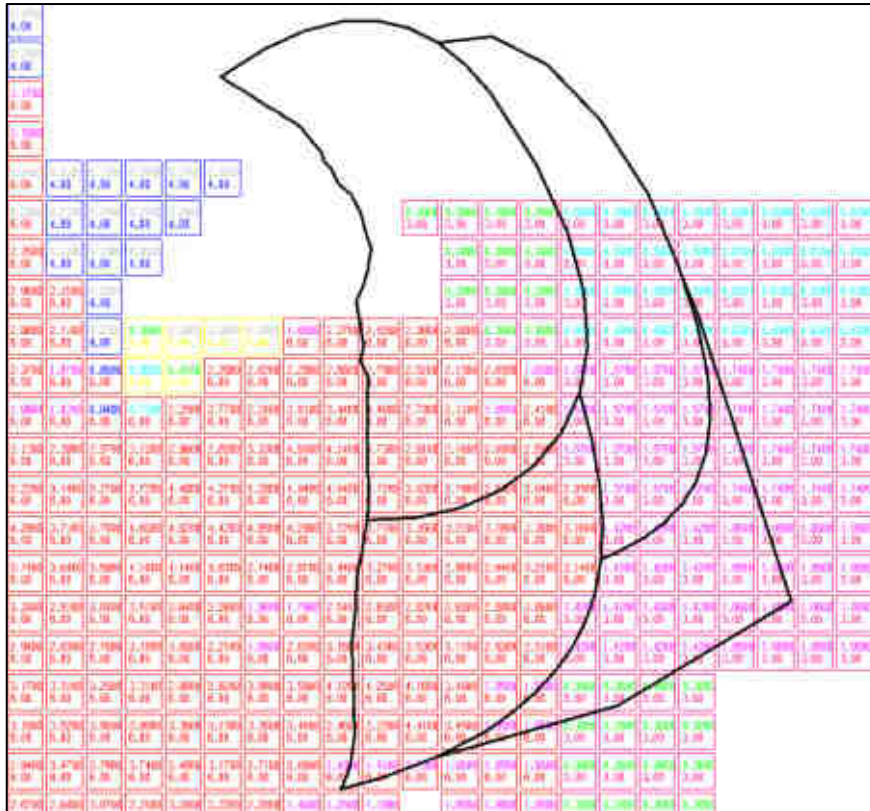


FIGURA 4- 9. Corte a detalle según ley %Cu y Toxs de Pala 11

Fuente: Elaboración propia

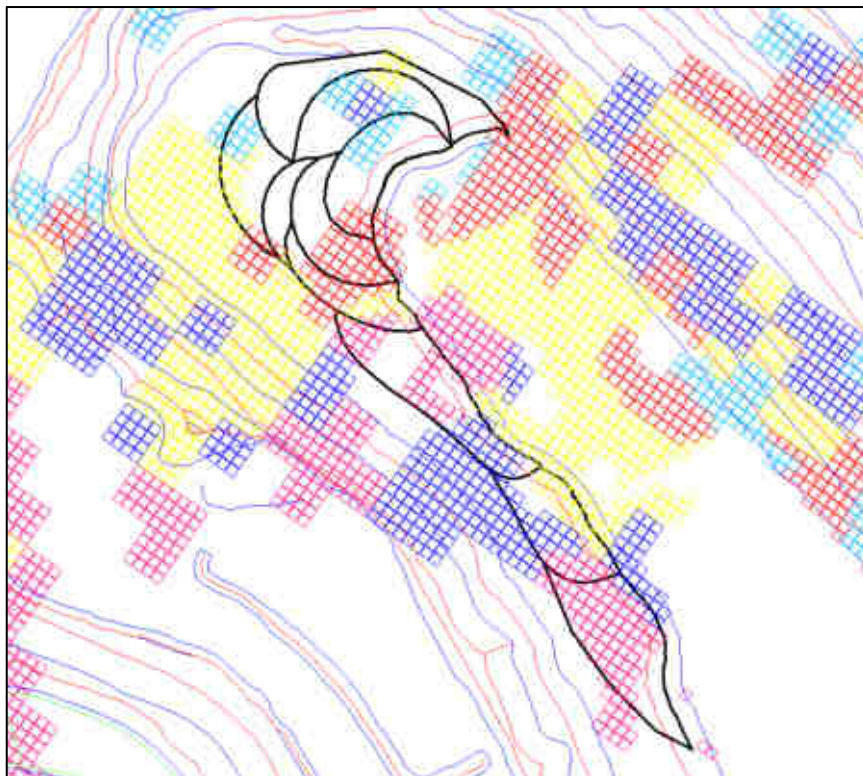


FIGURA 4- 10. Cortes programados para mineral en pala hidráulica N° 03

Fuente: Elaboración propia

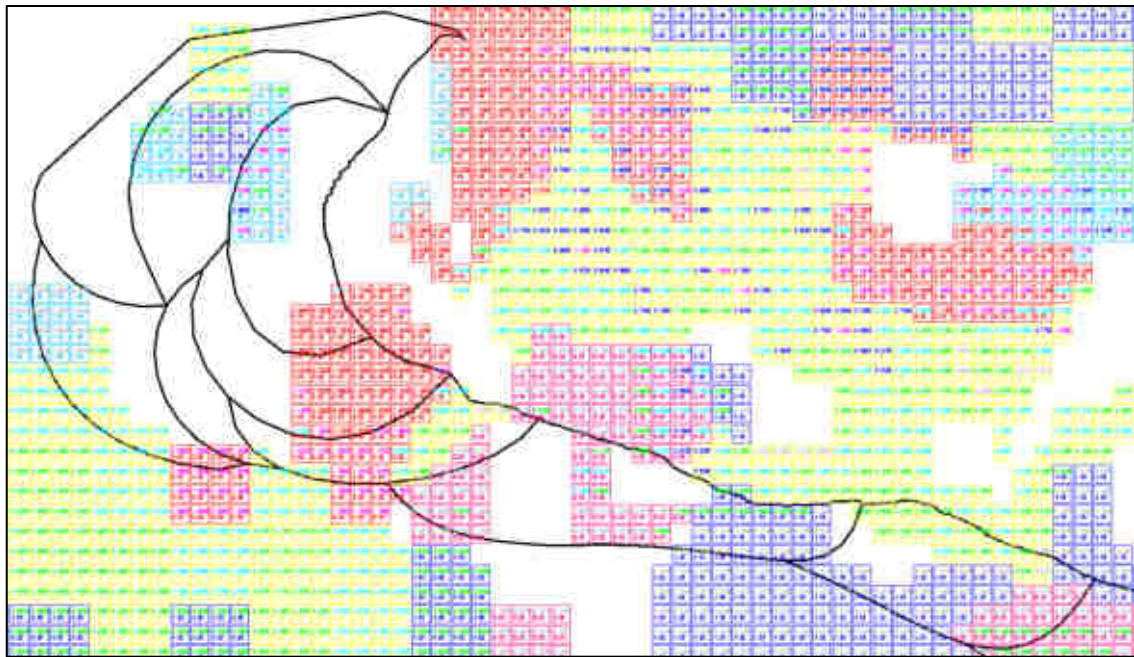


FIGURA 4- 11. Corte a detalle según ley %Cu y Toxs de Pala 11

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4- 8. Reporte de cortes por Pala/Día

Summary														
Template: PLATA SEMANAL x PALA														
SERIAL														
Destination														
Characteristics														
Period	Fila	MATERIAL	Kilones	CU%	CLAS	MO	AG	FDMS Col.	LUCE	%PIN	#Vajes	#Vajes/Pe		
1 LUN	= SH002	MDPE	51.43	0.57	0.06	285.96	2.06	0.30	164.83		32.56	171	7	
		MDBL	8.21	0.27	0.02	189.02	0.97	0.06	203.83		27.80	31	1	
		MDAL	23.72	0.84	0.05	230.82	2.01	0.06	176.40		21.71	79	3	
		MDSL	0.88	0.70	0.30	584.17	5.26	0.14	144.90		24.20	3	0	
	SH002 Total			85.23	0.62	0.05	250.17	1.96	0.09	172.06		31.72	284	12
	= SH004	MDPE	0.22	0.25	0.20	34.85	1.10	0.80	182.00		27.80	1	0	
		MDAL	7.51	0.80	0.17	41.73	3.80	0.29	196.48		32.54	25	1	
	= SH011	MDPE	68.17	1.26	0.20	42.53	6.45	0.33	120.30		34.20	227	9	
		MDAL	75.87	1.02	0.18	43.35	6.19	0.19	123.89		34.14	252	11	
	1 LUN Total			161.12	0.80	0.12	182.74	3.95	0.15	149.45		32.85	537	22
1 MAR	= LD001	MDPE	22.83	1.08	0.30	73.07	4.69	0.28	188.00		34.37	76	3	
		MDBL	55.35	0.54	0.04	214.25	1.77	0.07	177.42		32.20	184	8	
		MDAL	20.89	0.31	0.02	214.98	0.86	0.07	203.17		27.80	70	3	
		MDSL	0.70	0.30	0.06	240.18	2.91	0.07	143.72		37.00	2	0	
	LD001 Total			79.77	0.48	0.03	214.68	1.53	0.07	184.31		31.05	256	11
	= SH004	MDPE	8.11	0.25	0.20	34.85	1.10	0.80	182.00		27.80	20	1	
		MDAL	10.88	0.30	0.17	27.71	2.38	0.34	186.57		25.37	36	1	
	= SH011	MDPE	63.83	1.18	0.22	29.78	6.51	0.19	132.88		34.59	209	9	
		MDAL	73.53	1.08	0.21	29.49	5.91	0.20	140.96		33.83	245	10	
	1 MAR Total			176.34	0.79	0.15	194.62	3.71	0.19	184.43		32.50	598	25
= 1 PDE	= LD001	MDPE	2.32	0.70	0.24	205.31	2.96	0.19	149.02		26.25	8	0	
		MDBL	4.87	0.43	0.13	283.44	2.74	0.19	145.30		28.30	18	1	

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3. Resultado del Corte Semanal

Los cortes son importantes, ya que estos darán un reporte en función al minado de cada equipo por día, para cumplir la semana programada, dando así:

- Total Movido: 3,236 Kt (462 Ktpd)
- TSF (Tailings Storage Facility): 512 Kt (73 ktpd)
- Chancadora: 1,155 Kt (165 ktpd)
- Ley Cu Mina: 1.11 %
- Ley Cu Planta: 1.00 %
- Toxs (Taza de oxidación): 0.09
- Total Molienda: 1,106 Kt
- % Recuperación: 87.81 %
- Cu Fino: 9,669 t (1,381 tpd)

TABLA 4- 9. Resumen de producción de semana - Material movido

Period	Chancadora								Botadero Ferrobamba			Stock	Dique	Grand Total	EPM	FINOS
	KTONes	CU% (Mina)	CU% (Planta)	CUAS	MO	AG	TOXS	UCS	LIF 4120	LIF 4170	LIF 4220					
									KTONes	KTONes	KTONes					
MIE 13	165	1.18	1.06	0.06	121.71	7.80	0.05	148.52	62	83	72		79	461	6,714	34.0%
MAR 14	165	1.15	1.04	0.09	100.57	5.62	0.07	128.27	65	73	81		78	459	6,684	35.2%
MIÉ 15	165	1.14	1.03	0.11	100.56	5.90	0.09	127.00	60	80	60	25	72	461	6,712	36.5%
SAB 16	165	1.17	1.06	0.13	175.43	7.84	0.11	119.44	56	84	63	30	71	469	6,822	37.5%
DOM 17	165	1.16	1.05	0.12	257.17	7.77	0.10	105.38	59	72	66	18	77	467	6,790	36.3%
LUN 18	165	0.99	0.88	0.09	166.32	5.43	0.09	143.55	66	88	88		70	496	6,635	35.5%
MAR 19	165	0.95	0.85	0.09	157.87	4.88	0.10	130.77	67	90	74		67	463	6,735	34.9%
<b>TOTAL</b>	<b>1,155</b>	<b>1.11</b>	<b>1.00</b>	<b>0.10</b>	<b>154.23</b>	<b>6.46</b>	<b>0.09</b>	<b>128.56</b>	<b>445</b>	<b>569</b>	<b>482</b>	<b>73</b>	<b>512</b>	<b>3,236</b>	<b>6,674</b>	<b>35.7%</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-9, se muestra un resumen de producción semanal y en la Figura 4-12, la presentación prevista de Cobre Fino semanal y la Figura 4-13, muestra las rutas de acarreo para los camiones.





FIGURA 4- 12. Producción de Cu Fino

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Rutas de Acarreo

Las rutas de acarreo están asignadas según los diferentes destinos existentes a botadero, dique de relaves, Chancador primario y los principales orígenes de minado.

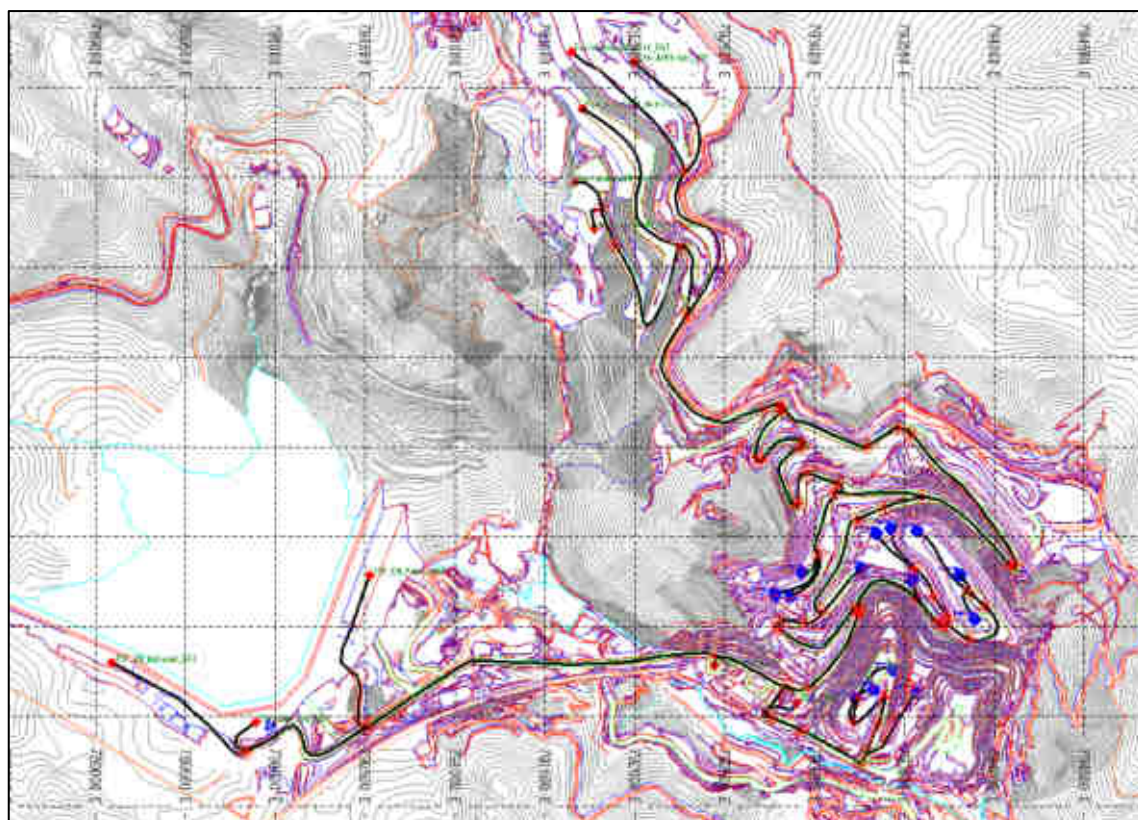


FIGURA 4- 13. Rutas de acarreo para camiones

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Descripción de la Experimentación**

La zonificación del Tajo Ferrobamba está en tres partes; Jahuapaylla Alta, Minitajo y Jahuapaylla Baja, en las cuales existen cuerpos mineralizados, se realizan cortes de minado para la elaboración del Plan Semanal y posterior justificación de producción Mina.

#### **5.2. Métodos, Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos**

##### **5.2.1. Recopilación de Información**

Consistió en la obtención de la información teórica necesaria para poder desarrollar la investigación adecuadamente y con las metodologías correctas.



### **5.2.2. Obtención de Información de campo**

Se realizó la recolección de datos de campo necesarios para completar la investigación.

### **5.2.3. Trabajo de Gabinete**

Se procesó y analizó toda la información recopilada en los puntos anteriores mediante el software Minesight.

### **5.2.4. Interpretación de los Resultados**

Se realizó con herramientas estadísticas cuantitativas y de calidad.

### **5.2.5. Análisis y Propuestas de Mejoras**

Aquí se analiza todos los resultados obtenidos y se plantea mejoras.

## **5.3. Procesamiento y Análisis de Datos**

Con la información obtenida de la investigación bibliográfica y los datos del campo, mediante los análisis comparativos y descriptivos, se elaboró la optimización de los Cortes de Minado para un mejor secuenciamiento de un Plan Semanal, recurriendo a técnicas operacionales de minado productivo, así como también experiencias profesionales de Planificación Minera.

## **5.4. Comparativo Semanal**

Es importante tener en cuenta cual fue la reconciliación de la semana, es decir planeado VS real



### 5.4.1. Reconciliación de Modelo de Bloques

Datos obtenidos en función a modelo de bloques de largo plazo y reconciliación de “blastholes” por corto plazo, indicándonos -18% de diferencia en mineral y +6% en ley %Cu, que son mostrados en la Tabla 5-1, y también se muestra la reconciliación del modelo de bloques en la Figura 5-1.

TABLA 5- 1. Reconciliación de modelo de Bloques

Material	Tn Largo Plazo	Tn Ore Control	Dif Ton	Cu % Largo Plazo	Cu % Ore Control	Dif Cu %
Gran Total Mineral	656,305	537,393	-18%	1.25	1.33	6%

Fuente: Elaboración Propia

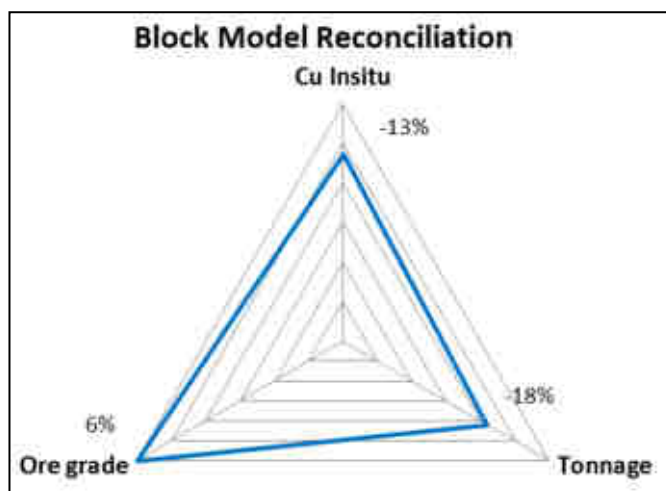


FIGURA 5- 1. Block Model Reconciliation

Fuente: Elaboración Propia

### 5.4.2. Reconciliación del Plan de Minado

Es importante realizar la reconciliación, para de esta manera saber en que porcentaje se cumplió el plan semanal, tonelaje, movimiento por destino

programado. La reconciliación es presentada en la Tabla 5-2, y la Figura 5-2, muestra el “KPI” del plan semanal.

TABLA 5- 2. Reconciliación de Plan de minado

Del 13 al 19 de Diciembre del 2017						
Item		Budget	Plan Mensual	PLAN	ACTUAL	%
Total Ore to Crusher	kt	1135	1010	1,010	876	87%
	ktpd	162	168	144	146	101%
	Cu%	1.14	1.11	1.04	1.09	105%
	Tox	0.14	0.15	0.16	0.16	101%
Tailing Dump	kt	721	498	500	813	163%
Waste to Dump	kt	419	796	1,054	801	76%
Total Mined	kt	2711	2385	2,609	1,614	62%
Total Moved	kt	2842	2537	2,609	2,624	101%

Fuente: Elaboración Propia

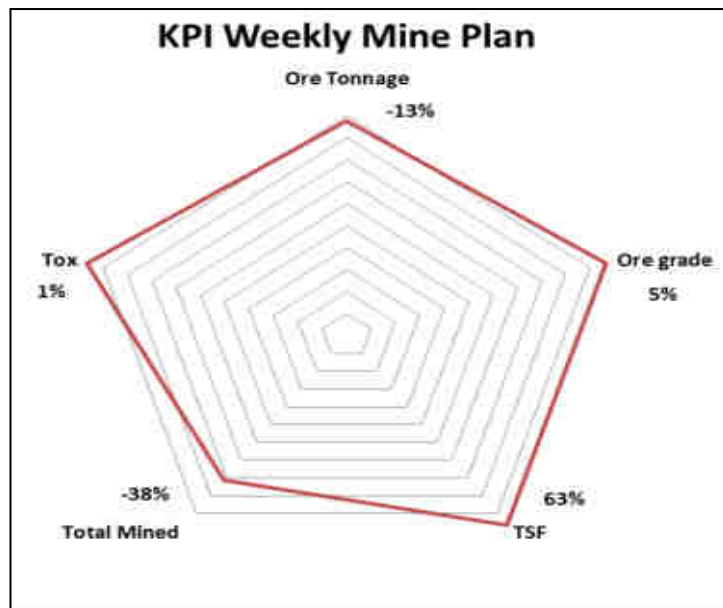


FIGURA 5- 2. KPI Weekly Mine Plan

Fuente: Elaboración Propia

### 5.4.3. Reconciliación de los Frentes de Minado

Es necesario realizar una reconciliación de los frentes de minado en función a la geometría de minado por cada pala, para esto se genera un porcentaje total de cumplimiento respecto al total planeado, tal como se observa en la Figura 5-3 y su cumplimiento en la Tabla 5-3, con resultados satisfactorios.

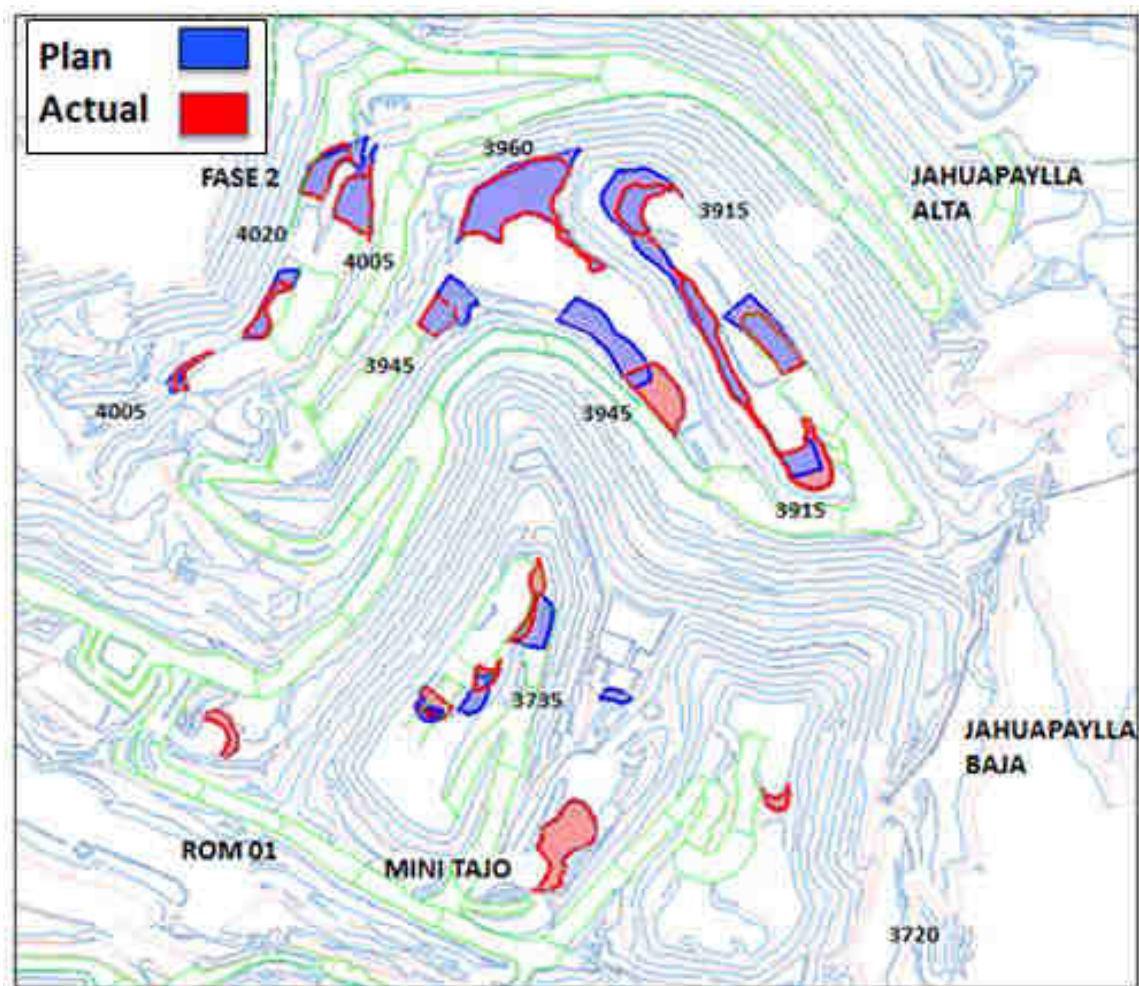


FIGURA 5- 3. Reconciliación de minado

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 5- 3. Cumplimiento del Plan

CUMPLIMIENTO TOTAL		
MINADO	=	62%
PLAN	=	80%
AVANCE	=	5%
RETRASO	=	20%

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4.4. Prueba de Hipótesis

Mediante la prueba de hipótesis se ha comprobado la veracidad de las hipótesis planteadas en el proyecto de investigación, donde la información recogida concuerda con el planeamiento propuesto, por lo que es congruente con la información y constata con los resultados presentados en la Tabla 5-4.

TABLA 5- 4. Constatación de la prueba de hipótesis

<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>PRUEBA DE HIPOTESIS</b>
<p>➤ Aplicando la optimización del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo con el “software Minesight” se incrementa la productividad minera en el tajo Ferrobamba</p>	<p>➤ Se demuestra que al utilizar el software minero “MineSight”, en las diferentes etapas del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, las actividades del proceso de producción mejoran en cuanto a resultados de obtención del Cu Fino</p>
<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>PRUEBA DE HIPOTESIS</b>
<p>➤ Con el uso del “software Minesight”, en el secuenciamiento del plan de minado a corto plazo se determina la cantidad optima de camiones en el acarreo de mineral en el Tajo Ferrobamba.</p>	<p>➤ Se demostró que al usar el Software “Minesight” en el secuenciamiento de un plan de minado, se pudo determinar la cantidad óptima de 53 camiones, entre 797 F y 930E-4SE KOM.</p>
<p>➤ El Secuenciamiento del plan de minado a corto plazo, con el “software Minesight” se lograra abastecer el mineral del tajo a la chancadora con la ley adecuada.</p>	<p>➤ Se demostró que el secuenciamiento de minado con el Software “Minesight” se logra abastecer de manera óptima el mineral requerido por chancadora según el plan propuesto.</p>
<p>➤ En el secuenciamiento óptimo a corto plazo en el Tajo Ferrobamba se mejora la recuperación metalúrgica en la planta concentradora.</p>	<p>➤ Se comprobó que con el secuenciamiento de los cortes de minado a corto plazo, la recuperación metalúrgica mejora de manera progresiva en el control de leyes “Cut off”.</p>
<p>➤ Desarrollando el Secuenciamiento del plan de minado con el “software Minesight” en la planta concentradora se logra incrementar la producción y reducir costos operativos en el Tajo Ferrobamba.</p>	<p>➤ Se comprobó que al usar el software “Minesight”, la producción en la planta de concentrado y los molinos se incrementa, con reducción de costos en la obtención de Cobre Fino.</p>

Fuente: Elaboración Propia



## CONCLUSIONES

- Utilizar el software minero “MineSight”, en las diferentes etapas del planeamiento a corto, mediano y largo plazo, las actividades del proceso de producción mejoran con buenos resultados de producción para la obtención del Cu Fino respecto al mensual, con una producción de 15 kton de más respectivamente.
- Utilizando el principal modulo del Minesight, el “Interactive Planner” (IP), se puede desarrollar diferentes alternativas de corte de minado, para cada equipo, teniendo un resultado inmediato en cuanto a tonelajes y leyes de Cobre, obteniendo así el “throughput” requerido por chancado.
- 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 pala 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.
- El trabajo que realizan los ingenieros de minas ha cambiado significativamente durante la última década debido a factores como el alcance de la tecnología computacional, globalización, entre otros, por lo tanto en el desarrollo de la tesis se ha recurrido a diferentes fuentes de información especialmente el Input de Mintec, y otros programas computacionales aplicados a la minería.
- Las técnicas informáticas aplicadas dan solución a una amplia variedad de problemas operativos de planificación en la ingeniería de minas. Por lo tanto, constituye un área indispensable en la programación de la producción minera.



## RECOMENDACIONES

- Es importante dar a conocer los trabajos proyectados por parte de planeamiento mina hacia las otras áreas involucradas. Para que de esta forma se pueda cumplir con los objetivos trazados en metas y presupuestos.
- Todo el equipo de planeamiento debe tener conocimiento del “software MineSight” porque ayuda al ingeniero de planeamiento a determinar el plan táctico en el Tajo Ferrobamba, para el logro de metas estratégicas.
- Utilizar el “MineSight” permite controlar las actividades operacionales en cuanto al planeamiento a corto plazo, con los cortes de minado a detalle para cada pala, con un plan semanal a detalle, y controles de seguimiento topográficos.
- Es recomendable que el personal de “Ore Control” tanto como Operaciones cumpla los lineamientos establecidos por el plan semanal, para cumplir el plan propuesto de Cobre Fino.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Bustillo, R. M; López, J. C. (1977), Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras. Madrid, Mostoles.
2. Caccetta, L; Giannini, L.M. (1986), Optimization Techniques for the Open Pit Limit Problem, Proc. Australas. Inst. Min. Metall. 291, 57–63.
3. Caride, L. C. (1995). Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. España. Instituto Tecnológico Geo Minero.
4. Clemente, T; Clemente, J. (2009). Análisis de costos de operación en minería subterránea y evaluación de proyectos mineros. Huancayo-Perú. Edición grafica pp. 141 – 190.
5. Dagdelen, K; Johnson, T.B. (1986), Optimum Open Pit Mine Production Scheduling by Lagrangian Parameterization, in: Proc. 19th APCOM Symposium of the Society of Mining Engineers (AIME) pp. 127–142.
6. Gershon, M. (1987), Heuristic Approaches for Mine Planning and Production Scheduling, Int. Journal of Mining and Geological Engineering 5, 1–13.
7. Grimaldo, F. (2013). Evaluación de métodos y sistemas de minado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
8. Hartman, H. (1996). Mining engineering handbook, 1, Society for mining, metallurgy, and exploration, Colorado. Inc. Littleton.
9. Hoskins, J.R; Green, W.R.; (1981). Mineral industry cost. Northwest mining association, 147 – 162, Idaho-USA.
10. Hustrulid, M; Kuchta, W; Martin, R. (2013), Open Pit Mine Planning & Design. USA.



11. Hustrulid, W. (1982). Underground mining methods handbook. The American institute of mining, metallurgical, and petroleum engineers, Inc. AIME. New York.
12. Ladislaus, F; Palma, M. (1989). Análisis del estado tecnológico de los métodos de explotación subterránea aplicados en las minas de Perú. INGEMMET, 19 – 105.
13. Llanque, O; Navarro, V. (1999). Explotación subterránea métodos y casos prácticos. Universidad Nacional del Altiplano – Puno. pp, 39 – 50.
14. Ramírez, V. N. (2007). Sistema de Gestión del Tiempo en Operaciones Mineras. Lima.
15. Runge, I; (1998). Mining economics and strategy. The Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.: Littleton, 103 – 126 y 143 – 172, SME.

**TÍTULO: Optimización del Secuenciamiento del Plan de Minado a Corto Plazo con el Software Minesight en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas – Apurímac 2017<sup>ra</sup>**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	POBLACIÓN Y MUESTRA	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General:</b> ¿En qué medida la falta del secuenciamiento del plan de minado está afectando la producción minera en el tajo Ferrobamba?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <p>a) ¿De qué manera la falta de secuenciamiento de minado está afectando la Disponibilidad de camiones?</p> <p>b) ¿En qué medida el throughout a chancado no cumple la ley planificada?</p> <p>c) ¿De qué manera la falta de secuenciamiento óptimo está afectando la recuperación metalúrgica en la tajo Ferrobamba?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Optimizar el secuenciamiento del plan de minado para incrementar la producción minera en el Tajo Ferrobamba Mina Las Bambas.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p>a) Determinar el número óptimo de camiones que garantice el abastecimiento idóneo de mineral al chancado.</p> <p>b) Garantizar el throughout adecuado con la ley óptima.</p> <p>c) Incrementar la recuperación de Cobre Fino en el proceso metalúrgico final.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> Aplicando la optimización del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo con el software Minesight se incrementará la Productividad minera. En el tajo Ferrobamba.</p> <p><b>Hipótesis Específicas:</b></p> <p>a) Aplicando el Secuenciamiento del plan de minado con el software Minesight se determinará la cantidad idónea de camiones.</p> <p>b) Aplicando el Secuenciamiento del plan de minado con el software Minesight se logrará abastecer el mineral del tajo a la chancadora con la ley adecuada.</p> <p>c) Desarrollando el Secuenciamiento del plan de minado con el software Minesight se logrará incrementar la recuperación metalúrgica del Cobre Fino.</p>	<p><b>Independientes:</b> Software Minesight</p> <p><b>Dependientes:</b> Secuenciamiento del Plan de Minado a Corto Plazo</p>	<p>- Ley %Cu - ToXa - Tonelaje - Productividad</p> <p>- Throughout - Numero de camiones - EFH - Blending - Cu Fino</p>	<p><b>POBLACIÓN:</b> La población de esta investigación es el Tajo Ferrobamba.</p> <p><b>MUESTRA:</b> La muestra son los frentes de Minado mediante distribución de Pajas.</p>	<p><b>TIPO:</b> Investigación descriptiva, aplicativo</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> Comparativo.</p> <p><b>DISEÑO:</b> Investigación descriptiva.</p>

## ANEXOS























## GLOSARIO DE TERMINOS

- a) Desarrollo: el trabajo realizado en un yacimiento mineral, después de la exploración se ha revelado minerales en cantidad y calidad suficientes para justificar la extracción.
- b) Producción: la minería de mineral, y como requerido, el procesamiento posterior en producto listo para la comercialización.
- c) Recurso: una concentración de material sólido, líquido o gaseoso de origen natural en o sobre la corteza terrestre en tal forma y cantidad que la extracción económica de un producto de la concentración sea actualmente o potencialmente factible.
- d) Reserva: una reserva es aquella parte del recurso que cumple los criterios físicos y químicos mínimos relacionados con las prácticas de minería y producción especificadas, incluyendo las de grado, calidad, grosor y profundidad; y puede ser razonablemente asumido como extraído y producido económicamente y legalmente en el momento de la determinación.
- e) Reservas probadas (medidas): reservas cuya cantidad es establecida a partir de dimensiones obtenidas en afloramientos, trabajos mineros o sondeos. Se puede delimitar correctamente su tamaño, forma, profundidad, y contenido minera.
- f) Reservas probadas (indicada): similar a las anteriores solo que el grado de seguridad en la delimitación es menor.
- g) Rehandle: material que es movido por segunda vez, luego de haber sido minado de un frente original.
- h) Throughout: Tonelaje planeado a chancador primario.

