

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**“OPTIMIZACIÓN DE FLOTA DE CAMIONES PARA LA
ALIMENTACIÓN A CHANCADORA PRIMARIA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

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

**ELABORADO POR:
AARÓN ENRIQUE ALHUAY TORRES**

**ASESOR:
Ing. ADOLFO JESÚS CHAVEZ VALDIVIA**

**LIMA - PERÚ
2014**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis dos abuelos mineros; Mateo Alhuay, quien trabajó en las minas de sal de San Antonio de Cachi; provincia Andahuaylas, departamento Apurímac; y a mi difunto abuelo Silverio Torres, minero también, quien falleció en una mina de la ciudad de Cerro de Pasco, capital del departamento de Pasco; y de quienes me siento profundamente orgulloso, porque gracias a su trabajo hicieron patria.

“PERÚ, PAÍS MINERO”.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Yahvé mi Dios por darme tantas bendiciones; a mis padres por todo su amor, apoyo y tolerancia; a mi muy querida y extensa familia a quienes guardo siempre en mi corazón esté donde esté.

Agradezco a todos los docentes, trabajadores, compañeros de carpeta, y en sí misma a la UNI, por ser mi hogar de aprendizaje.

Agradezco a todos los profesionales con quienes tuve el enorme placer de trabajar en las dos minas que me han acogido hasta el momento, Barrick y Antamina, y quienes como el Ing. Manuel Alvarez Albino, por mencionar a uno de ellos, me brindaron su amistad y sus sabios consejos.

Dedico un especial agradecimiento al Ing. Jorge Lozano Noriega, un profesional egresado de nuestra alma mater, maestro y amigo de muchos mineros de la actualidad, que cuando jóvenes se iniciaban en la minería encontraron un verdadero y desinteresado apoyo en él.

RESUMEN

La Tesina “OPTIMIZACIÓN DE FLOTA DE CAMIONES PARA LA ALIMENTACIÓN A CHANCADORA PRIMARIA” tiene por objetivo realizar un análisis de las principales variables que influyen en la alimentación de mineral a chancadora primaria y encontrar la mejor forma de hacerlo incrementando la productividad y las ganancias en este proceso. Para ello se hacen comparaciones entre 2 tipos de flota, los camiones Caterpillar 793F y Komatsu 930E.

Al final del trabajo se determina la flota de camiones que brinda mejor resultado, así como la cantidad de camiones necesaria para asegurar una mayor rentabilidad.

ABSTRACT

The thesis "OPTIMIZATION OF FLEET TRUCKS FOR FEED THE PRIMARY CRUSHER" aims to perform an analysis of the main variables influencing primary crusher ore feed and find the best way of doing this by increasing productivity and earnings in this process. So are comparisons between 2 types of fleet, caterpillar 793F and Komatsu 930E trucks.

The fleet of trucks which gives better result, as well as the number of trucks needed to ensure greater profitability is determined at the end of the work.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	12
1.1 UBICACIÓN Y GENERALIDADES.....	12
1.2 ACCESIBILIDAD	15
1.3 CLIMA.....	16
1.4 RESEÑA HISTÓRICA	17
1.5 ORGANIZACIÓN.....	19
CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO.....	20
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL	20
2.1.1 GEOMORFOLOGIA.....	20
2.1.2 GEOLOGIA.....	21
2.1.3 METALOGENIA.....	23
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	24
2.2.1 GEOMORFOLOGÍA.....	24
2.2.2 ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURAS.....	24
2.2.3 INTRUSIONES Y MINERALIZACIÓN.....	26
2.2.4 GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO	27
2.2.5 GEOMORFOLOGÍA.....	27

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	29
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO.....	31
2.4.1 TIPO DE DEPÓSITO	31
2.4.2 MINERALIZACIÓN	33
CAPÍTULO III: OPERACIONES MINA.....	37
3.1 DESCRIPCIÓN.....	37
3.2 PERFORACIÓN	40
3.3 VOLADURA	42
3.4 CARGUÍO.....	45
3.5 ACARREO	46
3.6 CHANCADO PRIMARIO	47
CAPÍTULO IV: COSTOS DE CARGUÍO, ACARREO Y CONCENTRADORA	49
4.1 DESCRIPCIÓN.....	49
4.2 COSTOS DE CARGUÍO.....	52
4.3 COSTOS DE ACARREO	52
4.4 COSTOS DE CONCENTRADORA.....	54
CAPÍTULO V: SIMULACIÓN PARA EL SISTEMA PALA - CAMIÓN.....	55
5.1 PARÁMETROS DEL SISTEMA.....	55
5.2 DIAGRAMA DE FLUJO	60

5.3 CODIFICACIÓN.....	61
5.4 RESULTADOS PARA FLOTA CATERPILLAR 793F.....	63
5.5 RESULTADOS PARA FLOTA KOMATSU 930E-4.....	65
CAPÍTULO VI: ESPERA DE CAMIÓN VS. ESPERA DE CHANCADORA	67
6.1 DESCRIPCIÓN.....	67
6.2 ESPERA DE CAMION EN CHANCADORA	68
6.3 CHANCADORA EN ESPERA DE CAMIONES.....	68
CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN DE RESULTADOS	70
7.1 DETERMINACIÓN DE FLOTA	70
7.2 DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE CAMIONES	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. EQUIPO AUXILIAR.....	39
Tabla 2. EQUIPOS DE PERFORACIÓN	40
Tabla 3. DISEÑO DE MALLA.....	40
Tabla 4. DISEÑO DE PRE-CORTE	41
Tabla 5. DISEÑO DE BUFFER	41
Tabla 6. TALADROS SIN AGUA.....	42
Tabla 7. TALADROS CON AGUA.....	43
Tabla 8. TALADROS BUFFER	43
Tabla 9. EQUIPO DE CARGUÍO	45
Tabla 10. EQUIPO DE ACARREO	46
Tabla 11. COSTO DE CARGUÍO.....	52
Tabla 12. COSTO DE ACARREO.....	53
Tabla 13. COSTO DE CONCENTRADORA	54
Tabla 14. REPORTE DE VELOCIDADES POR TRAMO.....	57
Tabla 15. PRODUCCIÓN DE PALA Y CHANCADORA.....	59
Tabla 16. REPORTE PARA FLOTA 793F CAT	63
Tabla 17. REPORTE PARA FLOTA 930E-4 KOMATSU	65
Tabla 18. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS POR DESCARGA..	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. PRINCIPALES MINAS A TAJO ABIERTO.....	14
Figura 2. ACCESOS A ANTAMINA	15
Figura 3 FOTO AÉREA DE ANTAMINA	16
Figura 4 PUERTO PUNTA LOBITOS - HUARMEY	18
Figura 5 ORGANIGRAMA DE ANTAMINA.	19
Figura 6 GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS SIMPLIFICADAS DEL DISTRITO DE ANTAMINA.	29
Figura 7 ZONAMIENTO TÍPICO LITOLÓGICO/METÁLICO.....	35
Figura 8 ZONAMIENTO TÍPICO LITOLÓGICO/METÁLICO.....	35
Figura 9 DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS MINERAL DE ANTAMINA.	36
Figura 10 PLANO DE PERFORACIÓN EN LA FASE 5.....	41
Figura 11 DIAGRAMA DE TALADRO CARGADO.....	44
Figura 12 PALA P&H 4100XPC.....	45
Figura 13 CAMION KOMATSU 930E-4.	46
Figura 14 MONITOR EN LÍNEA.....	48
Figura 15 COSTOS TOTALES DE LA COMPAÑÍA 2013.....	50
Figura 16 COSTOS DE MINA 2013.....	51
Figura 17 COSTOS DE ACARREO.....	53

Figura 18 TAJO DE ANTAMINA.	56
Figura 19 PERFIL DE RUTA.....	57
Figura 20 HISTOGRAMA CONSUMO COMBUSTIBLE 793F CAT.	58
Figura 21 HISTOGRAMA CONSUMO COMBUSTIBLE 930E-4.	58
Figura 22 HISTÓRICO POR DÍA DEL PRECIO DEL COBRE.	59
Figura 23 DIAGRAMA DE FLUJO.	60
Figura 24 DESCARGAS VERSUS COLA EN CHANCADORA.....	64
Figura 25 COLA VERSUS UTILIZACIÓN DE CHANCADORA.....	64
Figura 26 DESCARGAS VERSUS COLA EN CHANCADORA.....	66
Figura 27 COLA VERSUS UTILIZACIÓN DE CHANCADORA.....	66
Figura 28 PRODUCTIVIDAD DEL CAMIÓN.....	71
Figura 29 GANANCIA VS. COSTO ACARREO.....	72

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 UBICACIÓN Y GENERALIDADES

Compañía Minera Antamina S.A. es una empresa nacional, regida por las leyes peruanas, resultado de la unión de capitales extranjeros. Antamina produce concentrados de cobre, zinc y molibdeno, además de subproductos como plata, plomo y bismuto de manera secundaria, con una operación minera a tajo abierto.

El yacimiento minero se ubica en la zona conocida como Conchucos, a 4300 m.s.n.m., a 35 kilómetros de la comunidad de San Marcos, ubicada en el distrito del mismo nombre, provincia de Huari, región Áncash. Las operaciones mineras se realizan a tajo abierto, donde se explota un depósito mineral del tipo skarn (mineral rocoso irregular) de cobre-zinc de alta complejidad.

Antamina presenta dos zonas principales de operaciones: (1) la mina, ubicada en el distrito de San Marcos, Huari, Áncash, y (2) el puerto Punta Lobitos, ubicado en la costa de Huarmey. Las operaciones entre mina y puerto están conectadas por un mineroducto (tubería subterránea) que transporta los concentrados producidos por la mina y que recorre 302 kilómetros para cruzar la región Áncash hasta llegar a Punta Lobitos, en la jurisdicción de Huarmey. En el puerto se utiliza una cinta transportadora recubierta ubicada a lo largo de un muelle de 271 metros de longitud para trasladar los concentrados desde el área de filtrado y los depósitos hasta los barcos de carga. Después de extraída el agua del lodo concentrado, los minerales se cargan en barcos y se transportan a los mercados de todo el mundo.

Sus coordenadas geográficas son:

Altitud	4,200 a 4,700 m.
Latitud Sur	9° 32 " S
Longitud Oeste	77° 03" W



FIGURA 1: PRINCIPALES MINAS A TAJO ABIERTO

Fuente: MEM

1.2 ACCESIBILIDAD

La mina Antamina se ubica en la Cordillera Occidental de los Andes a 270 km en línea recta al norte de Lima. Huaraz es la ciudad más cercana a la mina y se puede llegar por vuelo directo desde Lima o por carretera en 6 horas. El acceso a la mina es por una vía asfaltada a 3.5 horas de manejo (200km).



FIGURA 2: ACCESOS A ANTAMINA

Fuente: Departamento de Geología.

1.3 CLIMA

El yacimiento se ubica a 4,300 m.s.n.m., el clima es frío y seco, en el mes de abril a septiembre, y lluvioso de octubre a marzo; la temperatura varía entre -5 °C a 16 °C y una humedad relativa promedio de 55 %.

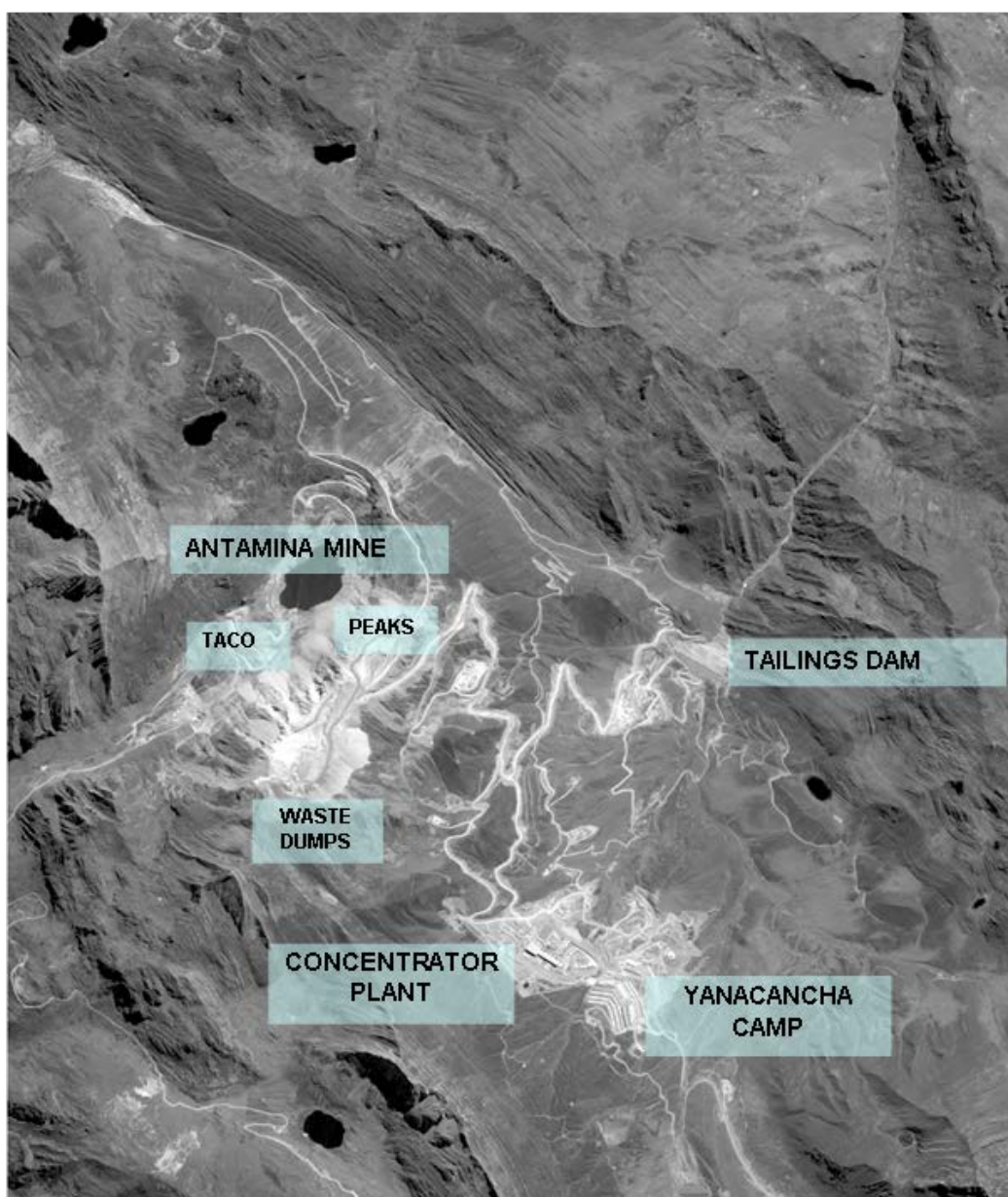


FIGURA 3: FOTO AÉREA DE ANTAMINA

Fuente: Departamento de Geología

1.4 RESEÑA HISTÓRICA

El valle de Antamina revela producción minera artesanal por siglos. El primer propietario y operador registrado fue Leopoldo Pflucker en 1850. El construyó una pequeña fundición de cobre y plomo en Juproc usando carbón de los afloramientos cercanos. El naturalista italiano Antonio Raymondi visitó el área en noviembre de 1860 y encontró a la fundición produciendo lingotes de 35 kg con 20 a 25 Oz Ag.

En la década de 1950, el yacimiento de Antamina estuvo dentro de la cartera de exploración de la Cerro de Pasco Corporation, la que concluyó en un positivo estudio de factibilidad técnico-económico, pero la situación política del país de esa época hizo que su explotación se pospusiera indefinidamente. Con el gobierno militar de la década de 1970, la propiedad de Antamina revertió al Estado y estuvo en manos de Minero Perú durante más de 15 años, para luego proceder a su privatización en 1996. Los inversionistas que ganaron la licitación formaron la Compañía Minera Antamina S.A. Después de un proceso de dos años de exploraciones y tres años de construcción de su complejo minero, inició sus operaciones de prueba el 28 de mayo de 2001.

El proyecto Antamina fue, en sus inicios, el proyecto industrial más grande en la historia del Perú. La cantidad invertida en la fase de construcción fue de 2.3 mil millones de dólares. El 11 de Julio de 2001, se envió el primer embarque de concentrado con más de 16,000 toneladas de concentrado de cobre enviadas a Canadá en el barco Federal Agno. Antamina inició su

producción comercial el 1 de octubre de 2001. La ceremonia de inauguración oficial de las operaciones se realizó el 14 de Noviembre del 2001, contando con la presencia del Sr. Presidente Constitucional de la República, Dr. Alejandro Toledo, así como de diversas autoridades.



FIGURA 4: PUERTO PUNTA LOBITOS - HUARMEY

Fuente: Departamento de Geología

1.5 ORGANIZACIÓN

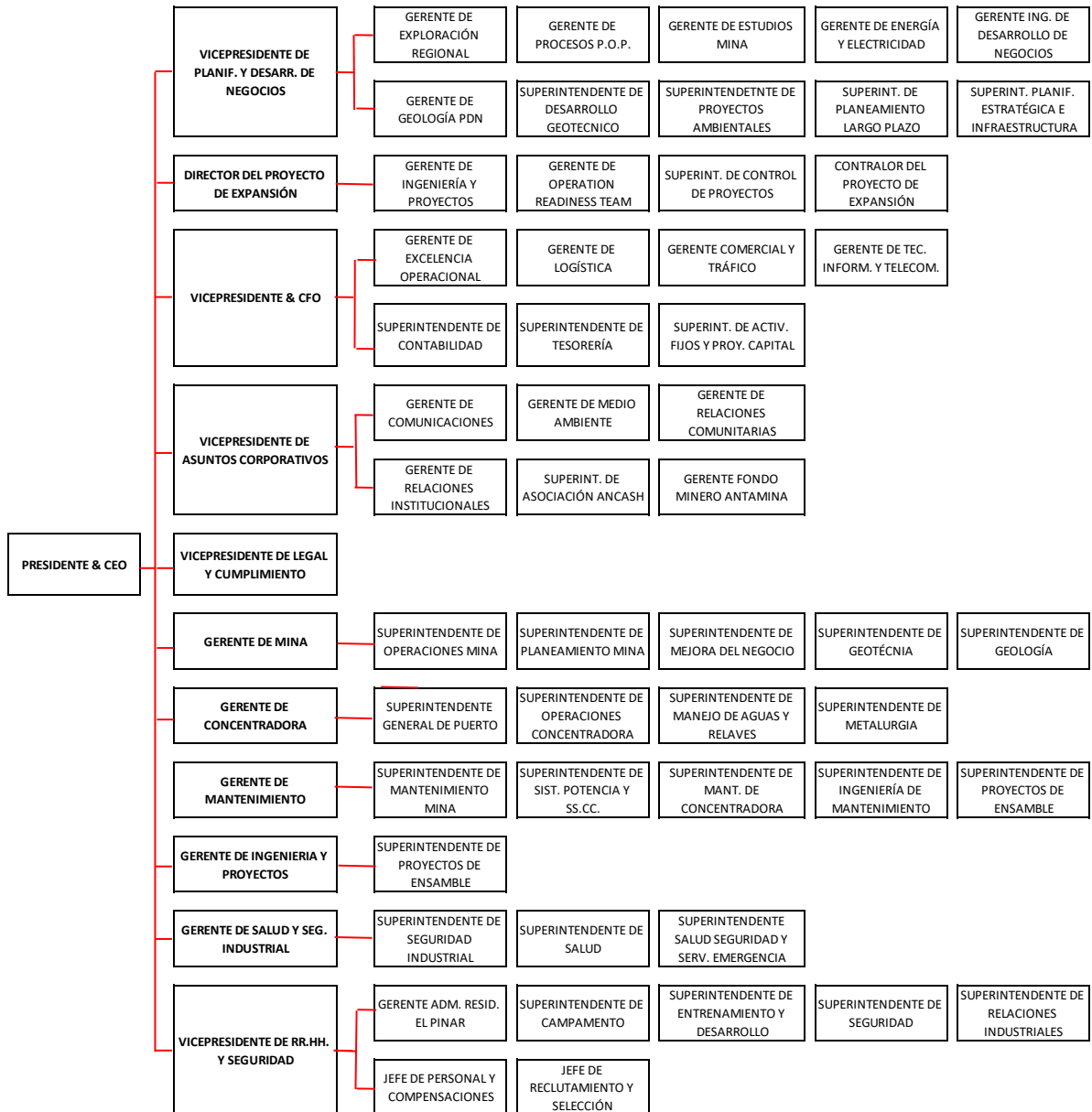


FIGURA 5: ORGANIGRAMA DE ANTAMINA

Fuente: Página web de Antamina

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

2.1.1 GEOMORFOLOGIA

Los Andes del norte del Perú están comprendidos de oeste a este, la zona costera (desierto), la Cordillera Occidental y la cordillera Oriental. Antamina se ubica en la parte oriental de la Cordillera Occidental.

La Cordillera Occidental tiene 2 cadenas montañosas. El valle del río Santa (valle de Huaraz) separa la Cordillera Negra al oeste de la Cordillera Blanca al este. Antamina se sitúa al este de la Cordillera Blanca entre ella y el valle del río Marañón. El Marañón separa la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental.

2.1.2 GEOLOGIA

Entre el área de Antamina y el Océano Pacífico se encuentra la zona de Costa y la Cordillera Negra. Estas juntas forman un arco magmático que estuvo activo desde el Jurásico Tardío hasta el Terciario. Los principales componentes de este arco son los volcánicos Casma (Albiano, 105 a 95 Ma), El Batolito de la Costa (100 a 50 Ma) y los volcánicos del Grupo Calipuy (Cretáceo Tardío a Paleógeno, 95 a 30 Ma). El último forma la Cordillera Negra. El arco fue deformado durante el Cretáceo medio (Fase Mochica) y Cretáceo Tardío (Fase Peruana).

Al este del arco magmático se depositó una gruesa secuencia de sedimentos en una cuenca marina, profunda, extensional y ensiálica de tras-arco llamada la Cuenca Occidental (o geosinclinal peruano occidental), también activo desde el Jurásico Tardío a Cretáceo Tardío. Los sedimentos consisten de pizarras y cuarcitas (Formación Chicama, Jurásico Tardío, 152 a 144 Ma) seguido de potentes areniscas, lutitas y carbón con calizas marinas (Grupo Goyllarisquizga, Cretáceo Temprano, 144 a 114 Ma). Luego se produjo una transgresión marina y deposición de carbonatos marinos potentes (Cretáceo Medio, 113 a 88 Ma, Formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo y Jumasha), seguidos por lutitas marinas (Formación Celendín) en el Cretáceo Tardío (88 a 84 Ma). Siguiendo a una regresión marina y levantamiento de la cuenca, hubo una deposición continental de sedimentos de capas rojas (Formación Casapalca) en el Cretáceo Tardío y Paleoceno. El depósito de Antamina se emplaza en las calizas de la Formación Celendín

en la parte este de la Cuenca Occidental. Esta cuenca estaba limitada al este por un alto en su basamento (el Alto del Marañón, Alto Axial o Geoanticlinal del Marañón) formado por el Precambriano Tardío con esquistos, filitas y pizarras (Complejo Marañón) que ahora forma la Cordillera Oriental. Los sedimentos mesozoicos son mucho más delgados en ésta. Al este, una secuencia de areniscas y carbonatos mesozoicos se depositaron en una cuenca externa de antepaís (la Cuenca Oriental o Geosinclinal Peruano Oriental) sobre el escudo Brasileiro. Esta secuencia es más delgada que la de la Cuenca Occidental y ahora forma la faja de pliegues y sobre-escurrimientos de la Zona Subandina.

La Cuenca Occidental se deformó en la fase de plegamiento Inca 2 en el Eoceno Tardío (41-40 Ma). Esto dio como resultado intensos plegamientos y fallamientos inversos en toda la cuenca y la formación de una faja de plegamientos y sobre-escurrimientos en la parte este a lo largo del contacto con el Alto del Marañón (Faja de Plegamientos-Sobre-escurrimientos del Marañón). Antamina se ubica en esta faja de plegamientos y sobre-escurrimientos. Durante el Mioceno hubieron tres períodos compresivos cortos (Quechua 1 a 3) hace 19 Ma, 12 Ma y 6 Ma, separados por períodos neutros o extensionales.

En el Mioceno Medio a Tardío, un batolito intruyó la Cordillera Blanca en la parte este de la Cuenca Occidental (Formación Chicama) para formar el Batolito de la Cordillera Blanca (16.5 a 5 Ma). Hay ignimbritas coevales (Formación Yungay). Al mismo tiempo hubo magmatismo difundido a lo largo

de las Cordilleras Occidental y Oriental. El stock de Antamina es una parte de este evento.

2.1.3 METALOGENIA

Antamina yace en la parte este de la franja polimetálica del Peru Central. La franja se ubica en la Cordillera Occidental entre los 6oS (Deflección de Huancabamba) y 14 oS (Deflección de Abancay) y está definida en cada extremo por rasgos estructurales transversales de arco-normal. La mineralización en la franja muestra una asociación Zn-Pb-Ag-Cu-Au, principalmente en los depósitos hidrotermales relacionados a los subvolcánicos e intrusiones de alto nivel calcoalcalinos del Mioceno Medio a Tardío. La franja fue tradicionalmente conocida por las minas mayores de Zn-Pb-Ag como Cerro de Pasco, Milpo, Casapalca-Morococha y otras. También ocurren Depósitos de Pórfidos de Cu y Cu-Au y en la década pasada la franja se ha convertido en la mayor productora de oro en América del Sur con el descubrimiento de depósitos epitermales de oro como Yanacocha, Pierina y Quicay. Los depósitos de esta franja se caracterizan por grandes cantidades de otros metales algunos de los que se pueden producir como subproductos en diferentes minas. Estos metales incluyen, Bi, Cd, Se, Te, Sb, In, Hg, Ge, Sn, W, Mo y As

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

2.2.1 GEOMORFOLOGÍA

El rasgo más antiguo en la parte este de la Cordillera Occidental donde se sitúa Antamina es la superficie Puna. Este es el remanente de una peneplacie de extensión regional que ahora muestran picos de montañas concordantes. Cerca de Antamina los picos son generalmente de 4,500 a 4,600 m de altitud.

La superficie Puna está cortada por las fases Valle y Cañón, que formaron los valles de los ríos mayores en la región tales como el Marañón y el Santa. Las partes altas de los valles formados en la etapa de Valle son amplias y abiertas, generalmente pobladas y cultivadas. Las partes más bajas son cañones angostos y se forman como resultado de un rápido levantamiento y erosión. Pueden ser de hasta 2,000 m de profundidad. La superficie Puna se ha datado en 14.5 Ma, la Fase Valle en +14.5 Ma a -6 Ma y la Fase Cañón en + 6 Ma.

2.2.2 ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURAS

Antamina se localiza dentro de una parte de la Faja de Plegamientos-Sobre-escurrimientos del Marañón la cual aquí tiene un ancho de 40 Km. Esta es una de las partes más anchas de la faja la cual puede llegar a ser tan angosta como 10 Km. Las estructuras y estratigrafía se orientan NW-SE y

los sobre-escurrimientos convergen al este. La edad de los escurrimientos es Incaica 2 (Eoceno Tardío).

El depósito de Antamina se emplaza en la Formación Celendín. Al oeste de Antamina la Formación Jumasha forma una rampa de escurrimiento sobre una lengua sobreescurrecida de Jumasha (es decir sobre sí misma) y la Formación Celendín (ver Figura 2). Jumasha forma montañas prominentes pronunciadas de calizas bien estratificadas gris claras. Continuando al oeste, los sucesivos escurrimientos traen la Formación Pariahuanca sobre Jumasha (no existen las Formaciones Chulec y Pariatambo), la Formación Carhuaz y luego la Formación Chimú. Este último forma un sinclinorio con las Formaciones Santa y Carhuaz que afloran al sur. Más al oeste la Formación Oyón sobre-escurre a la Formación Chimú.

La Formación Celendín aflora al este de Antamina y es suave con escasa exposición. Forma el núcleo de un sinclinorio regional. El eje se inclina ligeramente al SE y corre a lo largo de la Quebrada Huincush hasta Rosita de Oro. El eje debe continuar por debajo de la lengua sobre-escurrida de Antamina ya que la quebrada Tucush está en el limbo norte del sinclinal. La traza actual de la falla que separa Celendín de Jumasha al noreste del Lago Antamina parece ser muy pronunciada. No está claro si se trata sólo de una rampa pronunciada del sobre-escurrimiento o de una falla normal posterior desplazando el cabalgamiento.

El cierre del sinclinal al NW hacia Contonga tiene muchos pliegues complicados menores en la Formación Jumasha. Al este, Celendín está en

contacto estratigráfico con las Formaciones Jumasha y Crisnejas (el último es la facie oriental de las Formaciones Chulec y Pariatambo). Esta zona está sobre-escurrida hacia el este sobre un anticlinal de las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Crisnejas.

2.2.3 INTRUSIONES Y MINERALIZACIÓN

El pórfido de cuarzo monzonita de Antamina es de múltiple fases (9.8 Ma, McKee et al., 1979) y tiene el skarn de Cu-Zn desarrollado alrededor de él. Hay una intrusión cercana de composición similar con un skarn angosto y débilmente mineralizado a 1.5 km en Condorcocha.

Los stocks de Contonga y Taully se encuentran a 4 km al norte de Antamina e intruyen la Formación Jumasha. La composición es cuarzo monzonita y la textura varía de porfirítica a equigranular con alteración fílica. Los stocks son pequeños (300 m y 650 m de diámetro respectivamente) y forman cilindros sub-verticales con un delgado anillo de skarn de granate (promedio 3.2m de ancho) con mineralización de Zn-Ag-Pb y bajo Cu que se ha minado en Contonga.

El plutón Lucía (propiedad Estrella del Norte) se ubica a 7 km al SE de Antamina. Es un stock relativamente grande (4 km x 2.5 km) de cuarzo monzonita y granodiorita con una textura equigranular en el cuerpo principal y porfirítico en la parte NW. Intruye a la Formación Jumasha y tiene skarn de granate delgados desarrollados en el contacto con anchos de 0.5 a 2.5 m y

longitudes de centenas de metros, así como las vetas en las calizas. Los skarns tienen mineralización de Zn-Pb-Ag con bajo Cu. No ha habido minería aparte de las labores en pequeños prospectos.

2.2.4 GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

El depósito de Antamina es un skarn de cobre muy grande con zinc, plata, molibdeno y bismuto formado por la intrusión de un stock de cuarzo monzonita en calizas.

2.2.5 GEOMORFOLOGÍA

El valle de Antamina es un valle glacial en U de 4 km de largo con lados pronunciados y un lago remanente en la parte superior del valle. La superficie del lago estaba a 4,337 m (agosto 1996) y el tiene un largo de 760 m por 510 m de ancho y hasta 51 m de profundidad. Está separado del valle principal por un lomo rocoso conocido como el Taco (4,375 m), que está 38 m por encima del nivel del lago y 155 m por encima del valle principal. La parte NW son afloramientos de roca pulida con roche moutonées, mientras que la parte SE tiene depósitos de morrenas y los aliviaderos del lago. Este fue un desfogue del corredor glacial en forma de una lengua de hielo o torrente.

La altitud del valle de Antamina varía de 4,200 m a casi 4,100 m y tiene un gradiente débil. Hay dos valles colgados, Usu Pallares y Vallecito.

La cabeza del valle de Antamina (noreste) es una cima puntiaguda con una altitud de 4,640 m a 4,717 m. Los picos llegan a 5,073 m (Cerro Tornillo) forman el lado noroeste del valle. Las cumbres al lado sureste del valle varían de 4,683 m a 4,924 m (Cerro Buque Punta).

El valle de Antamina tiene una profundidad de 500 a 600 m por debajo de los márgenes y hasta 1,000 m por debajo del pico más alto. La topografía preglacial se interpreta haber sido una superficie puna alrededor de los 4,700 m con picos por encima de los 5,000 m. Hubo probablemente un pequeño y poco profundo río en Antamina formado como una cabecera durante las etapas de Valle y Cañón. El hielo acumulado en este valle durante la glaciación Pleistocénica la cual formó el valle principal y los valles colgantes.

El depósito de Antamina probablemente no estuvo expuesto antes de la primera glaciación. Se interpreta que la primera glaciación descubrió el depósito y expuso los sulfuros frescos. Esto se muestra por la presencia de sulfuros frescos en una matriz de carbonatos en la primera morrena. En el período interglacial hubo una etapa de oxidación de los sulfuros expuestos dando como resultado la formación de ferricretas. Esta zona de oxidación fue parcialmente removida por el segundo corredor glacial como se observa por la morrena limonítica de esta etapa.

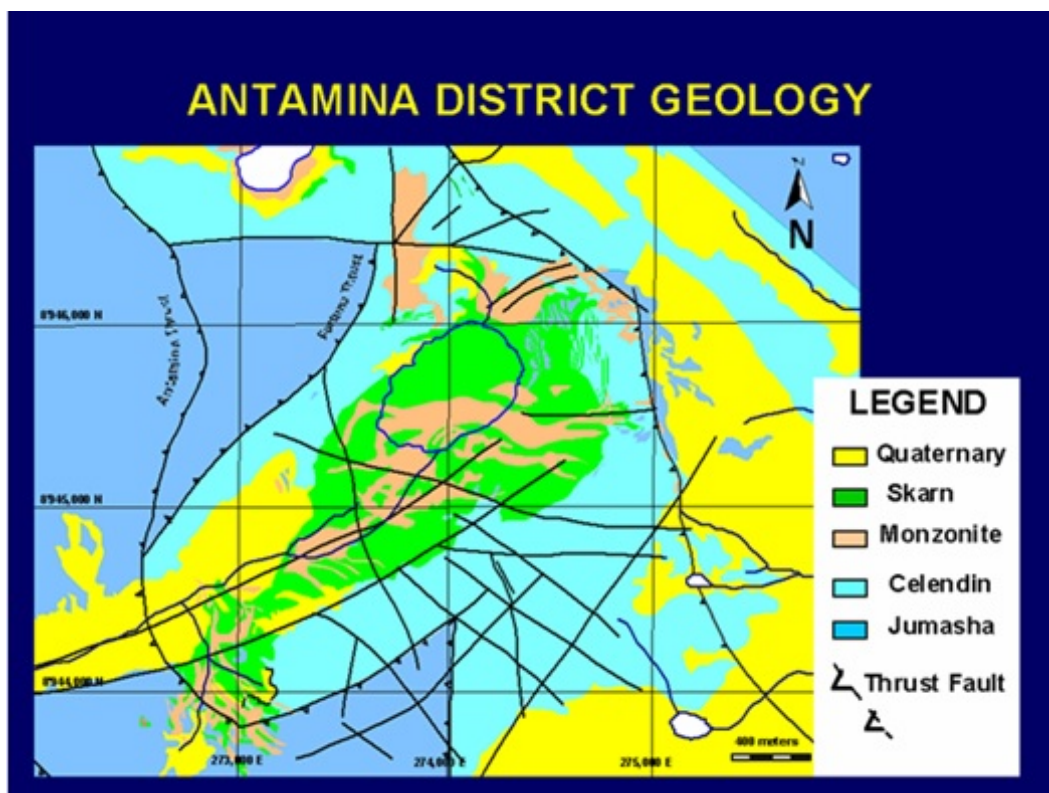


FIGURA 6: GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS SIMPLIFICADAS DEL DISTRITO DE ANTAMINA

Fuente: Departamento de Geología.

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El depósito de Antamina está dentro de una faja de sobreescurrecimientos y el aspecto estructural es el principal control en la intrusión y alteración de skarn. La historia estructural interpretada del depósito se describe como sigue:

Una falla longitudinal NE-SW es la estructura más antigua. Esta controló parte de la intrusión y el valle de Antamina. Hay una exposición de esta falla en la cabecera del valle por debajo de un sobreescurrecimiento posterior.

Una secuencia de sobreescurrecimientos NE se desarrollaron durante el Eoceno Tardío, fase II Incaica (ca 40-41 Ma). El depósito de Antamina se ubica dentro de una lengua de sobreescurrecimientos formada por lo menos seis planos de sobreescurrecimiento. Esta lengua tiene 3 Km. de ancho y 3 Km. de largo aunque pudo haber tenido una mayor extensión originalmente. Esta secuencia de sobreescurrecimientos es una pila imbricada que ha resultado en un sobre-engrosamiento de las rocas huéspedes favorables en el área (Jumasha).

Una extensión muy localizada ocurrió en el lado SE del valle actual de Antamina. La extensión fue acomodada por fallamientos lístricos y por movimiento de falla con salto en dirección del rumbo a lo largo de la falla principal longitudinal NE-SW. Esta fase extensional menor se puede correlacionar regionalmente con la fase Quechua 2. Se interpreta que las intrusiones de Antamina han sido controladas por fallamientos lístricos ya que se les nota ocupando planos de falla en la caliza por encima del depósito. Dentro del depósito no hay señales obvias de que estas fallas existieron ya que su ubicación está ahora completamente obliterada por la intrusión y el skarn.

Movimientos de fallas post-mineralización de alto ángulo parecen haber ocurrido en el contacto SE del skarn en el lado SE del valle. No hay ni desplazamiento significativo ni corte aparente en el skarn. Sin embargo, se considera que ha habido algún salto debido al contraste de ductilidad en el contacto skarn/mármol.

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO

2.4.1 TIPO DE DEPÓSITO

El depósito de Antamina es un skarn de cobre muy desarrollado conteniendo zinc, plata, molibdeno, plomo y bismuto formado por la intrusión del cuerpo de cuarzo monzonita en las calizas. Las características de una zona de skarn dependen de la naturaleza de la roca intruída y las emanaciones activadas por el cuerpo intrusivo. Se reconocen dos tipos de alteración: recristalización o reacomodo de los constituyentes presentes en las rocas y adición de materiales. La mayoría de los depósitos de skarn muestran ambos aspectos. Los skarn más evidentes se desarrollan cuando la roca encajonante es una roca sedimentaria de composición carbonatada. La depositación de minerales en los depósitos de skarn típicamente muestra controles estructurales y estratigráficos. La litología del skarn generalmente es zonada a partir del centro hacia los bordes.

El depósito de Antamina muestra características tanto de un skarn de cobre como de zinc. Los skarns de cobre normalmente se forman en asociación proximal con el intrusivo que es la fuente de los metales, mientras que los skarns de zinc generalmente se forman distales a la fuente de fluídos. Los estudiosos del depósito de Antamina creen que los fluídos mineralizantes se originaron en una fuente distal más profunda y por lo tanto no estuvieron en equilibrio con el intrusivo presente en el valle actual. Esto resultó en una reacción de los fluídos tanto en los intrusivos como en las calizas formando las unidades endoskarn y exoskarn. Se cree que los intrusivos previamente

emplazados causaron un evento de metamorfismo termal formando los hornfels que rodean el depósito con wollastonita asociada y colapso en el volumen. Estas unidades luego actuaron como trampas para sucesivos eventos mineralizantes que forzaron a los fluidos a reaccionar con los intrusivos formando el endoskarn y limitaron la reacción hacia la roca circundante formando los exoskarns. Se cree que los fluidos fluyeron a través de los contactos originales intrusivo-caliza y varios otros planos de debilidad estructural. La mineralización se pudo extender distancias significativas del depósito a través de las fallas de sobre-escurrimiento, planos de falla, contactos con diques y a través de las unidades estratigráficas favorables. A medida que el sistema se desarrollaba se piensa que ocurrió una sobre presurización con un violento destape del sistema y la formación de las brechas hidrotermales. El sistema de la mineralización colapsó como resultado de este evento. Después del evento de brecha apareció un último evento de mineralización como se evidencia por las venillas que cortan la brecha. Hay una fase final de alteración retrógrada muy débil generalmente evidente sólo en las áreas de debilidad estructural que permitieron el flujo de fluidos.

2.4.2 MINERALIZACIÓN

El yacimiento de Antamina ha probado ser consistentemente bien mineralizado y marcadamente predecible en términos de ley y zonamiento metálico. Muy poco de la litología de skarn en Antamina está sin mineralización.

Como la mineralogía de silicatos de skarn, Antamina está horizontalmente zonada con respecto a los componentes metálicos mayores. Este zonamiento lateral está claramente relacionado a la orientación de los contactos entre intrusivo y caliza y continúa a través de casi un Km. de alcance vertical en el depósito explorado hasta ahora.

El zonamiento metálico es muy distintivo dentro del depósito (ver figuras 7 y 8). El cobre ocurre homogéneamente distribuido a partir del endoskarn hasta el contacto con la caliza. El zinc y bismuto tienden a ocurrir dentro de los 70m del contacto entre el skarn de granate verde con la caliza/mármol/hornfels. La molibdenita está generalmente localizada dentro del núcleo intrusivo y el endoskarn circundante. La plata está presente en todas las litologías del exoskarn. El plomo está generalmente ubicado en el exoskarn de granate verde y el hornfels. El cobalto está generalmente asociado a la mineralización de esfalerita. Sin embargo, se pueden encontrar venillas y manchas de cualquier mineral como ocurrencias raras en cualquier tipo de roca en Antamina.

El mineral de sulfuro predominante de cobre es la calcopirita. Aproximadamente ocho por ciento de la mineralización de cobre se encuentra en la forma del mineral bornita. El zinc ocurre en la forma de esfalerita (ver Figuras 7, 8 y 9). La plata normalmente está asociada con calcopirita. Sin embargo, también ocurre asociada con galena, sulfosales de bismuto y tenantita. La molibdenita es el sulfuro fuente de molibdeno.

Los minerales de bismuto más comunes son: bismutinita, cosalita, wittichenita, cuprobismutita, aikinita, kobelita y otros varios minerales de Bi están presentes.

Hay muy poco desarrollo de una capa de oxidación y enriquecimiento supérgeno. Esto se debe a la reciente glaciación del depósito, el clima húmedo y la carencia de pirita significativa para crear lixiviación ácida.

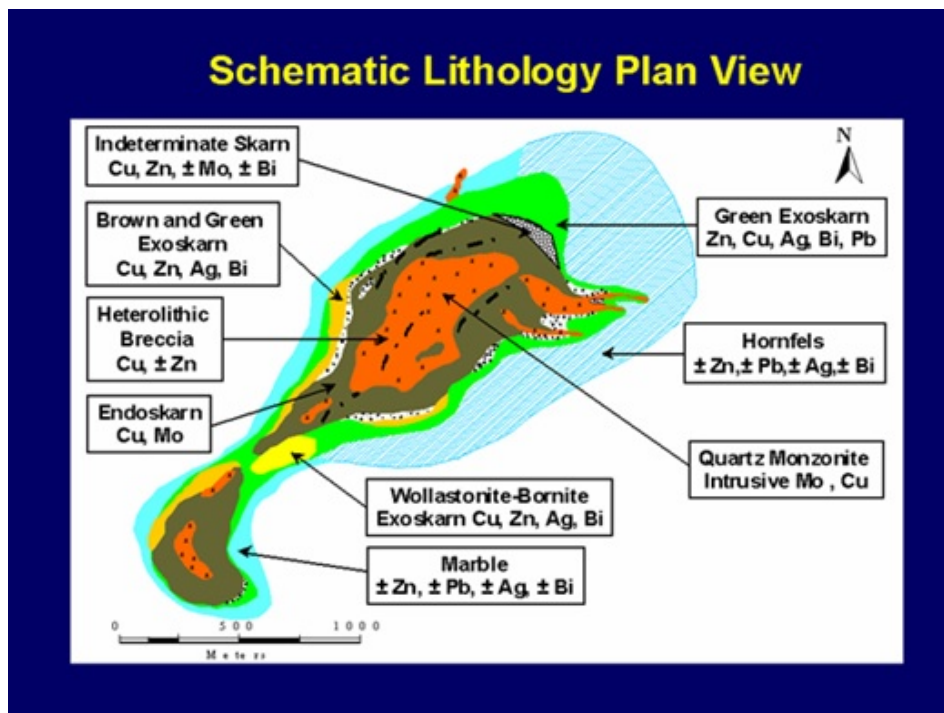


FIGURA 7: ZONAMIENTO TÍPICO LITOLÓGICO/METÁLICO

Fuente: Departamento de Geología

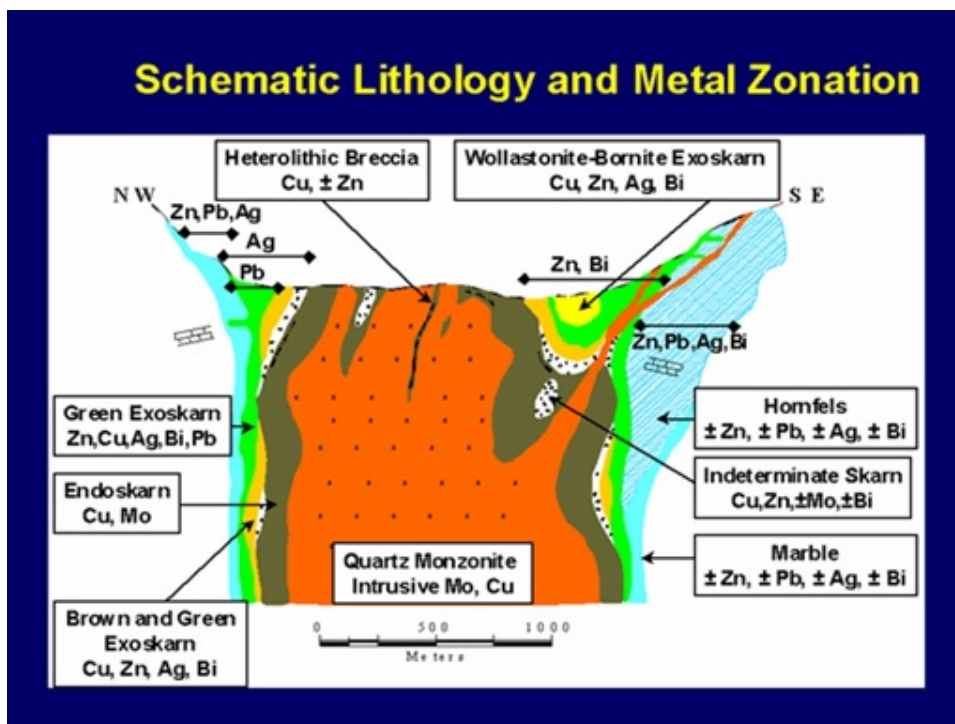


FIGURA 8: ZONAMIENTO TÍPICO LITOLÓGICO/METÁLICO

Fuente: Departamento de Geología

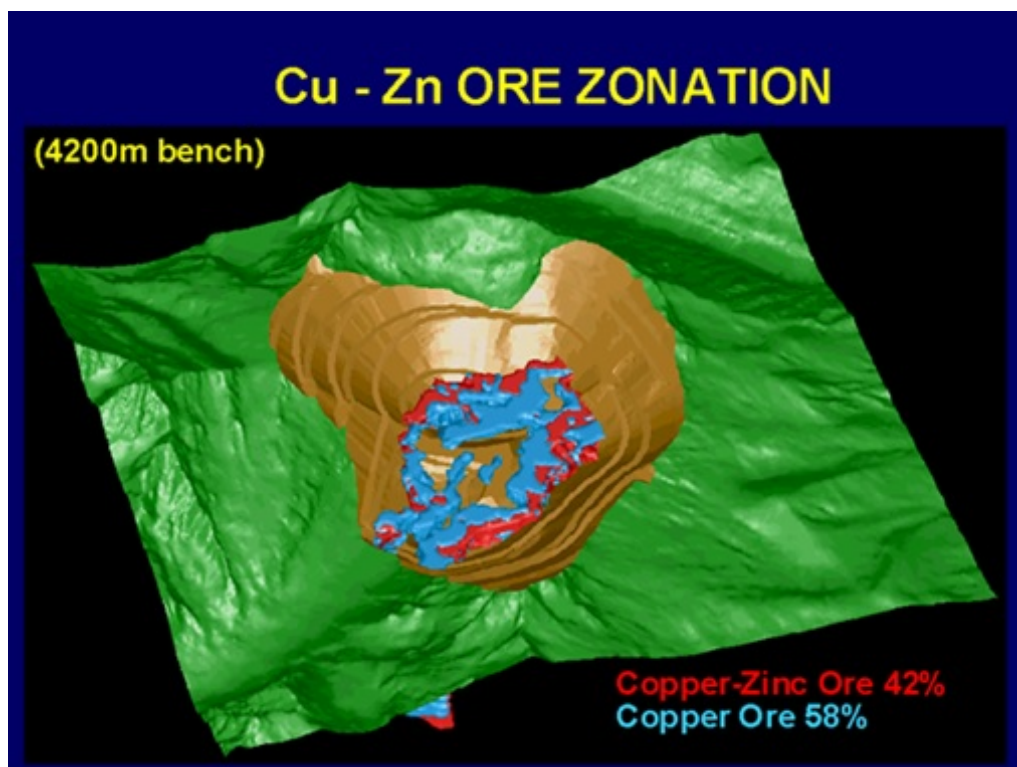


FIGURA 9: DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS MINERAL DE ANTAMINA

Fuente: Departamento de Geología

CAPÍTULO III

OPERACIONES MINA

3.1 DESCRIPCIÓN

Antamina es una mina con un método de explotación a tajo o cielo abierto (open pit); siendo una de las características principales en su diseño los bancos de explotación de 15 metros de altura. En la actualidad, posee un ratio de remoción de material promedio de 700 000 toneladas diarias, operando las 24 horas del día y los 365 días del año, en turnos de 12 horas; lo cual la convierte en una de las diez primeras minas a escala mundial en cuanto a volumen de operación.

Uno de los grandes desafíos ha sido remover parte de la geografía original y desaguar una laguna para dejar al descubierto el material mineralizado. Dada las características del yacimiento, Antamina inició sus operaciones de desbroce (remoción de roca estéril) en 1999. El tajo de la mina en la actualidad mide 3.4 km de largo, 1.8 km de ancho, y tiene una profundidad de 700 metros.

La necesidad de la perforación y voladura está ligada a la velocidad de minado del equipo de carguío, lo que obliga a tener una reserva mínima de material fracturado. El reto principal de la perforación y voladura es obtener un material óptimamente fracturado.

Fragmentado el material, se inicia la actividad de carguío.

El material de desmonte es llevado a los botaderos respectivos.

El mineral es acarreado hacia la chancadora primaria, con capacidad promedio de 145 000 toneladas por día. Ésta reduce los grandes bloques de mineral hasta en cinco pulgadas y quedan listos para ingresar a la Planta Concentradora. Para el material ya chancado se usa una faja transportadora a lo largo de un túnel de 2.6 km. que atraviesa la montaña entre las quebradas Antamina y Yanacancha. Luego, el mineral transportado es acumulado en pilas (stockpile) de acuerdo a las características del mismo.

A la fecha de hoy, Antamina tiene:

- Vida operativa de molienda: Hasta el 2029
- Vida operativa de minado: Hasta el 2026

Para el mantenimiento de vías y movimiento de cable eléctrico se cuenta con la siguiente flota de equipo auxiliar:

TABLA 1: EQUIPO AUXILIAR

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad
Tractor de oruga	Caterpillar	D10R	8
	Caterpillar	D11R	2
	Caterpillar	D11T	4
Tractor de rueda	Caterpillar	834B	2
	Caterpillar	854G	1
	Caterpillar	854K	6
Motoniveladora	Caterpillar	16H	3
	Caterpillar	24H	2
	Caterpillar	24M	6
Excavadora	Caterpillar	375	2
	Caterpillar	330BL	2
	Caterpillar	385 CL	2
	Caterpillar	385 CLM	2
	Caterpillar	390D	1
Cargador frontal	Caterpillar	924F	1
	Caterpillar	988F	3
	Caterpillar	924H	1
	Caterpillar	966G	1
Cisterna	Kenworth	T800B	3
	Caterpillar	777D WT	4
	Caterpillar	785D WT	3
Cama baja	Caterpillar	LB777D	1
	Caterpillar	LB793C	1
Retroexcavadora	Caterpillar	426C	1
Total			62

Fuente: Departamento de Operaciones Mina

3.2 PERFORACIÓN

Para la perforación se cuenta con el siguiente equipo:

TABLA 2: EQUIPOS DE PERFORACIÓN

Equipo	Marca	Modelo	Diámetro de perforación	Cantidad
Perforadora Eléctrica	Bucyrus	BE 49R-111	12 1/4"	5
	Bucyrus	BE 49HR	12 1/4"	4
Perforadora Diesel	Ingersoll Rand	DM M2	9 7/8"	1
	Atlas Copco	ROC L8	5"	6
	Sandvik	DP1500i	5"	1
	Drilltech	D75KS	11 3/4"	1
Total				18

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

Las perforadoras BE49R y BE49HR son usadas para la perforación de taladros de producción; mientras que las perforadoras DMM2, Rock L8 y DP1500i perforan taladros de pre-corte.

DISEÑO DE MALLA

La perforación de las mallas de producción tiene los siguientes diseños:

TABLA 3: DISEÑO DE MALLA

Tipo de material	Perforadora	Diámetro	Burden x Espaciamiento	Sobreperforación
Mineral	BE49R & BE49HR	12 1/4"	5.5m x 6.5m (M5, M6)	1.5m
			6.0m x 7.5m (M4)	1.5m
			7.0m x 8.0m (M1)	1.5m
Desmonte	BE49R & BE49HR	12 1/4"	8.0m x 9.0m	2.0m
			8.5m x 9.5m	2.0m
			9.5m x 11.0m	2.0m

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

Los taladros de pre-corte se perforan con el siguiente diseño:

TABLA 4: DISEÑO DE PRE-CORTE

Perforadora	Diámetro	Espaciamiento	Altura de taladro
DMM2	9 7/8"	2.0m	16.0m
ROCK L8 & DP1500i	5"	1.3m	16.0m

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

Además, se usa una fila de taladros buffer cuyo diseño es el siguiente:

TABLA 5: DISEÑO DE BUFFER

Perforadora	Diámetro	Burden x Espaciamiento	Altura de taladro
BE49R & BE49HR	12 1/4"	4.25m x 5m	16.0m

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

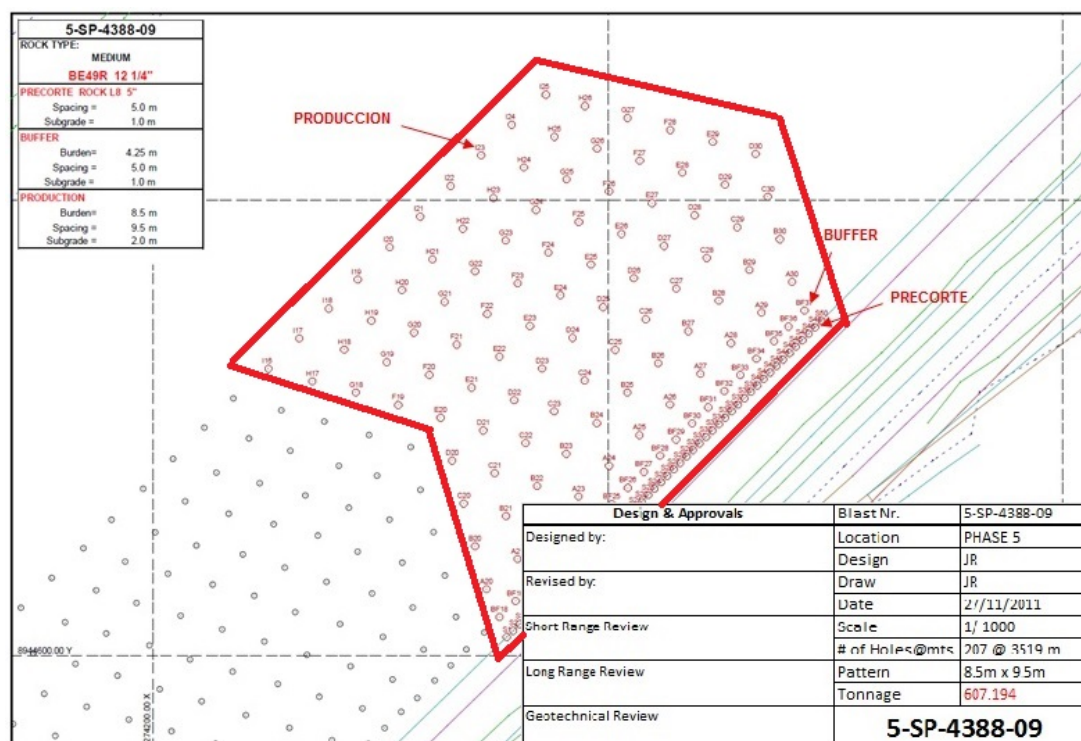


FIGURA 10: PLANO DE PERFORACIÓN EN LA FASE 5

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

La velocidad de perforación en desmonte es de 18 a 21m/h en zona dura y de 21 a 40 m/h en zona media.

En zona mineralizada, la velocidad de perforación varía de 45 a 60 m/h

3.3 VOLADURA

En Antamina se realizan tanto voladuras con accesorios pirotécnicos como con detonadores electrónicos.

El carguío de taladros se realiza con camiones fábrica y se usa Heavy Anfo en mezclas de 50/50 y 60/40 dependiendo de la presencia de agua en los taladros.

Carguío de explosivos para taladros de producción:

TABLA 6: TALADROS SIN AGUA

Material	Malla (m)	Diámetro de taladro	Altura de taladro (m)	Explosivo HA55(m)	Explosivo HA55 (kg)	Altura de taco (m)	FC (kg/m ³)
Mineral	5.5 x 6.5	12 1/4"	16.5	10	966	6.5	1.80
	6.0 x 7.5	12 1/4"	16.5	10	966	6.5	1.43
	7.0 x 8.0	12 1/4"	16.5	10	966	6.5	1.15
Desmonte	8.0 x 9.0	12 1/4"	17.0	10	966	7.0	0.89
	8.5 x 9.5	12 1/4"	17.0	10	966	7.0	0.80
	9.5 x 11.0	12 1/4"	17.0	10	966	7.0	0.62

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

TABLA 7: TALADROS CON AGUA

Material	Malla	Diámetro de taladro	Altura de taladro (m)	Explosivo HA64(m)	Explosivo HA64 (kg)	Altura de taco (m)	FC (kg/m ³)
Mineral	5.5 x 6.5	12 1/4"	16.5	10	981	6.5	1.83
	6.0 x 7.5	12 1/4"	16.5	10	981	6.5	1.45
	7.0 x 8.0	12 1/4"	16.5	10	981	6.5	1.17
Desmonte	8.0 x 9.0	12 1/4"	17.0	10	981	7.0	0.91
	8.5 x 9.5	12 1/4"	17.0	10	981	7.0	0.81
	9.5 x 11.0	12 1/4"	17.0	10	981	7.0	0.63

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

Carguío de explosivos para taladros buffer:

TABLA 8: TALADROS BUFFER

Taladro	Carga de fondo		Taco intermedio (m)	Segunda carga		Taco final (m)
	HA64 (m)	HA64 (kg)		HA55 (m)	HA55 (kg)	
Buffer	3.5	343.4	3.5	2.0	193.2	7.0

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

Carguío de explosivos para taladros de pre-corte:

- Para taladros de 9 7/8" de diámetro se usa una carga de fondo consistente en 0.8m de HA64 es decir 51 kg.
- Para taladros de 5" de diámetro se usa una carga desacoplada la cual es una emulsión encartuchada de 1 1/2" de diámetro y 17kg de peso.

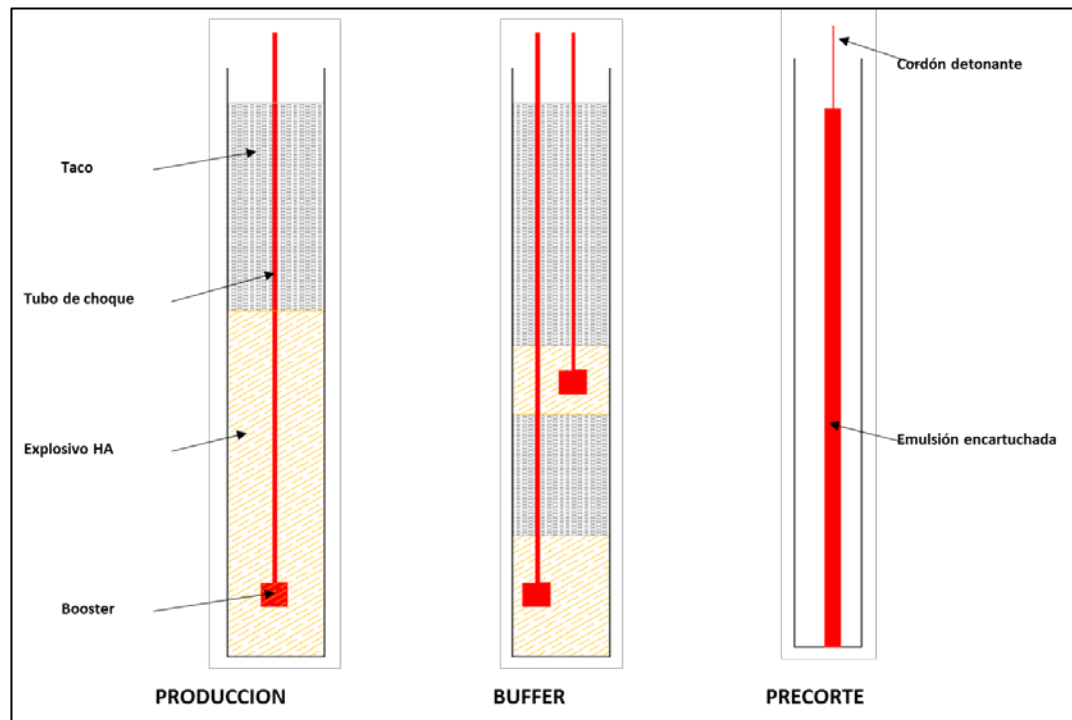


FIGURA 11: DIAGRAMA DE TALADRO CARGADO

Fuente: Departamento de Perforación y Voladura

Las voladuras con accesorios pirotécnicos se ejecutan usando retardos superficiales de 17ms entre taladros.

El uso de detonadores electrónicos nos permite una mayor flexibilidad en los tiempos de detonación; siendo el tiempo entre taladros de 12ms a 18ms.

Los amarres típicos usados son en V y en echelón.

3.4 CARGUÍO

El carguío se realiza con los siguientes equipos:

TABLA 9: EQUIPO DE CARGUÍO

Equipo	Marca	Modelo	Capacidad de Balde (TM).	Cantidad
Pala Eléctrica	Bucyrus	BE495B	73	4
	P&H	4100XPC	108	3
Cargador Frontal	Caterpillar	992G	21	1
	Caterpillar	994D	35	2
	Caterpillar	994F	35	2
	Letourneau	L2350	72	3
Total				15

Fuente: Departamento de Operaciones Mina

Tenemos un stripping ratio de 2.36:1, lo que lleva a tener las palas de mayor producción, como las P&H, para el desbroce.



FIGURA 12: PALA P&H 4100XPC

Fuente: Departamento de Entrenamiento Mina.

3.5 ACARREO

El acarreo de material se realiza con la siguiente flota:

TABLA 10: EQUIPO DE ACARREO

Equipo	Marca	Modelo	Capacidad de Tolva (TM)	Cantidad
Camión	Caterpillar	793C	240	25
	Caterpillar	793D	240	8
	Caterpillar	793F	240	19
	Komatsu	930E4SE	300	62
	Caterpillar	979F	365	1
Total				115

Fuente: Departamento de Operaciones Mina

Los camiones Komatsu 930E-4SE tienen una velocidad promedio de 16 km/h cargado y 19 km/h vacío; mientras que los Caterpillar 793F, 14.5 km/h y 18.5 km/h vacío.

El ancho de diseño de carretera es de 36.00 m con gradientes máximas de 10% y bermas de seguridad de 2.40 m de altura.



FIGURA 13: CAMION KOMATSU 930E-4

Fuente: Departamento de Entrenamiento Mina

3.6 CHANCADO PRIMARIO

Dependiendo del tipo de material a chancar, en promedio se está pasando 145 000 tpd, teniendo picos de 175 000 tpd.

En Antamina la chancadora primaria tiene 2 bahías de descarga, lado norte y lado sur.

Hay un control constante y automático de las paradas de chancadora:

- La falta de camiones medido por un sensor ubicado en la bahía de descarga.
- Tiempo de activación de Big Rock por el botón en pantalla activado de forma manual por el operador de chancado.
- Nivel bajo de pocket medido por un sensor.
- Paradas de chancadora medido por la detección de motor apagado.
- Medida de setting
- Metal detectado
- Sobrecarga de mineral en faja.

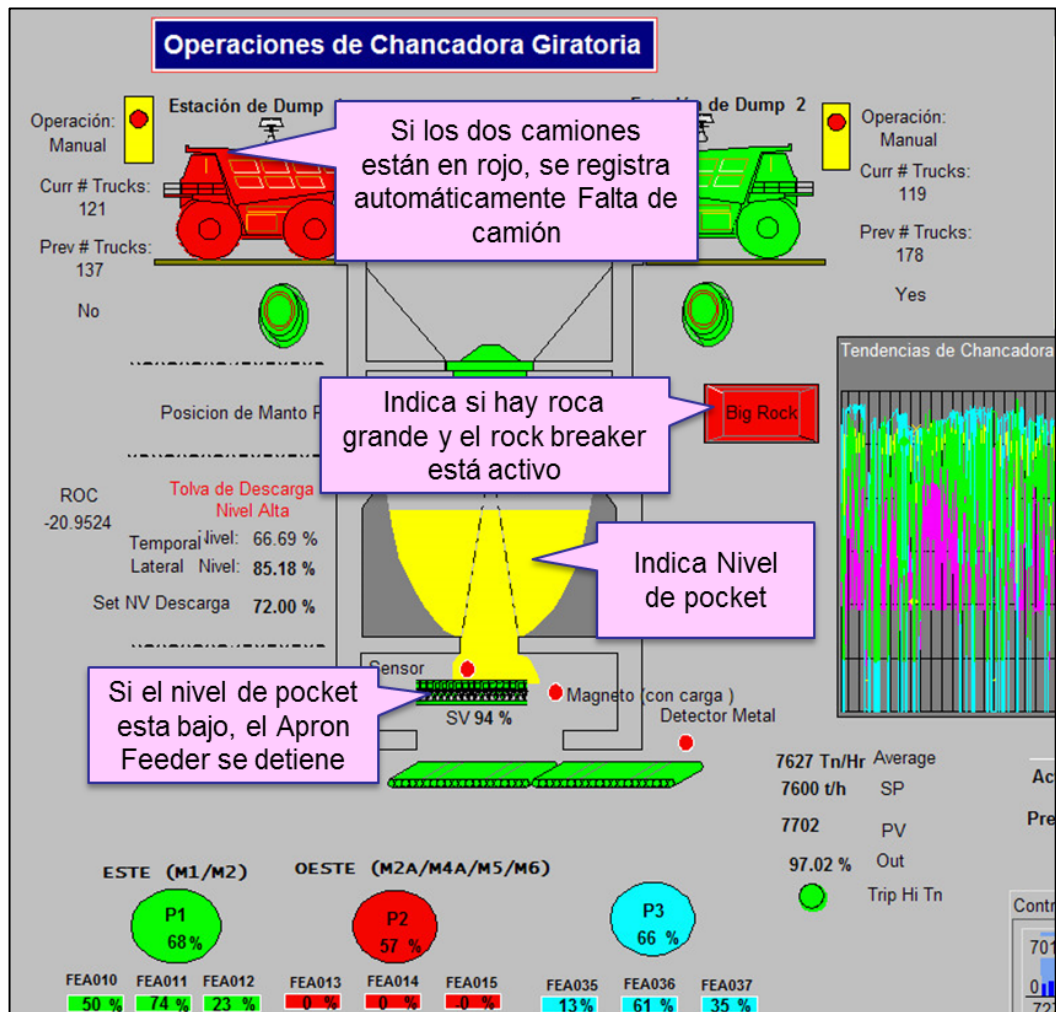


FIGURA 14: MONITOR EN LÍNEA.

Fuente: Departamento de Operaciones Mina

CAPÍTULO IV

COSTOS DE CARGUÍO, ACARREO Y CONCENTRADORA

4.1 DESCRIPCIÓN

La optimización de cualquier proceso de producción debe estar dirigida a buscar el aumento de su productividad y la reducción de los costos. Conocer los costos es conocer su mina.

En los costos generales de la empresa las áreas de Mina y Concentradora son las de mayor repercusión en el costo total, Mina tiene casi la mitad del costo y Concentradora la cuarta parte. (Incluyendo los costos de mantenimiento).

En lo que respecta a los Costos de Mina, casi el 50% es debido a la actividad de Acarreo, de ahí la importancia de realizar mejoras en esta actividad.

Buscando estas oportunidades de mejora, se evalúa la mejor selección de flota a trabajar en la chancadora primaria, que cumpla con el abastecimiento a un mejor costo.

Teniendo en cuenta que tanto los volquetes 793F Caterpillar, y 930E Komatsu, aún están dentro de los 10 años, vida útil según especificaciones de los fabricantes, se evaluará elegir entre ambos al que realice un mejor desempeño.

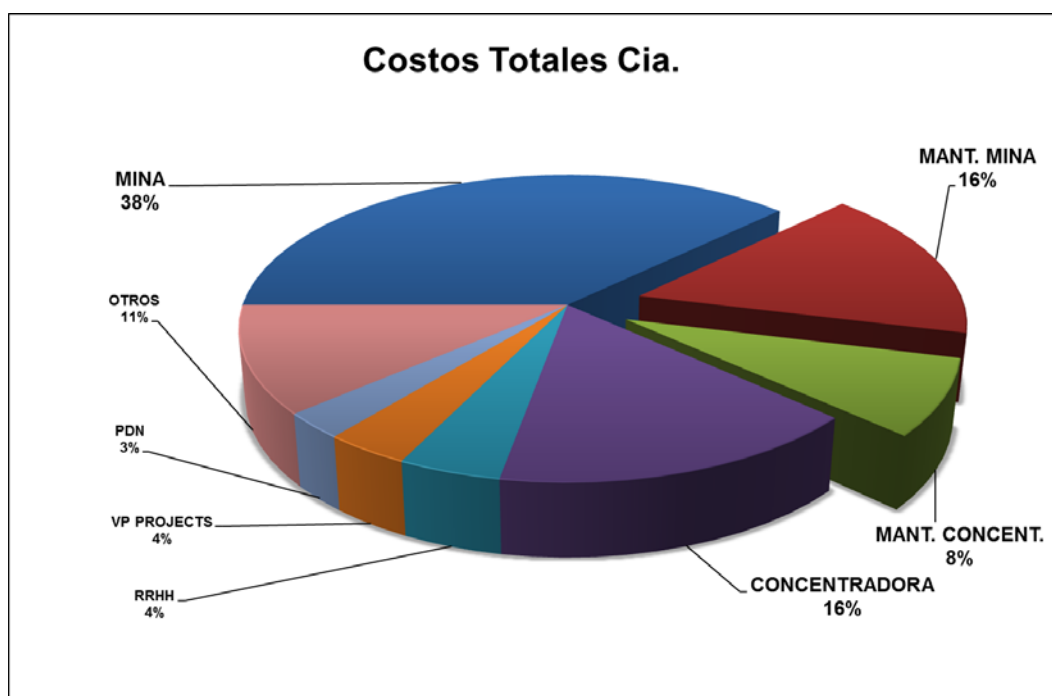


FIGURA 15: COSTOS TOTALES DE LA COMPAÑÍA 2013

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Costos 2013

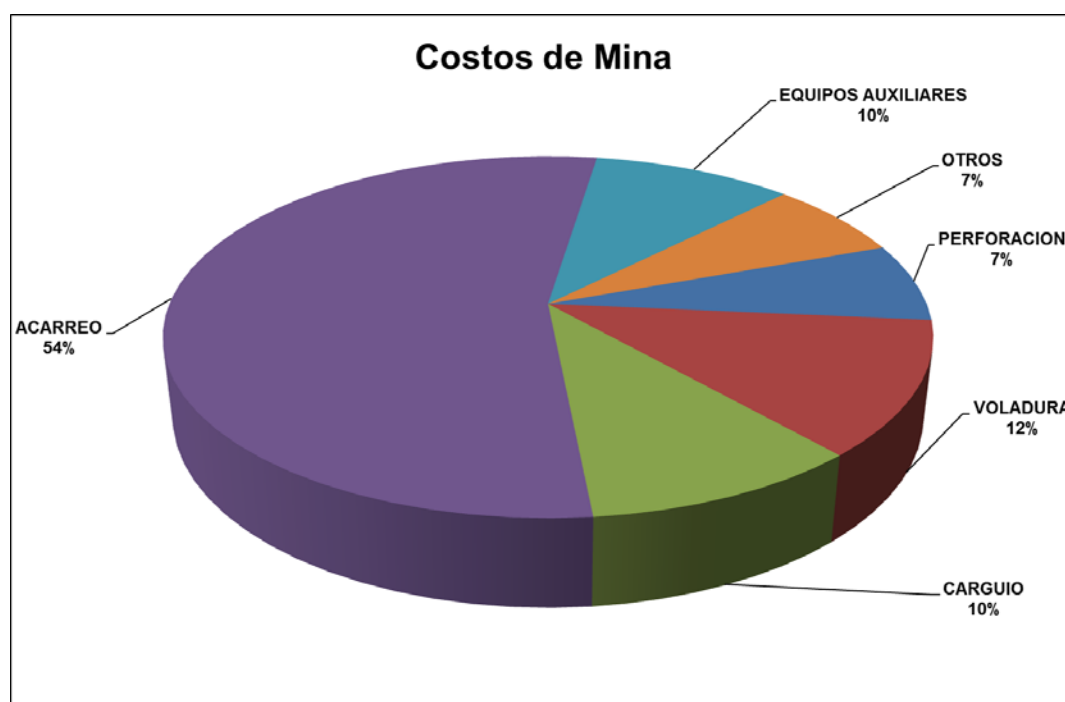


FIGURA 16: COSTOS DE MINA 2013

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Costos 2013

4.2 COSTOS DE CARGUÍO

El 10% de los costos del área de mina son debido a esta actividad.

TABLA 11: COSTO DE CARGUÍO

	2013
GASTO DE CARGUÍO (´000 US\$)	52,385
TONELADAS MOVIDAS (´000 TMH)	254,346
COSTO DE CARGUÍO (US\$/t)	0.206

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Costos 2013

4.3 COSTOS DE ACARREO

Aproximadamente el 50% de los Costos de Mina son relacionados a la actividad de acarreo.

El consumo de combustible representa aproximadamente el 50% del costo de acarreo.

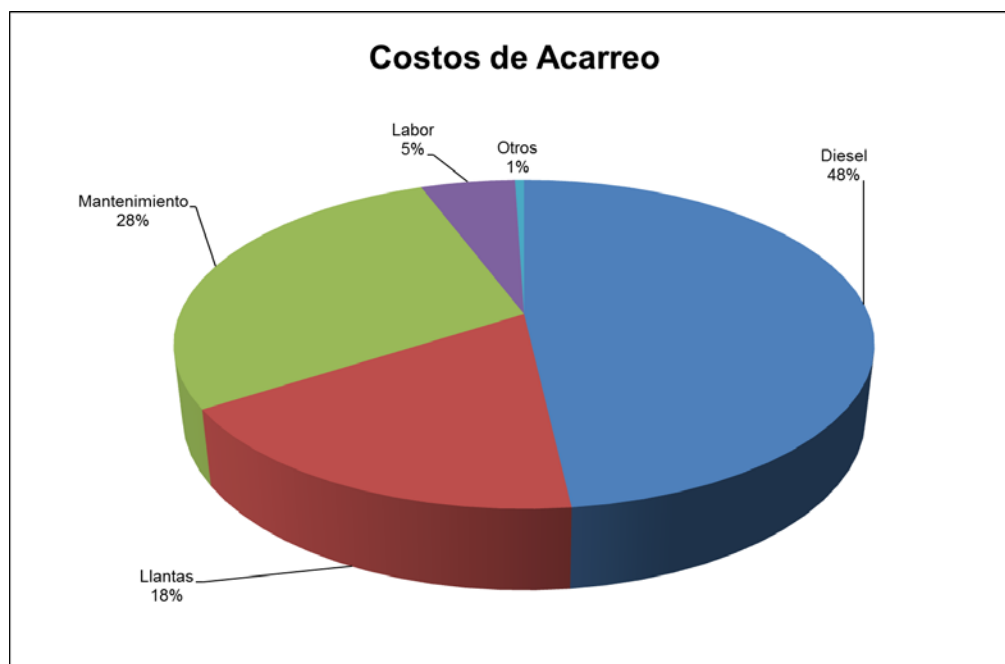


FIGURA 17: COSTOS DE ACARREO

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Costos 2013

Para el presente trabajo sólo tomaremos el consumo de combustible como un costo variable y al resto como fijos, debido a que no necesitamos mucho detalle.

TABLA 12: COSTO DE ACARREO

	2013
GASTO DE ACARREO ('000 US\$)	282,880
COMBUSTIBLE ('000 US\$)	136,348
N° CAMIONES	115
COSTO FIJOS (US\$/CAMIÓN)	1,745

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Costos de Acarreo 2013

4.4 COSTOS DE CONCENTRADORA

Los costos de concentradora incluyen el transporte del concentrado al puerto Punta Lobitos a través del minero-ducto, y representa el 24% de los costos totales.

TABLA 13: COSTO DE CONCENTRADORA

	2013
GASTOS CONCENTRADORA ('000 US\$)	232,934
TONELADAS MOLIDAS ('000 TMH)	48,293
COSTO DE CONCENTRADORA (US\$/t)	4.823

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Costos 2013

CAPÍTULO V

SIMULACIÓN PARA EL SISTEMA PALA - CAMIÓN

5.1 PARÁMETROS DEL SISTEMA

Para el Sistema Pala-Camión a Chancadora primaria usaremos la Pala 6 P&H 4100XPC que tiene una capacidad promedio (8 640 t/h) superior a la capacidad de procesamiento máximo de chancadora primaria (7 600 t/h).

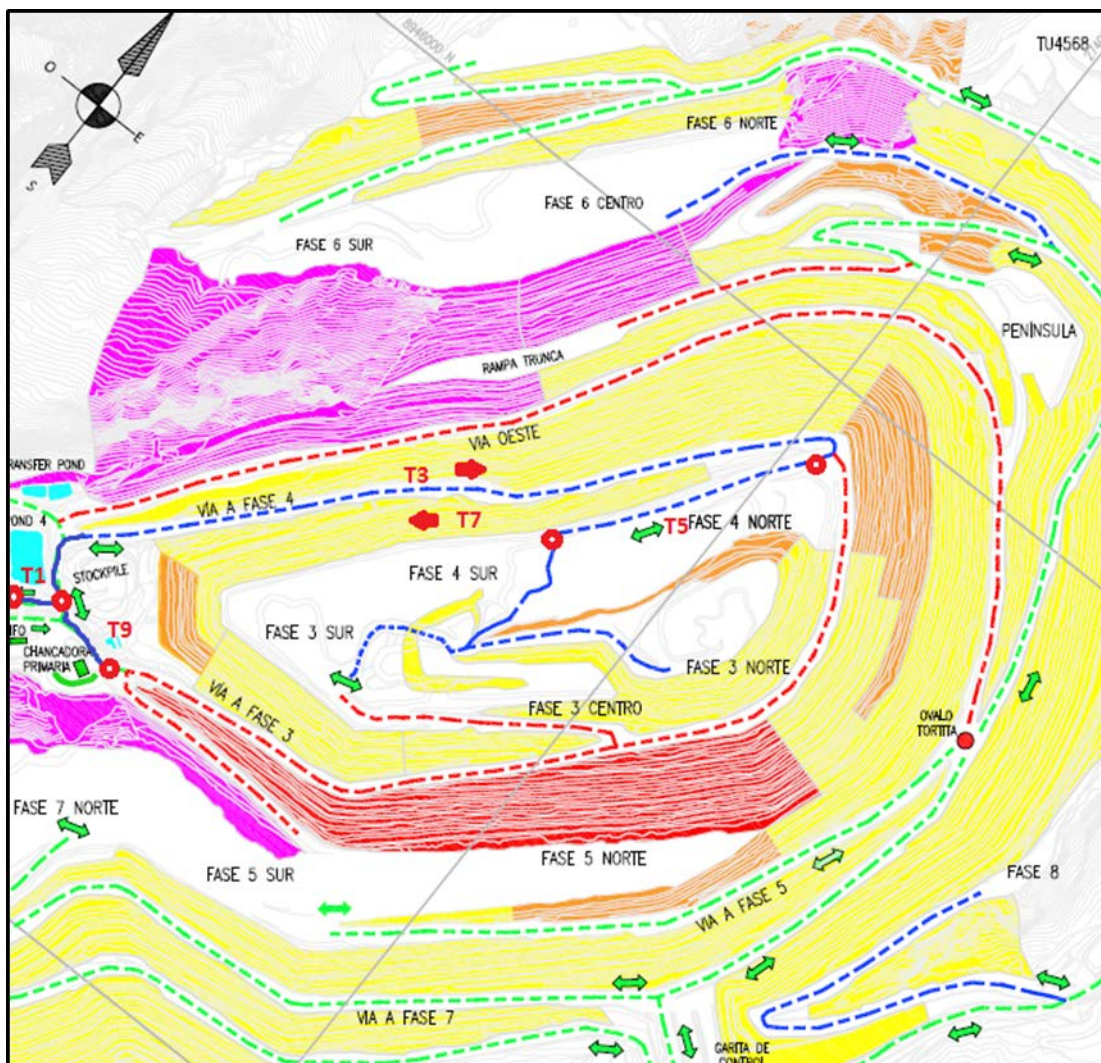


FIGURA 18: TAJO DE ANTIMINA

Fuente: Departamento de Operaciones Mina

A continuación se detalla el perfil de ruta de acarreo:

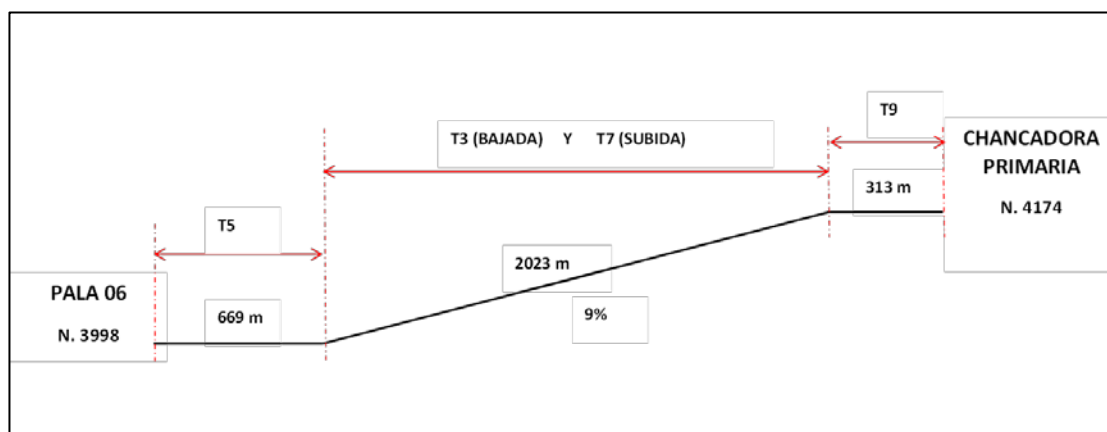


FIGURA 19: PERFIL DE RUTA

Fuente: Elaboración propia

Con datos recabados del sistema dispatch así como de las tablas del handbook del proveedor, se determinó las siguientes velocidades en los diferentes tramos:

TABLA 14: REPORTE DE VELOCIDADES POR TRAMO

VELOCIDADES POR TRAMO *		
	CAT	KOM
T1	24.0	24.0
T3	38.0	38.8
T5	30.0	30.0
T7	16.0	17.3
T9	24.0	24.0

*En km/h

Fuente: Departamento de Mejoramiento del Negocio

De acuerdo a los reportes de abastecimiento de combustible del año 2013 se determinó el consumo promedio de 39.49 gal/h para los 793F Cat y 56.99 gal/h para los 930E Komatsu.

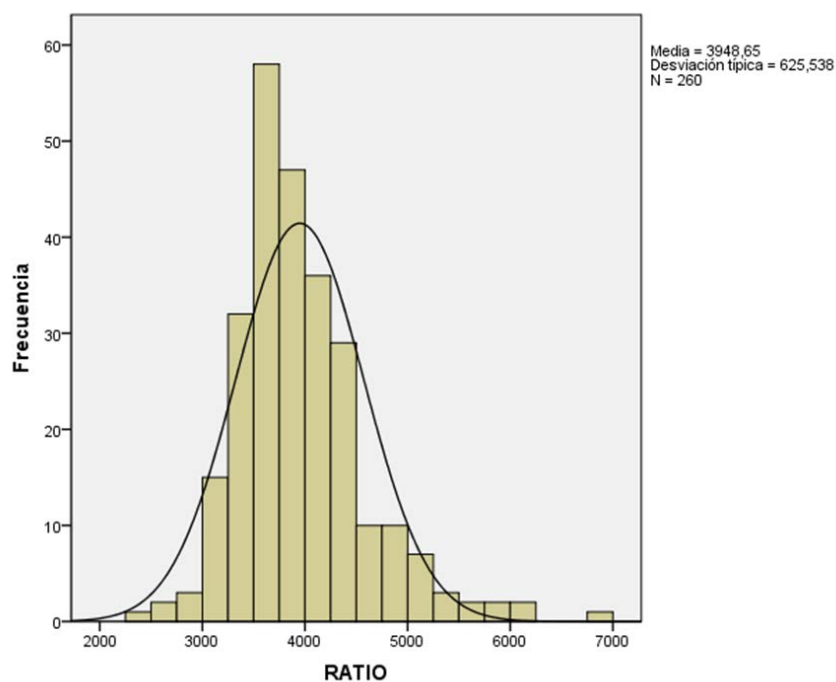


FIGURA 20: HISTOGRAMA CONSUMO COMBUSTIBLE 793F CAT

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Consumo de Combustible 2013

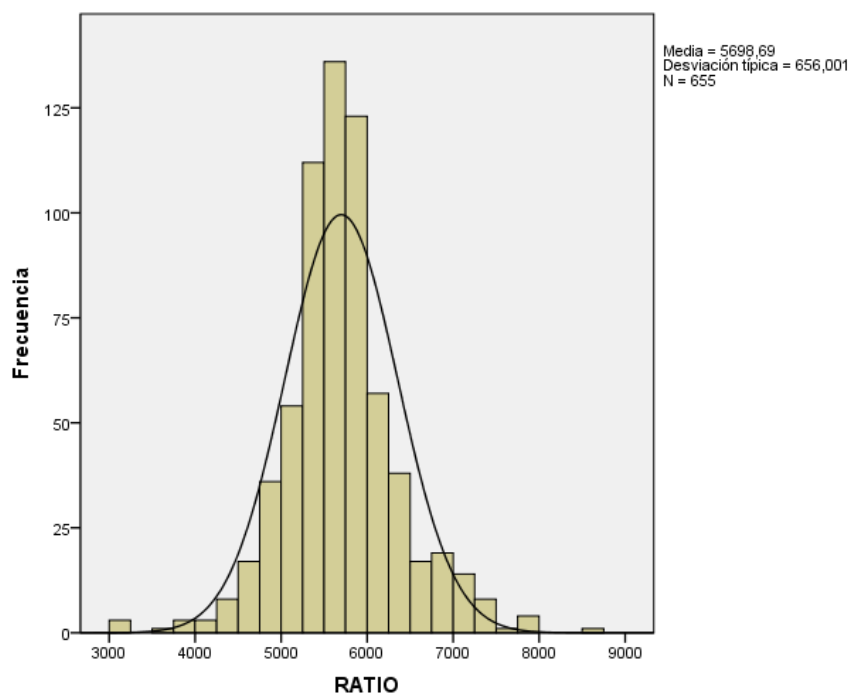


FIGURA 21: HISTOGRAMA CONSUMO COMBUSTIBLE 930E-4

Fuente: Aarón Alhuay, Reporte de Consumo de Combustible 2013

TABLA 15: PRODUCCIÓN DE PALA Y CHANCADORA

	793F CAT	930E KOM
Número de pases	2	3
Tiempo de Cuadrado (s)	30	30
Tiempo x Pase (s)	30 a 40	30 a 35
Tiempo Carguío Prom. (s)	100	128
Capacidad de Carga (t)	240	300
Producción Pala (t/h)	8,640	8,471
Producción Chanca.Prima. (t/h)	7,600	7,600
Tiempo Chancado Prom. (s)	114	142

Fuente: Departamento de Mejoramiento del Negocio

Precio del Cobre:



FIGURA 22: HISTÓRICO POR DÍA DEL PRECIO DEL COBRE

Fuente: Investing.com

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO

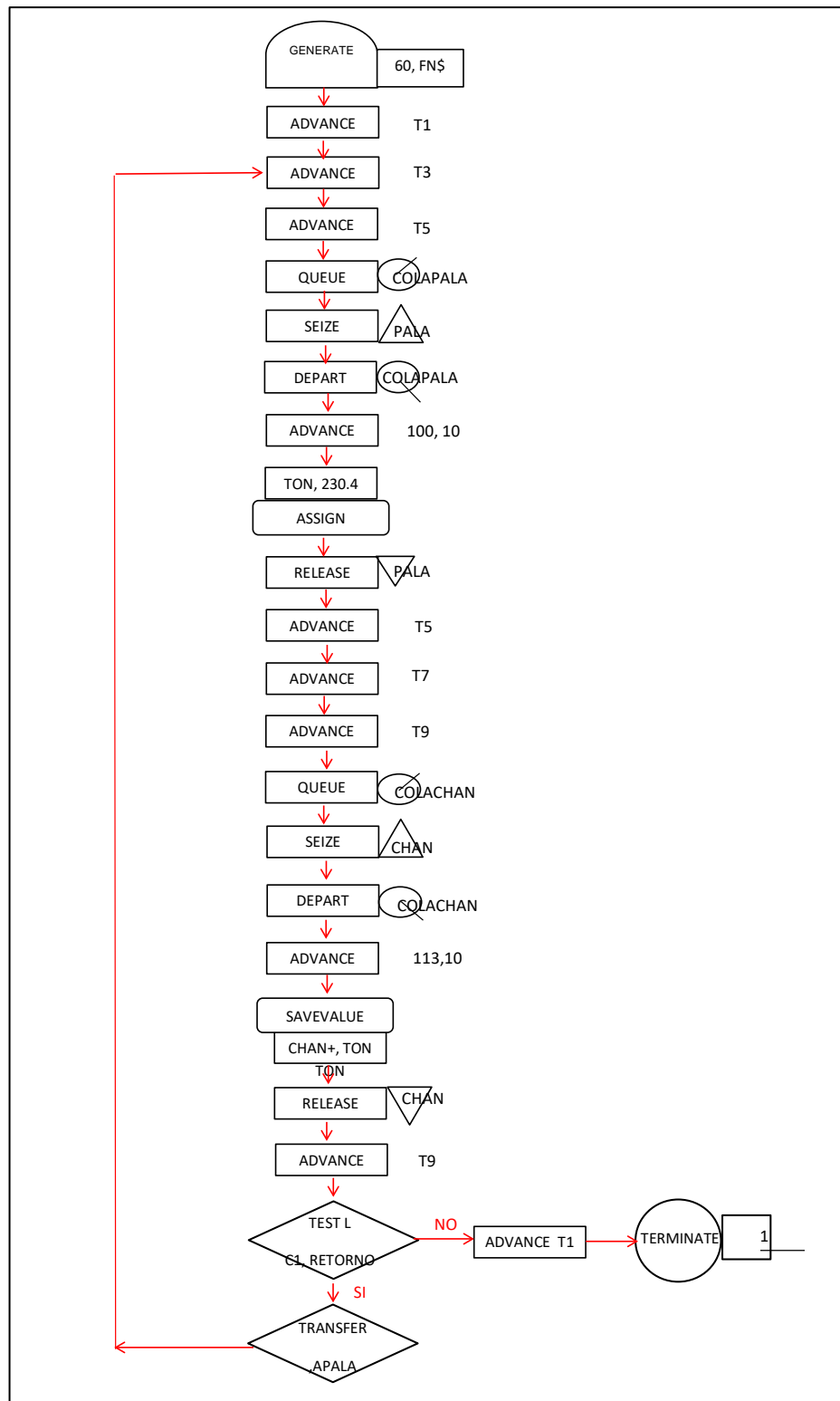


FIGURA 23: DIAGRAMA DE FLUJO

Fuente: Elaboración propia

5.3 CODIFICACIÓN

A continuación se presenta el código del programa en el lenguaje GPSS:

```

1      INITIAL  X$CURECUP,0
2      INITIAL  X$CHANCADO,0
3      INITIAL  X$GANBRUTO,0
4      INITIAL  X$GANNETA,0
5      INITIAL  X$LOADCOST,0
6      INITIAL  X$SHAULCOST,0
7      INITIAL  X$PROCESSCOST,0
8      INITIAL  X$TIEMPO,0
9      INITIAL  X$TACARREO,0
10     INITIAL  X$TRUCK,0
11     *****
12     CABEZA    EQU      0.75/100      ;(%)
13     RECUPER   EQU      0.85#0.85     ;(%)
14     PRECIOCU  EQU      3.179         ;($/lb)
15     LOAD      EQU      0.206         ;($/t movida)
16     HAULVAR   EQU      4.16#39.49/3600 ;($/s)
17     HAULFIJO  EQU      1745          ;($/TRUCK)
18     COSTOPLNT EQU      4.823         ;($/t chancada)
19     *****
20     T1        EQU      (200/24)#3.6
21     T3        EQU      (2023/38)#3.6
22     T5        EQU      (669/30)#3.6
23     T7        EQU      (2023/16)#3.6
24     T9        EQU      (313/24)#3.6
25     RETORNO   EQU      42600-T3-2#T5-T7
26     *****
27     EXPO      FUNCTION      RN1,C24      ;
28     0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.5,.69/
29     .6,.915/.7,1.2/.75,1.38/8,1.6/.84,1.83/
30     .88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/
31     .96,3.2/.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/
32     .998,6.2/.999,7/.9998,8
33     *****
34     GENERATE  60, FN$EXPO,,7
35     SAVEVALUE TIEMPO,C1
36     ADVANCE   T1
37     APALA     ADVANCE   T3
38     ADVANCE   T5
39     QUEUE     COLAPALA
40     SEIZE     PALA
41     DEPART    COLAPALA
42     ADVANCE   100,10
43     ASSIGN    TON,230.4
44     RELEASE   PALA
45     ADVANCE   T5
46     ADVANCE   T7
47     ADVANCE   T9
48     QUEUE     COLACHAN
49     SEIZE     CHAN
50     DEPART    COLACHAN
51     ADVANCE   113,10

```

```

52             SAVEVALUE           CHANCADO+, P$TON
53             RELEASE             CHAN
54             ADVANCE             T9
55     CONTR   TEST L             C1,RETORNO,FIN
56             TRANSFER           ,APALA
57     FIN     ADVANCE             T1
58             SAVEVALUE TRUCK+,1
59             SAVEVALUE NUMCARGAS, (FC$PALA)
60             SAVEVALUE NUMDESCAR, (FC$CHAN)
61             SAVEVALUE TACARREO+, M1
62             SAVEVALUE LOADCOST, (COSTOPALA(FC$PALA))
63             SAVEVALUE HAULCOST, (COSTOCAMION(X$TACARREO))
64             SAVEVALUE PROCESSCOST,
65             (X$NUMDESCAR#P$TON#COSTOPLNT)
66             SAVEVALUE CURECUP, (PESOCOBRE(FC$CHAN))
67             SAVEVALUE GANBRUTO, (CU(X$CURECUP))
68             SAVEVALUE GANNETA, (X$GANBRUTO-X$LOADCOST-
69             X$HAULCOST-X$PROCESSCOST)
70             TERMINATE           1
71             START               7
72     *****
73     PROCEDURE COSTOPALA(VARIABLE4) BEGIN
74     TEMPORARY RESULTADO4,PESO,TOTALLOAD;
75     PESO=P$TON;
76     TOTALLOAD=PESO#VARIABLE4;
77     RESULTADO4=TOTALLOAD#LOAD;
78     RETURN RESULTADO4;
79     END;
80     PROCEDURE COSTOCAMION(VARIABLE1) BEGIN
81     TEMPORARY RESULTADO1,CHANCADO,TRUCK;
82     TRUCK=X$TRUCK;
83     RESULTADO1=HAULFIJO#TRUCK+(HAULVAR#VARIABLE1);
84     RETURN RESULTADO1;
85     END;
86     PROCEDURE PESOCOBRE(VARIABLE2) BEGIN
87     TEMPORARY RESULTADO2,PESO,PESOTOTAL;
88     PESO=P$TON;
89     PESOTOTAL=PESO#VARIABLE2;
90     RESULTADO2=PESOTOTAL#CABEZA#RECUPER;
91     RETURN RESULTADO2;
92     END;
93     PROCEDURE CU(VARIABLE3) BEGIN
94     TEMPORARY RESULTADO3;
95     RESULTADO3=VARIABLE3#PRECIOCU;
96     RESULTADO3=RESULTADO3#2204.6226;
97     RETURN RESULTADO3;
98     END;

```

5.4 RESULTADOS PARA FLOTA CATERPILLAR 793F

Se hicieron simulaciones de una cantidad de camiones limitada de 5 a 16.

A continuación los datos obtenidos:

TABLA 16: REPORTE PARA FLOTA 793F CAT

793F CAT	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NUM-CARGAS	189	226	263	299	337	368	370	371	373	374	375	376
NUM-DESCAR	189	226	263	299	337	368	370	371	373	374	375	376
TIEMPO (seg)	341	349	464	535	639	852	853	883	1,190	1,350	1,366	1,386
T-ACARREO (seg)	211,578	253,114	295,076	335,999	378,833	419,738	461,618	503,920	546,901	587,895	630,772	672,476
CU-RECUP (TMF)	236	282	328	373	421	459	462	463	466	467	468	469
CHANCADO (TMH)	45,360	54,240	63,120	71,760	80,880	88,320	88,800	89,040	89,520	89,760	90,000	90,240
GAN-BRUTO ('000 US\$)	1,654	1,977	2,301	2,616	2,949	3,220	3,237	3,246	3,264	3,272	3,281	3,290
GAN-NETA ('000 US\$)	1,407	1,683	1,958	2,226	2,509	2,739	2,751	2,755	2,766	2,770	2,774	2,778
LOAD-COST ('000 US\$)	9.34	11.17	13.00	14.78	16.66	18.19	18.29	18.34	18.44	18.49	18.54	18.59
HAUL-COST ('000 US\$)	18.38	22.02	25.68	29.29	32.99	36.60	40.26	43.94	47.64	51.26	54.96	58.61
PROCESS-COST ('000 US\$)	218.77	261.60	304.43	346.10	390.08	425.97	428.28	429.44	431.75	432.91	434.07	435.23
COLACHAN												
MAX	1	1	1	1	2	1	2	3	4	5	6	7
CONT.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENTRY	189	226	263	299	337	368	370	371	373	374	375	376
ENTRY(0)	158	178	181	178	207	37	1	1	1	1	1	1
AVE.CONT.	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.19	1.10	2.04	2.94	3.80	4.65	5.48
AVE.TIME	2.10	2.64	3.59	5.11	5.46	21.54	127.88	236.74	341.56	439.62	539.05	634.93
AVE.(-0)	12.81	12.41	11.51	12.63	14.15	23.95	128.23	237.38	342.48	440.80	540.49	636.62
UTIL.	50%	60%	69%	79%	89%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%
AVE. TIME	113.50	113.16	112.94	112.79	112.97	112.90	113.12	113.15	113.05	112.81	113.02	112.89

Fuente: Elaboración propia

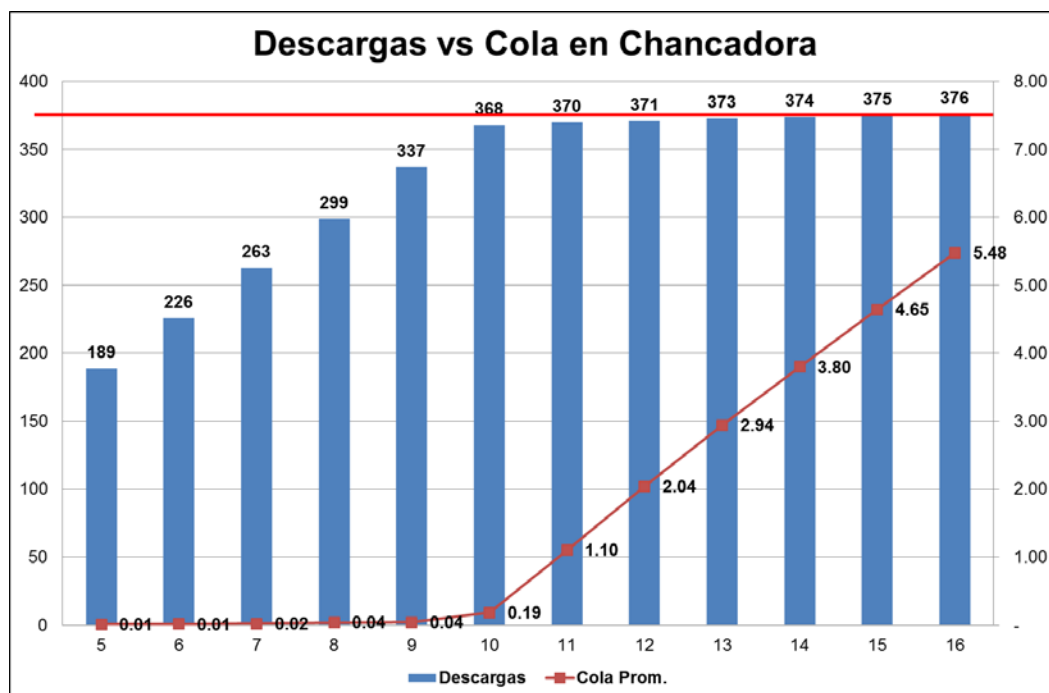


FIGURA 24: DESCARGAS VERSUS COLA EN CHANCADORA

Fuente: Elaboración propia

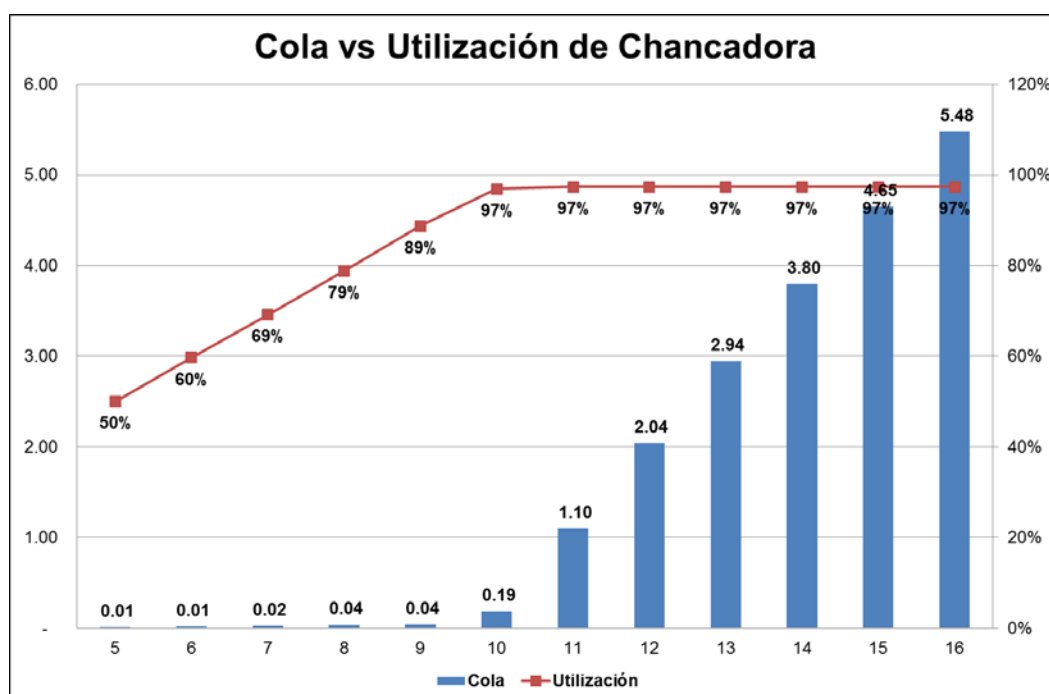


FIGURA 25: COLA VERSUS UTILIZACIÓN DE CHANCADORA

Fuente: Elaboración propia

5.5 RESULTADOS PARA FLOTA KOMATSU 930E-4

Para esta simulación se toma la misma cantidad de camiones y se actualizan los datos de las líneas 16, 42, 43 y 51 de la codificación del programa.

A continuación los datos obtenidos:

TABLA 17: REPORTE PARA FLOTA 930E-4 KOMATSU

930E KOM	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NUM-CARGAS	185	222	258	292	296	297	297	298	300	301	301	303
NUM-DESCAR	185	222	258	292	296	297	297	298	300	301	301	303
TIEMPO (seg)	341	349	464	480	491	599	618	631	684	695	888	1,035
T-ACARREO (seg)	211,328	253,603	295,566	337,664	380,032	421,933	464,433	507,423	551,105	593,175	636,514	680,981
CU-RECUP (TMF)	289	346	403	456	462	463	463	465	468	470	470	473
CHANCADO (TMH)	55,500	66,600	77,400	87,600	88,800	89,100	89,100	89,400	90,000	90,300	90,300	90,900
GAN-BRUTO ('000 US\$)	2,023	2,428	2,822	3,194	3,237	3,248	3,248	3,259	3,281	3,292	3,292	3,314
GAN-NETA ('000 US\$)	1,722	2,066	2,401	2,717	2,750	2,755	2,751	2,755	2,770	2,775	2,770	2,784
LOAD-COST ('000 US\$)	11.43	13.72	15.94	18.05	18.29	18.35	18.35	18.42	18.54	18.60	18.60	18.73
HAUL-COST ('000 US\$)	22.64	27.17	31.68	36.20	40.73	45.24	49.78	54.36	58.98	63.49	68.09	72.77
PROCESS-COST ('000 US\$)	267.68	321.21	373.30	422.49	428.28	429.73	429.73	431.18	434.07	435.52	435.52	438.41
COLACHAN												
MAX	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CONT.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENTRY	185	222	258	292	296	297	297	298	300	301	301	303
ENTRY(0)	148	171	170	62	1	2	1	1	1	1	1	1
AVE.CONT.	0.01	0.01	0.02	0.09	0.96	1.85	2.74	3.57	4.34	5.20	5.95	6.52
AVE.TIME	2.46	2.51	3.79	13.64	139.05	268.31	399.66	520.79	632.22	755.71	867.81	949.68
AVE.(-0)	12.31	10.92	11.12	17.32	139.52	270.13	401.01	522.54	634.34	758.22	870.70	952.82
UTIL.	61%	73%	85%	96%	97%	97%	97%	98%	98%	98%	98%	98%
AVE. TIME	141.89	141.14	141.91	142.03	141.91	141.60	142.03	142.16	141.93	141.56	142.15	141.99

Fuente: Elaboración propia

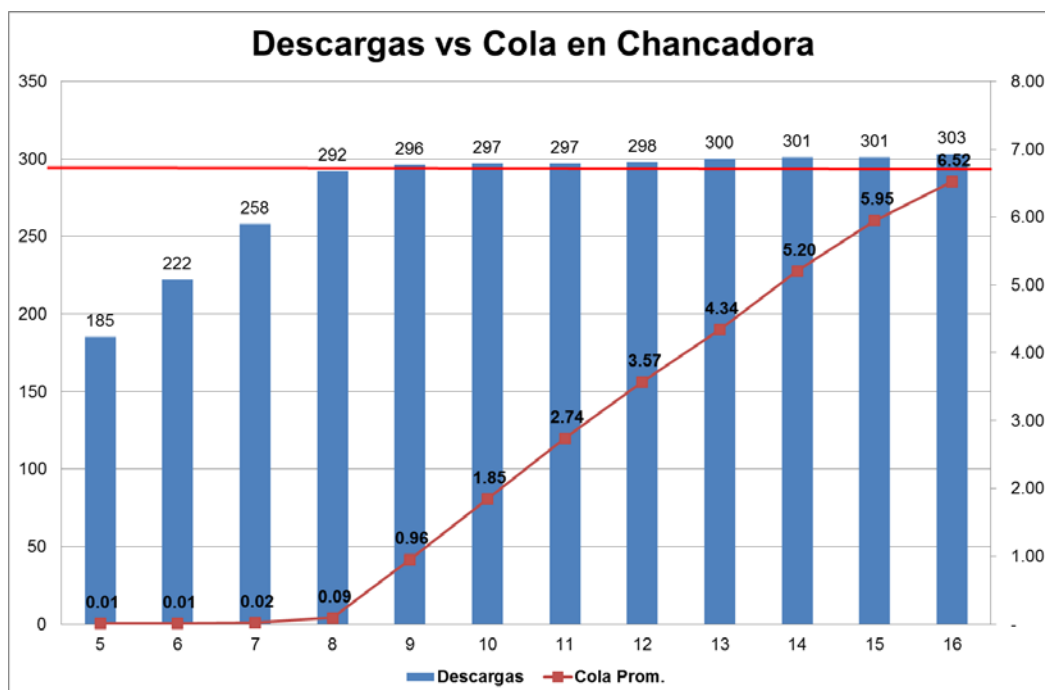


FIGURA 26: DESCARGAS VERSUS COLA EN CHANCADORA

Fuente: Elaboración propia

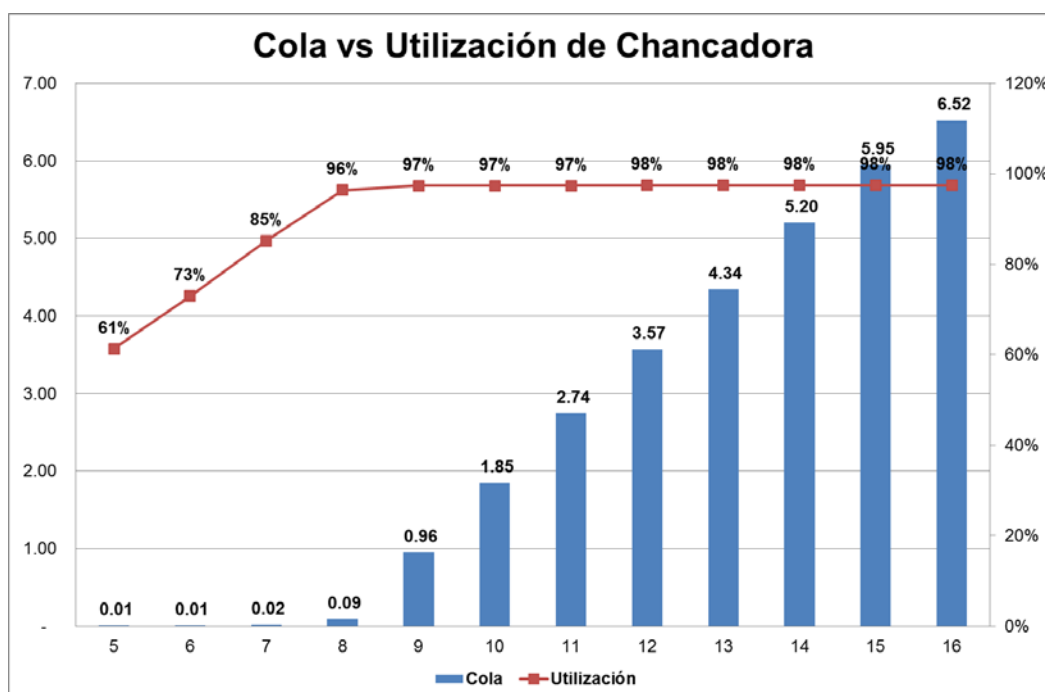


FIGURA 27: COLA VERSUS UTILIZACIÓN DE CHANCADORA

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

ESPERA DE CAMIÓN VS. ESPERA DE CHANCADORA

6.1 DESCRIPCIÓN

En este capítulo trataremos ¿cuál de las dos tiene mayor impacto en la producción y en los costos?

De la figura 24 y 25 podemos notar que el número óptimo de camiones para la flota 793F es de 10, con esta cantidad la chancadora primaria contará en todo instante con un camión descargando y un promedio de 0.19 en cola en todo el turno., con una utilización máxima de 97% en ambos casos; y de la figura 26 y 27 notamos que el número óptimo de camiones es de 8.

De la tabla 16 y 17 podemos calcular cuánto se dejaría de ganar por cada descarga no realizada y cuanto nos costaría tener 1 camión más en el sistema durante el turno.

TABLA 18: ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS POR DESCARGA

	793F CAT	930E KOM
Cobre Recuperable (t)	1.25	1.56
Ganancia Bruta (US\$)	8,750	10,937
Ganancia Neta (US\$)	7,444	9,305
HT Adicional x Turno (US\$)	3,612	4,517

Fuente: Elaboración propia

6.2 ESPERA DE CAMION EN CHANCADORA

De la tabla 18 notamos que tener un camión de más en el sistema nos lleva a un incremento en los costos de 3 612 US\$/turno para los 793F Caterpillar y de 4 517 US\$/turno para los 930E Komatsu.

Tenemos dos eventos que son los que generalmente nos originan esta espera de camiones en chancadora, que son: Atoro de chancadora primaria y detector de metales.

6.3 CHANCADORA EN ESPERA DE CAMIONES

Siendo nuestro cuello botella del área la Chancadora Primaria, debemos tener en cuenta lo que se deja de producir ya no se recupera.

De la tabla 18, observamos que dejamos de ganar entre 7 444 y 9 305 US\$ por cada descarga no realizada, o en términos de tiempo por cada 114 segundos, si trabajamos con la flota 793F, o 142 segundos, si trabajamos con la flota 930E, que chancadora primaria reporte en espera de camiones.

Aquí tenemos que considerar varios factores que interrumpen el ciclo de alimentación de la pala, como son sus propias demoras operativas como limpieza de frente, movimientos cortos, etc., los cuales no lleven en promedio más de 4 minutos; no estamos tomando en cuenta la confiabilidad de la pala, ya que para ello se deben tomar otros controles de prevención.

Existen dos momentos en el turno que podría ocasionar una pérdida en la producción, si no se toman las medidas pertinentes, y es la hora del refrigerio y el cambio de turno.

Para la hora del refrigerio se seleccionan los camiones que trabajarán en dicha hora y se los ubica en el ciclo de la pala a chancadora con anticipación.

A fin de turno es donde más propenso se está a desalimentar a chancadora. El cambio de turno en promedio no debe exceder los 10 minutos, que es lo que se toma el operador entrante en inspeccionar su equipo antes de darlo operativo. En el caso de los camiones que están asignados a chancadora, se realiza un “cambio en caliente”, donde el operador entrante obvia la inspección en ese momento y se pone operativo lo más pronto posible, la inspección de su equipo lo realiza dentro de las dos primeras horas de operación, luego de recuperar el ciclo continuo de alimentación a chancadora. Otra medida tomada es apoyar el envío de mineral con un cargador frontal (3 000 t/h) en la última hora del turno, asegurando una utilización de 100% y no de 97% como se muestran en las tablas 25 y 27.

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

7.1 DETERMINACIÓN DE FLOTA

Por mayor capacidad de carga y mayor velocidad, los Komatsu 930E tienen un mayor rendimiento que los Caterpillar 793F.

En la figura 28 se hace una comparación de las toneladas hechas por camión en un turno. Se puede observar además que a mayor número de camiones del necesario, estos bajan su productividad.

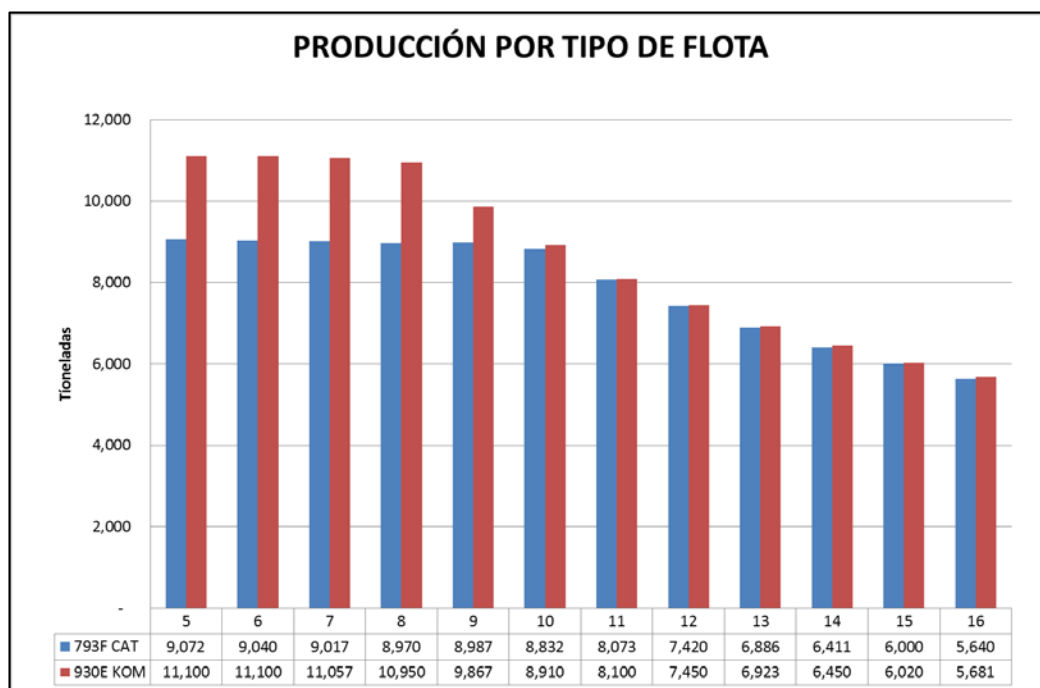


FIGURA 28: PRODUCTIVIDAD DEL CAMIÓN

Fuente: Elaboración propia

7.2 DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE CAMIONES

Las demoras operativas de la pala se dan como parte del proceso de minado. El año 2013 las palas P&H tuvieron una utilización promedio de 86%.

Dado que las demoras operativas en promedio no son mayores a 4 minutos, y además cada descarga demora 2.4 minutos en ser procesada (para los 930E), se determina conveniente tener 2 camiones en cola promedio.

De la figura 27 se determina la cantidad de 10 camiones Komatsu 930E para un óptimo abastecimiento de mineral a la chancadora primaria, teniendo

presente que esto nos costaría un incremento de 9034 US\$/turno, y que por cada 2.4 minutos de falta de camiones en chancadora estamos dejando de ganar 9 305US\$.

En caso el equipo de carguío necesite realizar una demora mayor, se debe optar por adicionar más camiones en cola por ese momento o de ser necesario otro equipo de carguío de apoyo.

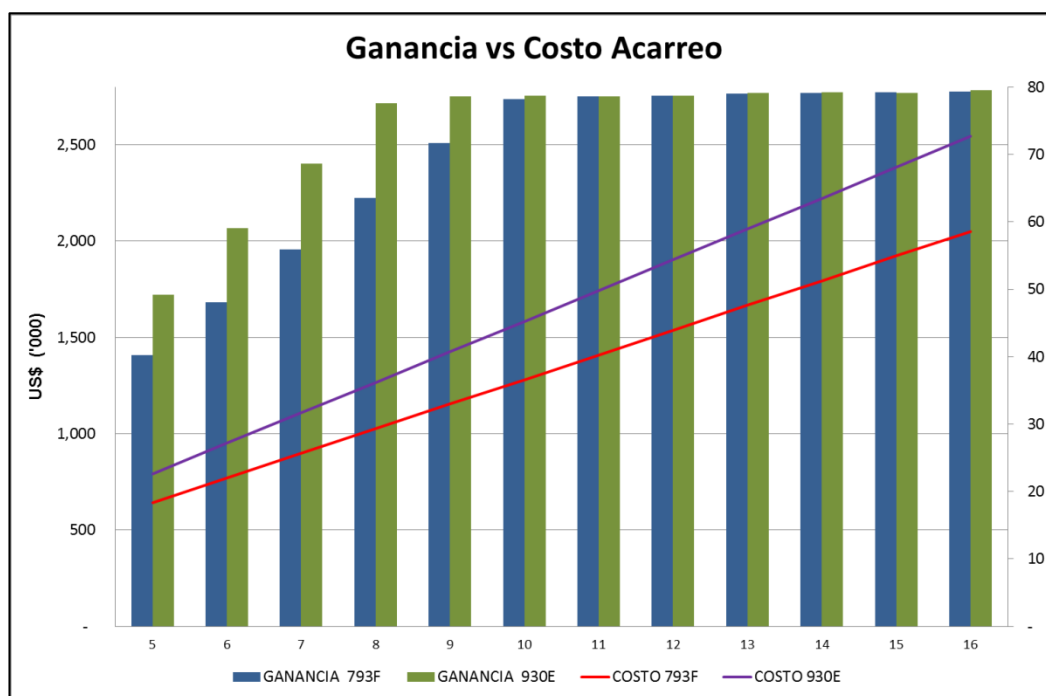


FIGURA 29: GANANCIA VS. COSTO ACARREO

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo desarrolla un modelo del sistema de carguío y acarreo de mineral a chancadora primaria, el cual puede emplearse a otras operaciones mineras, tomando en cuenta variar los parámetros ingresados al sistema como: producción de chancadora, productividad del equipo de carguío, capacidad y velocidad del equipo de acarreo, distancias, costos, etc.
2. Debido a que tanto los camiones Caterpillar 793F y Komatsu 930E fueron adquiridos en el 2010 para el programa de expansión de la mina, se propone disponer de la mejor forma los recursos con lo que contamos.
3. Los equipos de mayor capacidad productiva tienen costos operativos unitarios mayores, pero son más rentables.
4. Se encuentra una pérdida de la producción por cada 2.4 minutos que esté desabastecido la chancadora y representa 9 305US\$.
5. En condiciones ideales sólo bastarían con 8 camiones 930E para abastecer a chancadora, con casi cero camiones en cola, pero ante

interrupciones en el ciclo de carguío por demoras propias de la operación se ve conveniente tener dos camiones en cola que puedan cubrir dichas demoras operativas que en promedio no deben ser mayores a 4 minutos por evento.

6. Contar con un mayor número de camiones en cola para la última hora, sólo mientras dure el cambio de turno para alcanzar 100% de utilización de la chancadora primaria.

RECOMENDACIONES

1. Tener permanentemente equipos auxiliares que mantengan en buen estado las vías así como el frente de carguío y de descarga, para evitar demoras en la operación y cuidar las llantas.
2. Reducir todas las paradas de chancadora, como por ejemplo: detección de metales, atoro por rocas grandes, etc.
3. Concientizar al operador del equipo de carguío a comunicar con antelación cualquier demora que interrumpa su ciclo y que le lleve más de 4 minutos.

BIBLIOGRAFÍA

SNMPE (2011). Informe Quincenal - ¿Cómo se calcula el valor de los concentrados de Minerales?

Caterpillar (2008), Caterpillar Performance Handbook, Edition 38

Komatsu (2009), Specifications & Application Handbook, Edition 30

Dr. Marín Suarez. Simulación con GPSS – Cuarto Seminario Latinoamericano de Investigación Operativa a la Industria Minera, Santiago Junio y Julio de 1974.

GPSS World Reference Manual (2013)

http://www.minutemansoftware.com/reference/reference_manual.htm

Antamina (2013). Plan de Mina.

Antamina (2013). Reporte de Costos 2013.

Antamina (2013). Reporte de Operación de Chancadora 2013.