

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA MINERAY METALURGICA



**“REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS MÉTODO DEL
REEMPLAZO DE EQUIPO MINA”**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR
JESUS GABRIEL GUERRA MOLINA**

**ASESOR
Msc. Ing. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO**

**Lima, Perú
2012**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a las personas que hicieron posible mi formación y desarrollo como profesional, acompañándome a lo largo de este camino que recién comienzo, que ha sido tan difícil y tan gratificante a la vez.

A mis padres Gabriel y Adela, a mi esposa Flor, siempre cuento con ellos aunque no estén a mi lado.

AGRADECIMIENTO

A la empresa Southern Perú - Unidad de Cuajone por ofrecerme la oportunidad de desempeñarme como Ingeniero de Planificación a Corto Plazo. Brindándonos desarrollo continuo a sus profesionales para alcanzar los estándares que exige el mercado laboral, a todos los compañeros de estudio que siempre me apoyaron.

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: GENERALIDADES	2
1.1 UBICACIÓN	3
1.2 GEOLOGÍA	3
1.2.1 Interpretación del modelo de Roca	4
1.2.2 Interpretación del modelo de Alteracion.....	5
1.2.3 Interpretación del modelo de Mineralización	6
1.2.4 Interpretación del modelo de Dureza	7
1.3 GEOTECNIA	12
1.3.1 Taludes de Tajo	12
1.3.2 Sectores y Angulo de Talud	13
1.4 DESCRIPCIÓN	14
1.4.1 Operación de la Mina	16
1.4.2 Ingeniería de la Mina	17
II DIAGNÓSTICO.....	18
2.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2.2.SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE VOLQUETES DISPONIBLES EN EL MERCADO	18
2.2.1 Desarrollo de la Prueba	19

2.2.2 Análisis Comparativo de rendimientos y costos en perfiles de rutas diferentes	28
2.2.3 Análisis de sensibilidad	30
2.2.4 Plan de reducción de costos y evaluación de oportunidades de ahorro	34
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. TIPOS DE ROCAS	5
Tabla 2. TIPOS DE ESTABLECIMIENTOS	6
Tabla 3. TIPO DE MINERALIZACIÓN	7
Tabla 4. DUREZA	8
Tabla 5. ÁNGULOS INTER-RAMPAS DEL TAJO FINAL	13
Tabla 6. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS POR ACTIVIDADES.....	15
Tabla 7. DESCRIPCIÓN DE LA VIDA PROMEDIO DE LA FLOTA C793 Y K830 EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE	16
Tabla 8. PERFIL DE ACARREO POR VELOCIDADES.....	25
Tabla 9. PERFIL DE LOS MODELOS POR ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	26
Tabla 10 CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR DIRECCIONES	27
Tabla 11. CONSUMO DE LLANTAS POR FLOTA DE ACARREO Y POSICIÓN.....	27
Tabla 12. CONTROL DE LLANTAS DE LA EMPRESA CONTRATISTA RENOVA.....	28
Tabla 13. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RENDIMIENTOS Y DE COSTO DE PERFILES EN RUTAS DIFERENTES	29
Tabla 14. LA FLOTA EN TERMINOS DE DISPONIBILIDAD Y UTILIZACIÓN	35
Tabla 15. LA FLOTA EN TERMINOS DE COSTO MENSUAL	36
Tabla 16. PRODUCCIÓN Y NÚMERO DE EQUIPOS DE LA FLOTA.....	36

Tabla 17. CONTROL DE COSTOS DE LA MINA (US\$) CON FLOTA C797F	37
Tabla 18. ESTIMACIÓN FINANCIERA C797F	37
Tabla 19. PRODUCCIÓN Y NÚMERO DE EQUIPOS DE LA FLOTA K930	38
Tabla 20. CONTROL DE COSTO DE LA MINA (US\$) CON FLOTA K930	38
Tabla 21. ESTIMACIÓN FINANCIERA K930	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 UBICACIÓN DE OPERACIÓN.....	4
Figura 2 VISTA EN SECCIÓN DEL MODELO DE ROCA.....	9
Figura 3 VISTA EN SECCIÓN DEL MODELO DE ALTERACIÓN	10
Figura 4 VISTA EN SECCIÓN DEL MODELO DE MINERALIZACIÓN	11
Figura 5 GEOLOGÍA Y ÁNGULOS INTER-RAMPAS DEL TAJO FINAL.....	14
Figura 6 PERFIL DE RUTA DE ACARREO N°1.....	20
Figura 7 PERFIL DE RUTA DE ACARREO N°2.....	21
Figura 8 TRAMOS DE RUTAS	24
Figura 9 PERFIL DE ACARREO.	24
Figura 10 RUTAS.	29
Figura 11 COSTOS POR TONELADAS VERSUS DISPONIBILIDAD	
C797F.	32
Figura 12 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO	39

INTRODUCCIÓN

La Unidad minera a tajo abierto Cuajone realiza la actividad de extracción de mineral con el fin de maximizar la creación de valor para sus accionistas, a través de la minimización de los costos operativos y la maximización de la producción de mina. En la actualidad para las empresas mineras el control de costos operativos ha cobrado mayor relevancia por la presencia de variables externas que repercuten en dichos costos, como lo son por ejemplo los precios de los metales y de los insumos que han presentado una gran variabilidad últimamente.

En la actualidad los costos operativos dependen directamente del precio de los insumos en el mercado, lo cual obliga a la empresa minera a buscar métodos de reducción de costos. Los más representativos corresponden al consumo de combustible, nitrato, emulsión, energía y llantas. Al presentar los precios de los insumos una alta variabilidad se busca contrarrestar con el incremento de las toneladas, reduciendo los costos de producción y con ello ampliando el margen de utilidad para la empresa. Asimismo, el ingreso de tecnología moderna a las

operaciones mineras se ha vuelto una estrategia fundamental en el plan de reducción de costos al mejorar el desempeño de las operaciones y reducir o eliminar el consumo de insumos a través de la reducción del indicador dólares por tonelada

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN

El yacimiento de pórfido de cobre de Cuajone se encuentra ubicado en el departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Distrito Torata y paraje de la Quebrada Chuntacala. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM: 538,200 y 542,000 Este; 84,000 y 87,800 Norte.

1.2 GEOLOGÍA

Para poder realizar la interpretación geológica del yacimiento de Cuajone, se han utilizado un total de 774 taladros de perforación diamantina que han sido realizados en diferentes campañas de perforación desde el año 1942 a la fecha. Adicionalmente se ha considerado el mapeo superficial actualizado del yacimiento.

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA OPERACIÓN

Fuente: Presentación Del Área – Mina Cuajone.

1.2.1 Interpretación del Modelo de Roca

A través de los años en Cuajone se ha podido diferenciar un total de 29 rocas que han sido reconocidas en superficie y por medio de taladros diamantinos en profundidad (Figura. 3).

Se ha tomado en consideración el mapeo geológico actualizado en superficie de los diferentes tipos de roca y 774 logueos de taladros de perforación diamantina que equivalen a 268,853 m. De los cuales adicionalmente 87 taladros han sido re logueados para determinar los contactos entre los diferentes pulsos intrusivos de Latita Porfirítica.

Estas rocas han sido diferenciadas en rocas Pre minerales, rocas Intrusivas y rocas postminerales de acuerdo a la relación adjunta.

TABLA 1: TIPO DE ROCAS

Tipo de Roca	Símbolo	Código	Clasificación
Botaderos	Btx	87.00	
Material Aluvial	AL	51.00	Post Mineral
Pórfido Andesítico	PA	84.00	Post Mineral
Aglomerado Superior	AS	52.00	Post Mineral
Toba Superior	TS	53.00	Post Mineral
Aglomerado Inferior	AI	54.00	Post Mineral
Toba Inferior	TI	55.00	Post Mineral
Toba Cristal	TC	56.00	Post Mineral
Conglomerado Basal	CB	57.00	Post Mineral
Conglomerado Verde/Amarillo	CV/CA	60.00	Post Mineral
Aglomerado Tobáceo	AT	58.00	Post Mineral
Toba Blanca	TB	59.00	Post Mineral
Aglomerado Gris	AG	63.00	Post Mineral
Conglomerado Traquítico	CTR	88.00	Post Mineral
Traquita	TR	61.00	Post Mineral
Vitrófiro/Toba Salmón	VT/TS	62.00	Post Mineral
Conglomerado Riolítico	CR	64.00	Post Mineral
Latita Porfírica 3	LP3	74.00	Intrusiva
Dique	DK	78.00	Intrusiva
Brecha Estéril	BXE (< 0.10% Cu)	65.00	Intrusiva
Brecha Marginal	BXMg (0.10 a 0.40% Cu)	82.00	Intrusiva
Brecha Mineralizada	BXM (> 0.40% Cu)	77.00	Intrusiva
Latita Porfírica 2 (BLP)	LP2	68.00	Intrusiva
Latita Porfírica 1	LP1	67.00	Intrusiva
Diorita	DI	71.00	Intrusiva
Dolerita	DO	90.00	Pre Mineral
Riolita Porfírica	RP	69.00	Pre Mineral
Andesita Basáltica	BA1	70.00	Pre Mineral
Andesita Intrusiva	BA2	66.00	Pre Mineral

Fuente: Área de Geología – Cuajone

1.2.2 Interpretación del Modelo de Alteración

Se tienen determinados ocho diferentes tipos de alteración que han sido seleccionados basados principalmente en los minerales de alteración

predominantes que ocurren en los diferentes tipos de roca (Figura. 4).

TABLA 2: TIPO DE ALTERACIONES

Tipo de Alteración	Símbolo	Código
Sin Alteración	VOLCX	300.00
Propilítica	PROP	301.00
Propilítica - Fílica	PFIL	305.00
Argílica Supérgena	ARGS	303.00
Argílica - Fílica	AFIL	304.00
Fílica	FIL	306.00
Fílica - Potásica	FPTK	307.00
Potásica	PTK	309.00
Botaderos	BTX	310.00

Fuente: Área de Geología – Mina Cuajone

1.2.3 Interpretación del Modelo de Mineralización

Actualmente es posible cuantificar los diferentes tipos de minerales mediante el análisis químico del laboratorio en donde se puede identificar mediante el ensaye de cobre secuencial la cantidad o porcentaje de minerales de óxidos, sulfuros enriquecidos y sulfuros primarios de cobre (Figura. 5).

Se considera óxidos a todo el material que tiene un porcentaje de cobre soluble en ácido mayor al 20% del cobre total $(\text{CuSAc} / \text{Cu Total}) \times 100$.

Se considera sulfuros enriquecidos a todo el material que tiene un porcentaje de cobre soluble en cianuro mayor al 50% del cobre total $(\text{CuSCn} / \text{Cu Total}) \times 100$.

Se considera sulfuro transicional a todo el material que tiene un porcentaje de cobre soluble en cianuro que varía entre 25 y 50% del cobre total. Se considera

sulfuro primario a todo el material que tiene un porcentaje de cobre residual mayor a 75% del cobre total.

TABLA 3: TIPO DE MINERALIZACIÓN

Mineralización	Símbolo	Código	Cu Total	CuSAc	CuSCn	Cu Res.
Leach Capping	L	201.00	< 0.10%			
Oxidos	O	202.00	> 0.10%	> 20%		
Enriquecido	E	203.00	> 0.10%		> 50%	
Transicional	T	204.00	> 0.10%		25 a 50%	
Primario	P	205.00	> 0.10%			0.75
Desmonte	WP	206.00	< 0.10%			

Fuente: Área de Geología – Mina Cuajone

1.2.4 Interpretación del Modelo de Dureza

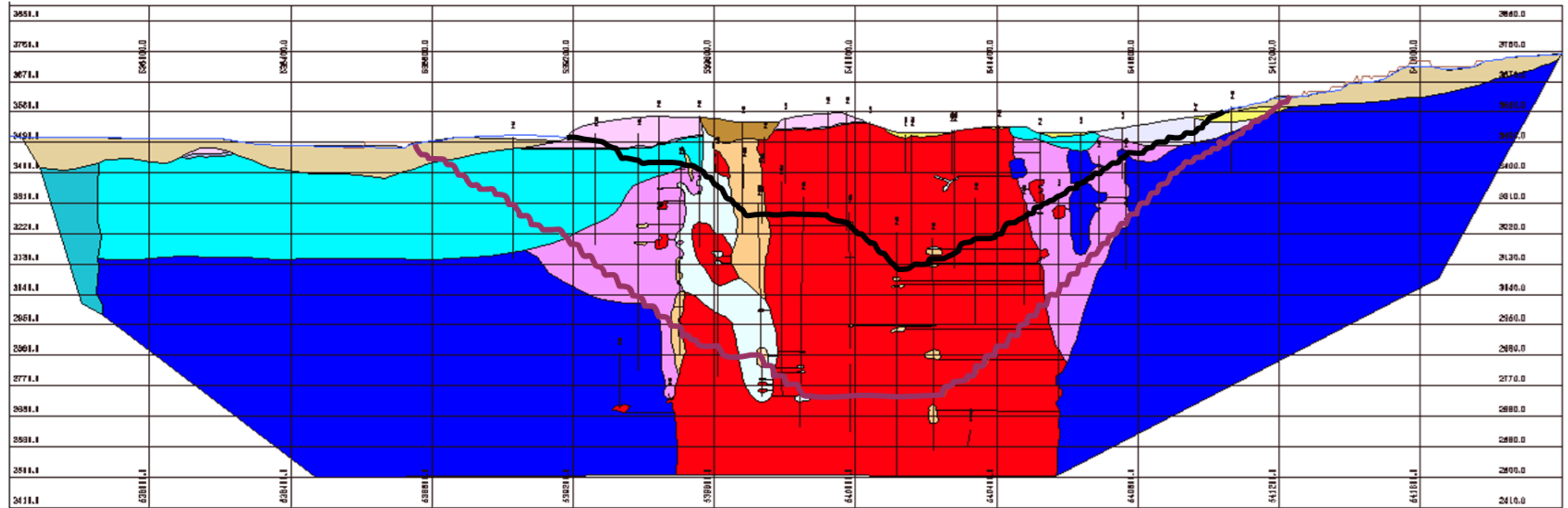
Geológicamente es posible diferenciar la dureza de una roca principalmente por la presencia de sílice o cuarzo y por el contenido de arcillas lo cual puede ser corroborado con pruebas físicas de rayado de éstas muestras mediante la uña, navaja o golpes de martillo clasificándolas en la escala de Mohs con variaciones del 1 al 7 (Más blando al más duro) o con variaciones de muy suave, suave, duro y muy duro que tenga una relación directa con el Work Index que se obtiene en la Concentradora.

TABLA 4: DUREZA

Roca / Alteración	Símbolo	Código	Clasificación
BA Argílica	BA-ARG	8.00	Muy Suave
IA Argílica	IA-ARG	9.00	Suave
LP Qz-Sericita	LP-QS	9.90	Suave
BA Qz en venas	BA-QV	10.00	Suave
RP Silicificación	RP-S	11.00	Dura
BA Débilmente fresca	BA-DF	11.50	Dura
IA Fílica Propílica	IA-FP	11.60	Dura
LP Mod. Silicificada	LP-MS	11.70	Dura
Brecha	BX	11.70	Dura
IA Qz Pervasivo	IA-QP	12.00	Muy Dura
IA Estruct. Ret. Qz	IA-ESRQ	12.50	Muy Dura
BA Fresca	BA-F	13.00	Muy Dura
LP Estruct. Ret.QZ	LP-ESRQ	15.20	Muy Dura
LP Fresca	LP-F	15.90	Muy Dura
LP Silicificada	LP-S	16.30	Muy Dura

Fuente: Área de Geología – Mina Cuajone

FIGURA 2: VISTA EN SECCIÓN DEL MODELO DE ROCA



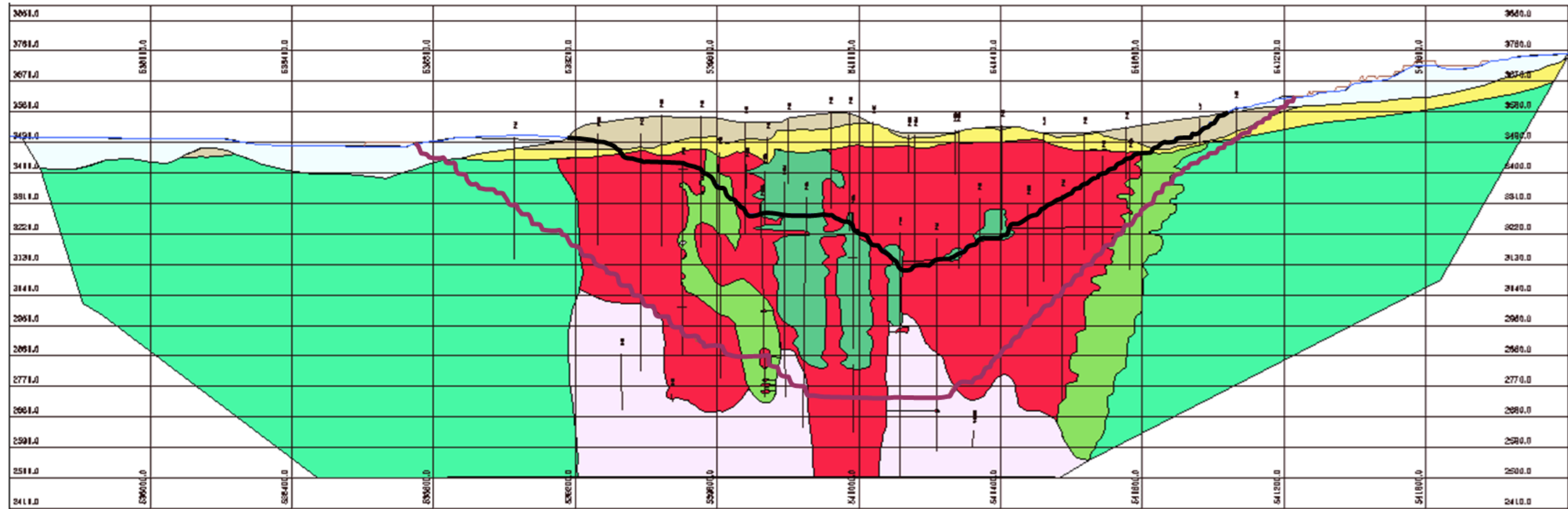
Fuente: Área de Geología – Mina Cuajone

MODELO DE ROCAS

SECCION P1

- | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ALUVIAL AGLOMERADO SUPERIOR TOBA SUPERIOR AGLOMERADO INFERIOR TOBA INFERIOR TOBA CRISTAL CONGLOMERADO BASAL AGLOMERADO TOBACEO TOBA BLANCA CONG. AMARILLO /VERDE TRAQUITA VITROFIRO TOBA SALMON AGLOMERADO GRIS CONGLOMERADO RIOLITICO | <ul style="list-style-type: none"> BRECHA ESTERIL ANDESITA INTRUSIVA LATITA PORFIRITICA BARREN DE LATITA PORF. RIOLITA PORFIRITICA ANDESITA BASALTICA DIORITA LATITA PORFIRITICA LP3 BRECHA MINERALIZADA DIQUE BRECHA MARGINAL CONG. TRAQUITICO DOLERITA BOTADERO | <ul style="list-style-type: none"> PIT FINAL TOPOGRAFIA ACTUAL |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

FIGURA 3: VISTA EN SECCIÓN DEL MODELO DE ALTERACIÓN



Fuente: Área de Geología – Mina Cuajone

MODELO DE ALTERACION
SECCION P1

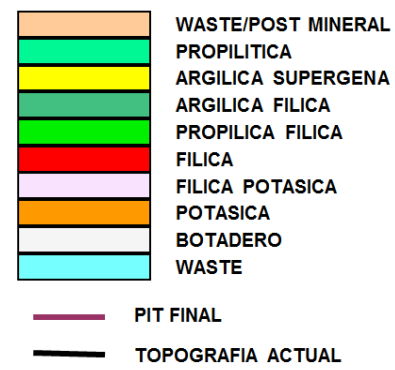
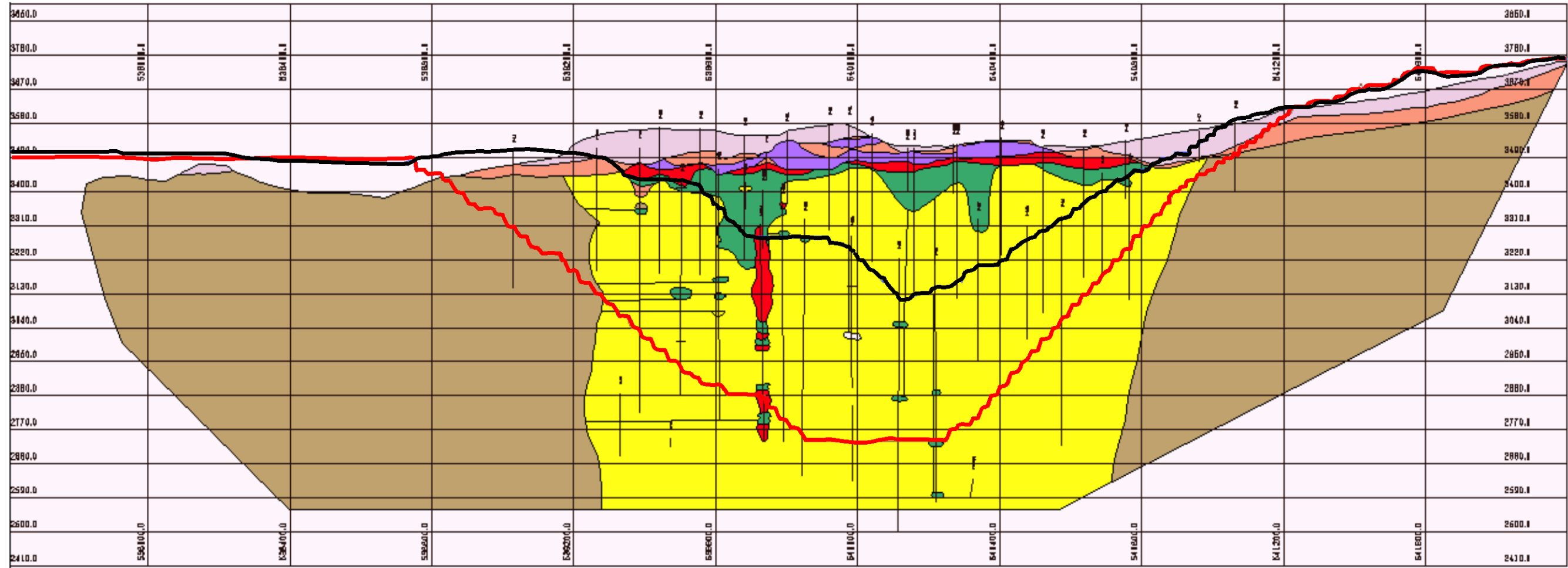


FIGURA 4: VISTA EN SECCIÓN DEL MODELO DE MINERALIZACIÓN



Fuente: Área de Geología – Mina Cuajone

MODELO DE MINERALIZACION

SECCION P1

- COBERTURA POST MINERAL
- LEACH CAPPING
- OXIDOS
- ENRIQUECIDO
- TRANSICIONAL
- PRIMARIO
- WASTE
- MATERIAL DE BOTADERO
- PIT FINAL
- TOPOGRAFIA ACTUAL

1.3 GEOTECNIA

Los Parámetros Geotécnicos son estudiados por consultores con toda la información de campo y laboratorio (grado de cohesión, permeabilidad, porosidad de las rocas), monitoreo de piezómetros e inclinómetros, información de los Logueo de taladros diamantinos (RQD, grado de fracturamiento, geomecánica de roca, pruebas uniaxiales), mapeos de celdas, mapeo estructural de la mina, información geológica (tipos de roca, mineralización, alteración).

Toda esta información servirá para obtener los ángulos de taludes y dividir la mina en sectores o en dominios estructurales. Los tipos de roca considerados para los dominios estructurales son:

- Aluvional - Botaderos (ALUV-BOT)
- Rocas Volcánicas (VOLC)
- Riolita Porfírica (RP)
- Andesita Basáltica (BA)
- Latita Porfírica (LP)

En la figura 6 se muestran los dominios estructurales recomendados por Golder Associates. Los ángulos inter-rampas para los volcánicos es de 47° , para Latita Porfírica, la Andesita Basáltica y la Riolita Porfírica es de 38° a 46° con una zona restringida por la Falla Mayor Sur que es de 38° .

1.3.1 Taludes del Tajo

Los ángulos de talud usados en el trabajo de optimización del tajo se basan en las recomendaciones hechas en el estudio geotécnico de Noviembre 2000 por Golder Associates. Los ángulos recomendados de las paredes finales del tajo

dependen de los siguientes factores:

- El tipo de roca expuesta sobre la superficie final del tajo.
- Los dominios estructurales definidos por Golder Associates.
- El azimut (dirección) de las paredes finales del tajo.

Estos factores geológicos / geométricos fueron usados para construir un juego de polígonos de sectores de talud para controlar el ángulo de talud usados a lo largo de las paredes finales del tajo durante el proceso de optimización del tajo.

1.3.2 Sectores y Ángulos de Talud

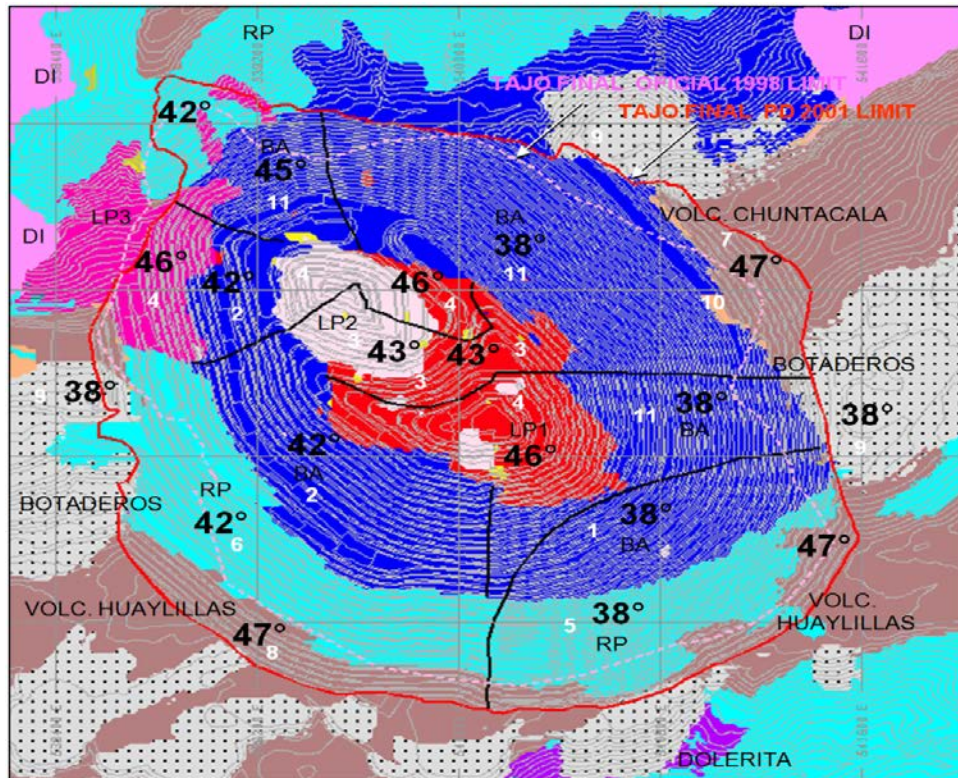
La tabla 6.10-1 resume el tipo de Roca e información del azimut de las paredes del tajo asociados con cada dominio estructural y el ángulo asociado de talud inter-rampa. Los ángulos de talud, área de sectores y tipo de rocas expuestas sobre el tajo final (Tabla 1 y Figura 6).

TABLA 5: ÁNGULOS INTER-RAMPAS DEL TAJO FINAL

XTRA4	TIPO DE ROCA		SLOPE	PHSLP	BANCO	BERM		
código			BANCO	INTERRAMPA		m.	m.	m.
1	AL	AL/BOT	65	38	SIMPLE	15	12.2	12.2
2	VOLC N	VOLC	70	47	DOBLE	30	0	17.06
3	VOLC S		70	47	DOBLE	30	0	17.06
4	RP	RP	60	38	SIMPLE	15	10.54	10.54
5	RP		65	42	DOBLE	30	0	19.33
6	LP1		65	43	SIMPLE	15	9.09	9.09
7	BLP		65	43	SIMPLE	15	9.09	9.09
8	LP1	LP	65	46	DOBLE	30	0	14.98
9	BLP		65	46	SIMPLE	15	7.49	7.49
10	LP1		65	46	DOBLE	30	0	14.98
11	BA NE		60	38	SIMPLE	15	10.54	10.54
12	BA SE		60	38	MODIF	15	8	13.08
13	BA SW	BA	65	42	DOBLE	30	0	19.33
14	BA NW		65	45	DOBLE	30	0	16.01
15		default	65	42	SIMPLE	15	10.54	10.54

Fuente: Área de Geotecnia – Mina Cuajone

FIGURA 5: GEOLOGÍA Y ÁNGULOS INTER-RAMPAS DEL TAJO FINAL FINAL



Fuente: Área de Geotecnia – Mina

1.4 DESCRIPCIÓN

En las operaciones mineras existen diferentes actividades como lo son: perforación, voladura, caminos, botaderos, carguío, acarreo y costos generales, de todos ellos se busca iniciar el plan de reducción de costos sobre la actividad que tenga mayor incidencia sobre el costo total de operaciones, para lo cual se identificó que el costo de acarreo representa aproximadamente el 56% del costo total, por ello hacer una reducción en el costo de acarreo del material representaría una reducción del costo total considerable para la empresa.

A continuación se muestra la distribución del costo total de la mina por actividades:

TABLA 6: DISTRIBUCIÓN DE COSTO POR ACTIVIDADES

Distribución porcentual del Costo	
Perforación	4%
Voladura	9%
Carguío	10%
Acarreo	56%
Camino y Botadero	10%
Otros	10%

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte Sumario de costos, 2011

Existen muchos factores en la actividad de acarreo de material que afectan directamente al incremento de su costo, el principal es la antigüedad de los equipos, a medida que la vida de volquete aumenta el costo de mantenimiento y el costo operativo (aumento su consumo de combustible) también aumentan volviéndose menos productivo y rentable. Ahora, el costo de combustible representa aproximadamente el 50% del costo de acarreo, considerando que la variable precio del diesel ha presentado una dinámica creciente en los últimos tres años, esto ha repercutido considerablemente en el aumento del costo de acarreo en forma indirecta.

Buscando oportunidades de ahorro, se evaluaron alternativas de reemplazo de volquetes que presentan mayor capacidad y tecnología, en términos de reducción de costos operativos e incremento de productividad. Estos equipos con mayor tecnología pueden transportar mayor tonelaje por viaje y con ello permitir la reducción del indicador de dólares por tonelada. Se muestra a continuación la vida promedio de la flota.

TABLA 7: DESCRIPCIÓN DE VIDA PROMEDIO DE LA FLOTA C793 Y K830 EN LA UNIDAD MINERA CUAJONE

Flota	Cantidad	Inicio de operaciones	Vida actual (años)
Volquete Komatsu 830e	6	1994	18
Volquete Komatsu 830e	5	1995	17
Volquete Komatsu 830e	3	1996	16
Volquete Komatsu 830e	6	1997	15
Volquete Caterpillar 793c	7	1999	13

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte Análisis de Productividad 2011

Teniendo en consideración que cada volquete debe tener una vida promedio de 10 años según especificaciones de fabricante y que los indicadores de rendimiento y costos unitarios se encuentran fuera de los rangos, se evaluará reemplazar dichos equipos por volquetes nuevos de mayor capacidad y tecnología.

1.4.1 Operaciones de la Mina

Los principales equipos de la mina de Cuajone corresponden a quince volquetes de 290 toneladas métricas de capacidad, 19 volquetes de 218 toneladas métricas de capacidad, nueve volquetes de 231 toneladas métricas de capacidad y un volquete de 360 toneladas métricas de capacidad, tres palas de 56 yardas cúbicas de capacidad, una pala de 73 yardas cúbicas, una pala de 42 yardas cúbicas, un cargador frontal de 33 yardas cúbicas, cinco perforadoras eléctricas y una perforadora diesel para pre quebrado. El equipo auxiliar incluye nueve tractores de ruedas, diez tractores Caterpillar de oruga, dos cargadores frontales CAT 988, tres cargadores frontales CAT 966, cinco moto niveladoras y tres tanques de agua para regadío de vías.

Ingeniería de la Mina

La producción total diaria en promedio es de 375,000 toneladas métricas. En tanto, la producción diaria de mineral es de 85,000 toneladas métricas con una ley Cu% promedio de 0.623 y ley de Mo% de 0.014. Los parámetros de minado son los siguientes: el ancho de minada depende de tamaño de la Pala siendo el mínimo 70 m en cada banco, la altura de cada banco es de 15 m y las rampas de acceso serán de 35m de ancho con una inclinación de 10%.

CAPITULO II: DIAGNOSTICO

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Evaluar y seleccionar la mejor alternativa en términos de rendimiento y costos operativos de volquetes que se encuentran actualmente en el mercado.
- Reducir costos operativos de la mina.
- Aumentar la productividad de la mina.
- Optimizar la flota de acarreo.

2.2 SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE VOLQUETES DISPONIBLES EN EL MERCADO

La demanda por equipos de acarreo en el mercado se ha incrementado producto del aumento del número de minas en el mundo. Para este caso, se tienen dos alternativas: el Volquete CAT 797F de 400 toneladas métricas y el Volquete K930 de 300 toneladas meticas. Para lo cual, se realizo el análisis respectivos en términos de indicadores de rendimiento (pruebas en condiciones reales de operación) y costos.

Durante el mes de Agosto se obtuvieron dos periodos de prueba en las cuales se pudo asegurar un resultado confiable en términos de pruebas en condiciones reales de operación. Para elección de la alternativa óptima se debe de tener en consideración lo siguiente:

- Calcular KPi's del Volquete CAT 797F versus el Volquete K930.
- Calcular velocidades en dirección ascendente, descendente y plano (cargado y vacío).
- Cuantificar el consumo de combustible en Gl/Hr, Gl/Km, \$/Hr.
- Cuantificar el consumo de llantas en \$/Hr.
- Evaluación, determinación de los rendimientos y los costos operativos en condiciones iguales.

2.2.1 Desarrollo de la prueba:

Las alternativas a evaluar presentes en el mercado son los modelos C797 y K930. Las pruebas se realizaron en la unidad minera Cuajone, para considerar las variables operativas en el cálculo de indicadores de rendimiento y costos se llevo a cabo dicho trabajo en dos etapas. En la prueba N°1 se logro identificar varios factores operacionales que afectan directamente a los KPi's de los volquetes, los cuales generaban datos no confiables a nivel de evaluación. En busca de eliminar dichos factores operacionales se realizo una segunda prueba, en la cual se evaluó los volquetes en condiciones ideales e iguales obteniéndose resultados favorables y confiables. A continuación detallamos el desarrollo de las pruebas.

Prueba N°1

El trabajo se realizo de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se determino las principales rutas operativas de acarreo para la medición de su rendimientos (rutas actuales de producción), ubicando en estas rutas puntos de control y medición.
- Se llevaron a los volquetes al grifo tanto al inicio como al final de la prueba, para el registro del abastecimiento del combustible y obtener como resultado el consumo real en la ruta de prueba.
- Se procedió a realizar el control de tiempos, distancias, tonelaje, etc. durante todo el turno en una misma ruta.
- Se realizo el levantamiento de las rutas muestrales para modelo de los dos volquetes mencionado con anterioridad.

Se cuenta con dos rutas de acarreo:

FIGURA 6: PERFIL DE RUTAS DE ACARREO N°1

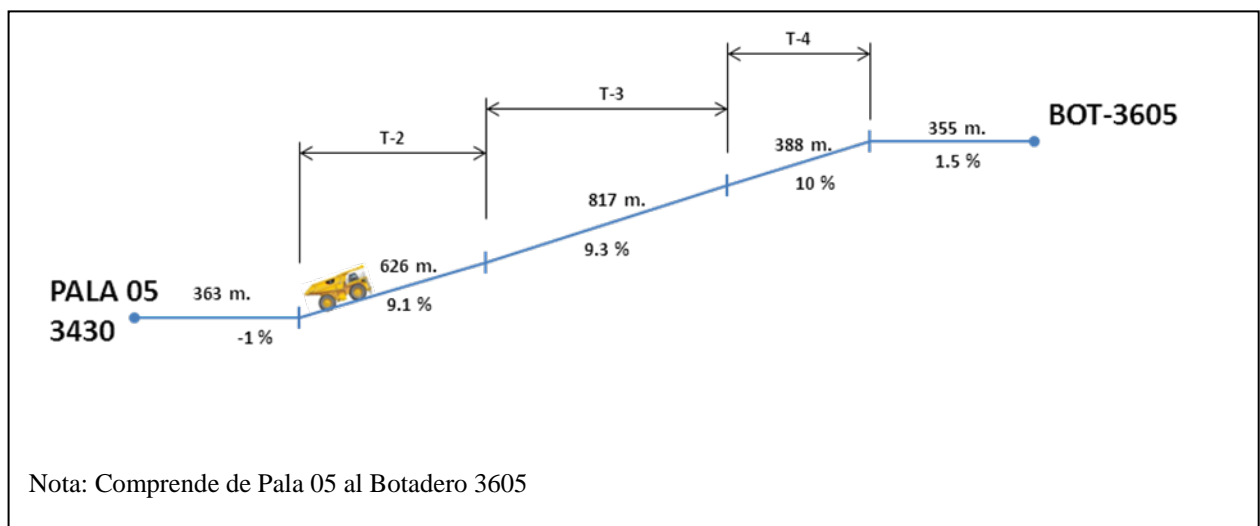
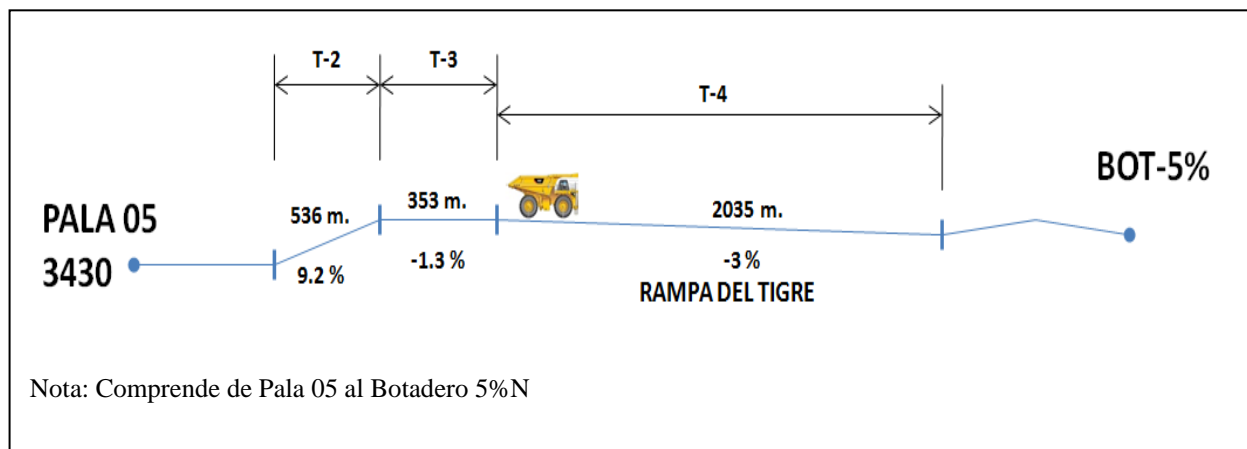


FIGURA 7: PERFIL DE RUTAS DE ACARREO N°2



Es importante tener en cuenta las variables que afectan la medición de datos durante la prueba de los volquetes:

- Factor operador: Si se usan operadores diferentes para realizar la prueba se genera un error por manejo.
- Factor condición de rutas: Cuando se realizan las evaluaciones de rendimiento en pendientes se tiene que tener rutas uniformes, en una ruta operativa generalmente las condiciones son variables y al final el resultado se obtiene con error de medición.
- Factor tráfico de volquetes y equipos de mina: La realización de la prueba se debe realizar en rutas donde el volquete pueda desempeñar su rendimiento óptimo y no se vea interrumpida por tráfico de otros volquetes, equipo auxiliar, cisterna (Moja las vías), colas en botaderos, colas en palas, etc.
- Factor demoras operativas: Se busca obtener resultados óptimos en el levantamiento de los datos de los ciclos de acarreo en la ruta de medición,

no deben ser afectados por demoras operativas de la operación, ya que este genera un error de distorsión de tiempo en los ciclos de acarreo.

- Factor perfiles de ruta: Para este tipo de evaluaciones recabar la información solo desde una ruta particular que responde a un solo perfil es insuficiente, por ello se debe conocer el comportamiento del equipo en todos los perfiles de ruta (pendientes positivas y negativas, cargado y vacío).

Prueba N°2:

Considerando los resultados de la primera prueba y analizando las variables que afectaron la toma de datos se busco realizar una nueva prueba donde las condiciones de medición deberían ser ideales y así eliminar los errores por condiciones operativas ya nombrados. El trabajo se realizo de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se determino tramos de ruta con perfil de acarreo ideal para medición de rendimientos (tramos de rutas con pendientes determinadas). Estos tramos de ruta deben tener pendiente constante y distancias conocidas.
- Se busco tramos de ruta donde el tránsito de volquete es mínimo.
- Para el recorrido de estos tramos de rutas se busco que el volquete ingrese a la zona de medición con una velocidad estable.
- Se pidió al operador del volquete que alcance la velocidad optima que desarrolla el equipo en condiciones normales al momento de realizar la prueba en la zona de medición (cargado, vacío).

- Se recorrió varios tramos de rutas con condiciones similares para validar los datos de medición (cargado y vacío).
- Se considero toma de tiempos según cronometro manual y se valido con el velocímetro del volquete para la confiabilidad de información (velocidades cargado-vacio).
- Se cargo el volquete con su cantidad de Tonelaje óptimo.
- Una vez obtenido la información se realizo el levantamiento respectivo de los tramos de rutas muestreadas.
- El levantamiento de información se realizo para los dos volquetes.
- Eliminación de variables que afectan la medición de datos durante la prueba de los volquetes
- Factor Operador: Se elimino al alcázar la velocidad óptima en cada tramo de ruta.
- Factor condición de Rutas: Se elimino al seleccionar tramos de ruta con condiciones iguales.
- Factor Tráfico de volquetes y equipos de mina: Se elimino al seleccionar los tramos de ruta de mínimo tráfico de volquetes.
- Factor demoras operativas: Se elimino al usar zonas de medición definidas.

Factor perfiles de Ruta: Se elimino, al tener tramos de ruta definidos podemos hacer las pruebas necesarias para tener toda la información requerida para la evaluación.

FIGURA 8: TRAMOS DE RUTAS.

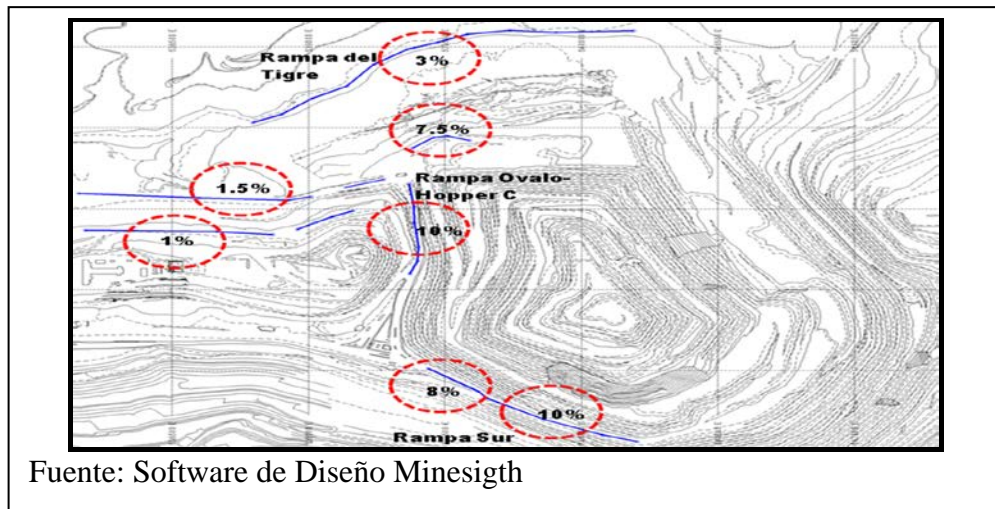
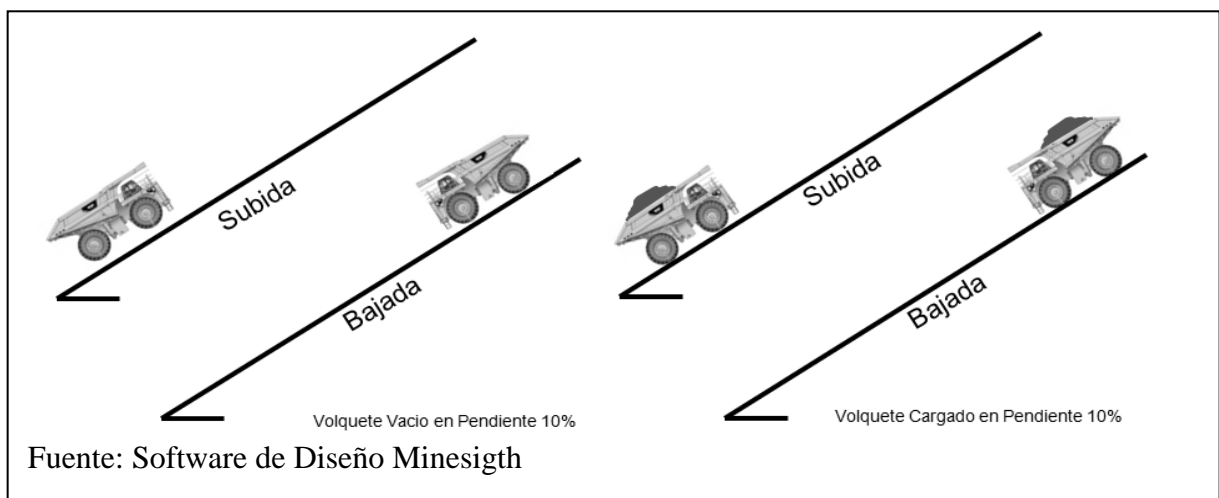


FIGURA 9: PERFILES DE ACARREO



Se muestra a continuación la tabla de velocidades de los diferentes perfiles de acarreo obtenidos de la segunda prueba.

TABLA 8: PERFILES DE ACARREO POR VELOCIDADES

Perfil de acarreo	Pendiente	Cargado	Vacio	Perfil de acarreo	Pendiente	Cargado	Vacio
	Modelo C797				Modelo K930E		
Subida	10.0%	13.7	30.6	Subida	10.0%	12.7	27.9
	9.0%	14.1	32.2		9.0%	13.4	30.2
	8.0%	14.5	33.8		8.0%	14.0	32.4
	7.0%	19.8	49.6		7.0%	18.5	34.7
	6.0%	23.9	51.2		6.0%	23.0	37.0
	5.0%	28.0	52.8		5.0%	27.5	39.2
	4.0%	32.1	54.4		4.0%	30.8	41.5
	3.0%	36.2	56.0		3.0%	34.0	43.7
	2.0%	39.9	58.2		2.0%	37.3	46.0
	1.0%	43.7	59.1		1.0%	40.5	48.2
	0.0%	47.8	58.8		0.0%	43.8	50.5
	-1.0%	51.9	58.5		-1.0%	41.5	48.7
	-2.0%	48.6	58.2		-2.0%	39.2	47.0
	-3.0%	37.8	57.9		-3.0%	36.9	45.2
Bajada	-4.0%	34.6	53.6	Bajada	-4.0%	34.7	43.4
	-5.0%	31.4	49.3		-5.0%	32.4	41.7
	-6.0%	28.2	44.9		-6.0%	29.7	39.9
	-7.0%	24.9	40.6		-7.0%	26.9	38.1
	-8.0%	21.7	36.2		-8.0%	24.2	36.3
	-9.0%	21.3	36.6		-9.0%	23.7	34.6
	-10.0%	20.9	37.0		-10.0%	23.1	32.8

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte Evaluación de rendimiento Volquete 797 vs Komatsu 930, 2011

Asimismo, se muestra los resultados obtenidos de la segunda prueba en términos de tonelaje. Para ello se tomo lectura de la balanza del volquete para cada viaje tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- El volquete debe ser cargado en su capacidad óptima.
- Las suspensiones del volquete deben estar calibradas.
- La recolección de los datos se hace cuando la carga se asienta y esto se logra cuando el volquete ya recorrió un tramo de ruta considerable.
- La medición se debe hacer cuando el volquete se encuentre en zonas planas.

TABLA 9: PERFILES DE LOS MODELOS POR ESTADÍSTICA

DESCRIPTIVA

Estadísticas	Modelo CAT 797	Modelo KOM 930
Tonelaje promedio	344	290
Standard Error	3	3
Media	342	293
Moda	336	305
Desviación estándar	19	24
Máximo	393	344
Mínimo	309	228
Cuantía	50	47

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte Evaluación de rendimiento Volquete 797 vs Komatsu 930, 2011

Por otro lado, al iniciar la prueba se llevo el volquete al grifo y se efectuó el llenado del tanque; al terminar su combustible se realizo la misma operación. El número de galones cargados representan el consumo de combustible durante el periodo de prueba. Asimismo, se selecciono rutas con pendientes promedio en rampa y en plano, se realizo el mismo cálculo del consumo de combustible por pendiente. A continuación se muestra la información de consumo de combustible.

TABLA 10: CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR DIRECCIONES

Modelos	Subida		Bajada	
	C979	K930	C979	K930
Galones (gls)	509	438	378	294
Horas (Hrs)	7	7	7	7
GI/Hr	75	62	53	45

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte Evaluación de rendimiento Volquete 797 vs Komatsu 930, 2011

En lo que respecta al consumo de las llantas, el tiempo de duración de prueba no es un indicador confiable, por ello se busca una alternativa de medición para estimar la vida de la llanta y el cálculo de su costo unitario. RENOVA es la empresa contratista de llantas en Cuajone, dicha empresa lleva el control semanal del consumo y desgastes. Cuando el desgaste de la llanta llega a un 70% (una cifra promedio), la llanta es desechada. Por lo tanto, se estima la vida de la llanta con la información de desgaste de la llanta.

TABLA 11: CONSUMO DE LLANTAS POR FLOTA DE ACARREO Y**POSICIÓN**

Equipo	POS	Fabricante	Diseño	Tipo	Coc. Izq	Coc. der	Promedio	% Desgaste	Total horas
VQC 900	1	Bridgestone	VRPS	2-A	127	126	127	10	1028
	2	Bridgestone	VRPS	2-A	120	126	123	12	1028
	3	Bridgestone	VRPS	2-A	119	127	123	12	1028
	4	Bridgestone	VRPS	2-A	128	121	125	11	1028
	5	Bridgestone	VRPS	2-A	118	125	122	13	1028
	6	Bridgestone	VRPS	2-A	127	117	122	13	1028
Promedio							123	12	1028

Fuente: Renova, Reporte de consumo de llantas 2011

Con la información de rendimiento promedio de las llantas que cuenta la empresa RENOVA para los modelos C797F y K930 se calcula el costo por hora, el cual se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 12: CONTROL DE LLANTAS DE LA EMPRESA CONTRATISTA
RENOVA

Modelos	C797	K930
Desgaste (% Hrs)	0.0115	
Vida estimada de la llanta (Hrs)	6.081	6.505
US\$/uni	52000	45000
US\$/Hrs	8.6	6.9

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte Evaluación de rendimiento Volquete 797 vs Komatsu 930, 2011

2.2.2 Análisis Comparativo de rendimientos y costos en perfiles de rutas diferentes

Con la información obtenida de campo y habiendo validado los datos de velocidades, consumo de diesel, consumo de llantas y la información de costos. Se procedió a evaluar el rendimiento y los costos unitarios en cuatro perfiles de ruta: (a) subida, (b) subida-plano-bajada, (c) bajada y (d) horizontal. Todo lo anterior con el objetivo de simular el comportamiento de los volquetes CAT-797F y KOM-930E a través de la simulación en distintos escenarios. Se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Se uso disponibilidades acumuladas del volquete 797F del 01 agosto al 17 de setiembre 2011.
- El costo por mantenimiento es un estimado, se considero la relación de costos promedios entre el 793 y el 830 y se afecto el mismo porcentaje al costo del 930 para obtener el costo del 797 (porcentaje de incremento 10%). Queda pendiente la confirmación de este dato por parte de mantenimiento.

- Los ciclos de acarreo para el 797 y el 930 ya incluyen los tiempos fijos (tiempo de carguío, tiempo de descarga, etc).
- El equipo de carguío es la pala 05 BUCYRUS 73 yardas3.
- Para el análisis comparativo se tiene que colocar utilizaciones iguales.

No se considera cálculo de distancia equivalente para evaluar los equipos en el mismo escenario

FIGURA 10: RUTAS

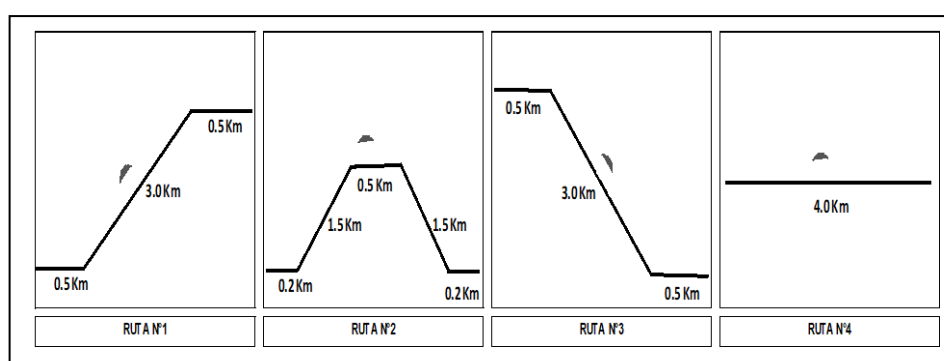


TABLA 13: ANÁLISIS COMPARATIVO DE RENDIMIENTOS Y DE COSTOS EN PERFILES DE RUTAS DIFERENTES

	Ruta N°1		Ruta N°2		Ruta N°3		Ruta N°4	
	C797F	K930	C797F	K930	C797F	K930	C797F	K930
Distancia (Km/Viaje)	4	4	3.9	3.9	4	4	4	4
Ciclo (Min/Viaje)	26	27	24	24	23	22	15	15
Tonelaje (tn/Viaje)	344	290	344	290	344	290	344	290
Disponibilidad (%)	92%	93%	92%	93%	92%	93%	92%	93%
Utilización (%)	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
Horas efectivas (Turno)	9.6	9.7	9.6	9.7	9.6	9.7	9.6	9.7
Productividad (tn/hr)	788	647	851	725	910	809	1376	1168
Productividad (tn/Km)	43	36	44	37	43	36	43	36
Diesel (gl/hr)	75	62	64	54	53	45	53	45
Llantas (US\$/hr)	8.5	6.9	8.5	6.9	8.5	6.9	8.5	6.9
Producción (Turno)	7581	6261	8188	7017	8755	7833	13232	11303
Mano de Obra (US\$/Turno)	155	155	155	155	155	155	155	155
Diesel (US\$/Turno)	2528	2100	2147	1812	1767	1524	1767	1524
Llantas (US\$/Turno)	82	67	82	67	82	67	82	67
Mantenimiento (US\$/Turno)	699	635	699	635	699	635	699	635
Costo Total US\$/Turno)	3463	2957	3083	2669	2703	2381	2703	2381
US\$/Hr	360	306	321	276	281	246	281	246
US\$/TN	0.457	0.472	0.377	0.380	0.309	0.304	0.204	0.211

2.2.3 Análisis de Sensibilidad

Del análisis comparativo anterior entre los volquetes 797 y 930 se deduce que los indicadores más sensibles son la disponibilidad y el costo por mantenimiento del volquete 797. Al no poseer un valor real para ambos se tuvo que asumir criterios de cálculos, con ello se considero la relación de costos promedios de mantenimiento entre los volquetes 793 y el 830 (el costo mantenimiento del volquete 793 es diez por ciento más que el volquete 830) y se afecto el mismo porcentaje al costo del volquete 930 para obtener el costo del volquete 797 (el costo mantenimiento del volquete 797 es diez por ciento más que el volquete 930).

Dada la existencia de la incertidumbre en los datos de disponibles y el costo por mantenimiento del volquete 797, se busca hacer un análisis para calcular el rango de confiabilidad de estos indicadores. A continuación se detalla el procedimiento para el cálculo de la sensibilidad de los indicadores y el costo de mantenimiento del 797.

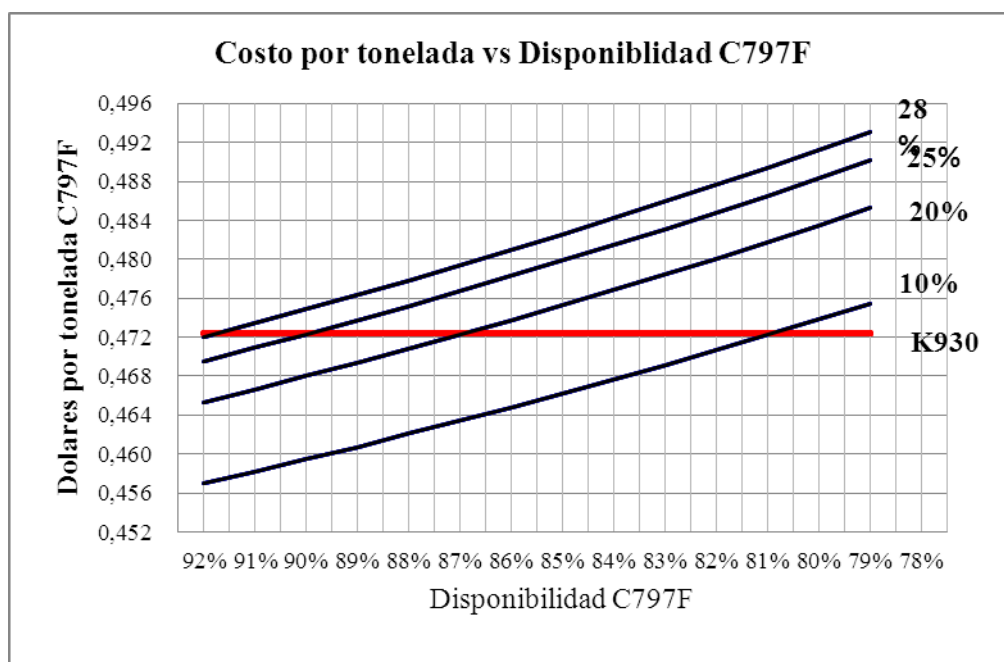
- Partimos considerando que el costo promedio real del mantenimiento del volquete 930 es el costo base.
- Luego calculamos el costo de mantenimiento del 797 que viene representado por el costo de mantenimiento de 930 más el incremento de una tasa porcentual.
- Se calcula el costo por mantenimiento del 797 para cuatro escenarios, a través del supuesto de incrementos del costo del volquete 930 en

10%,20%, 25% y 28%. Las tasas de aumento fueron calculados aleatoriamente para encontrar la tasa de corte donde el volquete no es rentable (tasa de corte 28%).

- Para cada caso se calculo los dólares por tonelada del volquete 797 haciendo variar la disponibilidad y costo de mantenimiento fijo.
- Con los resultados se elaboro las curvas para cada caso considerando el costo por tonelada para distintas disponibilidades comparado con el costo del volquete 930.
- Las curvas de color azul representan al volquete 797 y la curva de color rojo es el costo promedio real del volquete 930 que es constante porque sus indicadores de disponibilidad y costo mantenimiento son datos reales y conocidos.

FIGURA 11: COSTO POR TONELADA VERSUS DISPONIBILIDAD

C797F



Nota: Tenemos las curvas de color negro que representan el incremento del costo por tonelada cuando la disponibilidad disminuye, se ha seleccionado cuatro casos diferentes donde los costos por mantenimiento es diferente para cada caso según el porcentaje de incremento respecto al costo de mantenimiento del 930 (este cálculo está hecho para la ruta N°1 que es el caso más real para Cuajone en los siguientes años de vida de la mina).

La disponibilidad y con ello los cálculos de los costos por mantenimiento del volquete 797 son prematuros, este equipo contempla mantenimiento preventivo, cambio de neumáticos, etc. con mayor tiempo de duración que los volquetes 930. Se debe hacer un análisis para identificar la disponibilidad más adecuada considerando un periodo de prueba mayor al tomado en la evaluación.

El objetivo de la prueba a realizarse es comparar el volquete 797 con el volquete 930, de lo cual se concluye:

- El volquete 797 tiene mayor productividad (velocidad, toneladas por hora, etc.) que el volquete 930.
- Si el costo por mantenimiento del volquete 797 es mayor que el volquete 930 en 29% el volquete no es rentable, ya que tendría que tener disponibilidades por encima del 93%.
- El costo por tonelada del volquete 797 tiene una relación directa con la disponibilidad y costo de mantenimiento, si estos indicadores están dentro del rango de confiabilidad el volquete 797 para todos los casos tendría menor costo por tonelada que el volquete 930.
- Si debemos seleccionar un volquete este sería el volquete 797 pero con la consideración que CATERPILLAR nos asegure una disponibilidad promedio igual que el volquete 930 (rango de disponibilidades 89%-93%) y sus costos de mantenimiento no deben exceder en 28 % al costo por mantenimiento del volquete 930.
- El volquete C797F en condiciones normales (disponibilidad y costo por mantenimiento) comparado con el K930 siempre estará por encima por ser un equipo de mayor capacidad y mayor tecnología, la comparación ideal para medir sus KPIS deberían ser con una flota equivalente (K960, LIEBHERR 400 TN, etc.), esto no se llegó a realizar porque no hay disponibilidad inmediata de equipos de acarreo por parte de los proveedores para pruebas y compras.

2.2.4 Plan de reducción de costos y evaluación de oportunidad de ahorro

Después de las evaluaciones de rendimiento de los volquetes C797F y K930 procedemos a realizar la evaluación de reemplazo de equipos considerando dos escenarios, reemplazo por volquetes C797F y por K930 para los cuales se realizo los siguientes pasos:

1. Se calculó la producción total mensual de acuerdo a la capacidad promedio de carguío y acarreo con la cual cuenta actualmente la Mina Cuajone (5 palas, 42 volquetes).
2. Se calculó costos operativos promedios por mes y se calculó dólares por tonelada.
3. Bajo las mismas condiciones de operación (distancias, pendientes, disponibilidad, utilización, etc.) se hizo la evaluación de rendimientos de la flota CAT 797F como alternativa de reemplazo.
4. Los equipos a reemplazar serían la flota K830 y CAT793 por ser los de mayor antigüedad y menor capacidad de producción.
5. Considerando que la capacidad de producción no cambia (5 palas), se calculó la nueva flota de acarreo (número de volquetes), manteniendo constante la flota actual de K930 y reemplazando las flotas K830 y CAT793 por la flota CAT797F como primera alternativa y K930 como segunda alternativa, por ser equipos de mayor capacidad y tecnología.
6. Se calculó costos operativos de mina para ambas alternativas. Como la capacidad de producción de la mina no cambia, los costos de perforación, voladura, carguío, caminos-botaderos y costos generales no tendrán variación.

7. Se calcula el costo de acarreo, considerando que es variable según la flota de acarreo y el número de equipos que se requiere para cubrir la capacidad de las palas.

Los siguientes son los parámetros de su cálculo:

- Todos los indicadores de rendimiento para la flota CAT 797F que se utilizaron, se obtuvo de la prueba realizada en agosto 2011 (periodo de prueba en Cuajone).
- Se trabajo con una ruta promedio representativa y se calculó la productividad por flota de carguío y acarreo, considerando disponibilidad y utilización promedio.

TABLA 14: LA FLOTA EN TÉRMINOS DE DISPONIBILIDAD Y UTILIZACIÓN

Flota	Disponibilidad%	Utilización promedio %	TN/Hr
Pala 01	90	87	3,505
Pala 02	90	87	4,200
Pala 03	90	87	4,200
Pala 04	90	87	4,600
Pala 05	90	87	6,000
K830	87	85	477
K930	87	85	732
C793	87	85	472
C797F	87	85	879

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte de Cálculo de rendimiento ideal de equipos de acarreo 2011

- Se utilizaron costos promedio de producción de enero a septiembre 2011.
- Para el caso del CAT 797, de acuerdo a estudio previo se determinó que su costo por hora es mayor en 17% al K930 (costo referencial, el tiempo es muy corto para el cálculo de costos reales de mantenimiento).

TABLA 15: LA FLOTA EN TÉRMINOS DE COSTO MENSUAL

Flota	Costo mes US\$/volquete
K-830	156,071
CAT-793	163,140
K-930	192,868
CAT-797	225,656

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte de costos de acarreo 2011

En la siguiente tabla se hace el análisis comparativo en función a las flotas de acarreo actuales y las propuestas, los cuales repercuten en los costos de operación.

Caso 1: Reemplazo de equipos con flota C797F (Cálculo para un mes de producción)

TABLA 16: PRODUCCIÓN Y NÚMERO DE EQUIPOS DE LA FLOTA C797F

Equipo de acarreo	Número de equipos		Variación	Producción (TN)		Variación
	Flota actual	Flota C797F		Flota actual	Flota C797F	
K830	20	-		5,080,746	-	
K930	15	15		5,846,509	5,846,509	
C793	7	-		1,759,955	-	
C797F	-	15		-	6,789,901	
Total	42	30	(12)	12,687,211	12,636,410	(0%)

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte de Reemplazo de Equipo, 2011

TABLA 17: COSTOS DE LA MINA (US\$) CON FLOTA C797F

Cuentas	Flota actual	Flota C797F	Variación
Perforación	650,032	650,032	
Voladura	1,472,083	1,472,083	
Carguío	1,454,851	1,454,851	
Acarreo	7,613,212	6,601,330	
Caminos Y Botaderos	1,377,305	1,377,305	
Costos Generales	1,365,893	1,365,893	
Total	13,933,375	12,921,494	(1,011,882)
Costos unitarios US\$/TN	1.098	1.023	-7%

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte de Reemplazo de Equipo, 2011

Análisis Financiero

Considerando una inversión por la compra de 15 volquetes C797F como plan de reemplazo de flota y la oportunidad de ahorro mensual que me traería el reemplazo de flota (US\$ 1, 011,882) se calcula el tiempo de recuperación de capital:

TABLA 18: ESTIMACIÓN FINANCIERA C797F

Compra de equipos C797F por reemplazo	
N° Volquetes	15
Costo Volquete	5,000,000
Inversión	75,000,000
Tiempo (años)	9
Tasa (años)	9%
PTM (mes)	\$1,011,882
VPN (ganancia)	\$753,943

Por lo tanto, según los resultados obtenidos la recuperación de capital se realiza en 9 años.

Caso 2: Reemplazo de equipos con Flota K930 (cálculo para un mes de producción)

TABLA 19: PRODUCCIÓN Y NÚMERO DE EQUIPOS DE LA FLOTA**K930**

Equipo de acarreo	Número de equipos		Variación	Producción (TN)		Variación
	Flota actual	Flota C797F		Flota actual	Flota C797F	
K830	20	-		5,080,746	-	
K930	15	33		5,846,509	12,667,437	
C793	7	-		1,759,955	-	
C797F	-	-		-	-	
Total	42	33	(9)	12,687,211	12,667,437	(0%)

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte de Reemplazo de Equipo, 2011

TABLA 20: COSTOS DE LA MINA (US\$) CON FLOTA K930

Cuentas	Flota actual	Flota K930	Variación
Perforación	650,032	650,032	
Voladura	1,472,083	1,472,083	
Carguío	1,454,851	1,454,851	
Acarreo	7,613,212	6,704,421	
Caminos Y Botaderos	1,377,305	1,377,305	
Costos Generales	1,365,893	1,365,893	
Total	13,933,375	13,024,585	(908,790)
Costos unitarios US\$/TN	1.098	1.028	-6%

Fuente: Jesús Guerra Molina, Reporte de Reemplazo de Equipo, 2011

Análisis Financiero

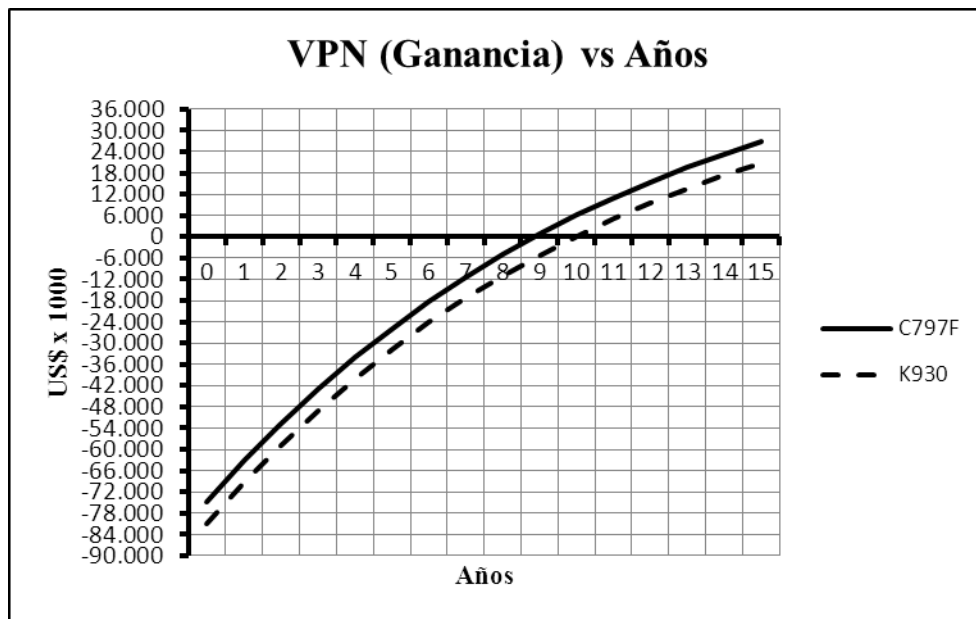
Considerando una inversión por la compra de 18 volquetes K930 como plan de reemplazo de flota y la oportunidad de ahorro mensual que me traería el reemplazo de flota (US\$ 908,790) se calcula el tiempo de recuperación de capital.

TABLA 21: ESTIMACIÓN FINANCIERA K930

Compra de equipos K930 por reemplazo	
N° Volquetes	18
Costo Volquete	4,500,000
Inversión	81,000,000
Tiempo (años)	10
Tasa (años)	9%
PTM (mes)	\$908,790
VPN (ganancia)	\$91,386

Según los resultados obtenidos la recuperación de capital se realiza en 10 años.

FIGURA 12: ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO



CONCLUSIONES

- Se sabe que los equipos de reemplazo con mayor capacidad productiva y tecnología tienen costos operativos más altos por hora, pero su reemplazo se justifica por poseer mayor capacidad productiva, lo cual conlleva a una reducción considerable del número de volquetes en la flota de acarreo, como sustento que la producción de tonelaje se mantiene constante (misma flota de carguío).
- Con respecto al caso uno, la flota se reduce de 42 a 30 volquetes, representando un ahorro mensual de US\$ 1,011,882, es decir, una reducción del costo por tonelada en 7%, con estas consideraciones el capital invertido por la compra de volquetes se recupera en nueve años.
- En tanto para el caso dos, la flota disminuye de 42 a 33 volquetes, generando un ahorro mensual de US\$ 908,790, es decir, una reducción del costo por tonelada en 6%, en este contexto el capital invertido por la compra de volquetes se recuperaría en diez años.

- En función de las disponibilidades de los proveedores y el requerimiento de los planes de minado futuros se debería considerar como una primera opción el caso uno.
- La estandarización de la flota de acarreo permite lograr una mejor productividad debido a que diferentes flotas limitan el rendimiento de los equipos de mayor capacidad productiva por citar un ejemplo podemos mencionar que en una misma ruta un volquete 797 y un volquete K830 no podrían desarrollar la misma velocidad, por lo cual uno de los dos se vería afectado.
- La estandarización permite otros beneficios como son la optimización del programa de mantenimiento y la mejora de gestión de almacén (logística, repuestos, componentes, etc.)
- La reducción de flota de acarreo reducirá la cantidad de personal en operaciones y en mantenimiento, lo cual mejoraría la supervisión y las condiciones de seguridad.
- La reducción de personal trae como consecuencia ahorro de costos operativos directos e indirectos.
- Las flotas de acarreo modernas poseen mayor tecnología de monitoreo (signos vitales, consumos, registro de eventos, etc.) los cuales traen como

consecuencia aumento de disponibilidad, mayor utilización de los equipos y constante capacitación correctiva a operadores para el correcto uso de los equipos.

- Las flotas de acarreo de mayor capacidad requieren un diseño de mina con condiciones específicas de operación, pero ello no representa necesariamente una limitante, ya que en el escenario actual se están evaluando diferentes alternativas de expansión y cambios en la salud de las fases futuras.

RECOMENDACIONES

- Se debe iniciar el plan de reemplazo de equipos considerando la flota de acarreo C797F debido a que generara una reducción de 7% en el costo por tonelada total mina, esta reducción nos genera un ahorro mensual de US\$ 1,011,882 aproximadamente.
- Se debe hacer evaluaciones continuas sobre el rendimiento y costos sobre los equipos más antiguos (equipos que cumplieron su vida útil según fabricante) en la operación minera en busca de alternativas de reemplazo y con ello alcanzando el objetivo final de mayores beneficios para la empresa.

REFERENCIAS

American Psychological Association. (2010). *Publication Manual of the American Psychological Association* (6th ed.). Washington, DC: American Psychological Association.

Caterpillar (2006) Handbook of Cat 797F

Guerra, J. (2011). Reporte de Cálculo de rendimiento ideal de equipos de acarreo

Komatsu (2006) *Specifications & Application Handbook Komatsu 930E* (27th. Ed.) Japón.

Leland, B., & Tarquin, A. (2006) *Ingeniería Económica, Empresa, Organización y Administración* (6th ed.). México, McGraw-Hill.

Southern Perú (2011) Reporte de productividad anual, Reporte de costo de Mina.

Southern Perú (2011) Reporte de productividad anual, Reporte de análisis de equipos.

Southern Perú (2011) Plan anual.

Southern Perú (2011) Reporte de control de rendimientos de equipo anual