

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE  
APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**PRODUCTIVIDAD EN EL CICLO DE CARGUÍO Y ACARREO  
EN EL TAJO FERROBAMBA - LAS BAMBAS 2015**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**DANTE MARURI MEZA**

**Abancay, septiembre del 2016**

**PERÚ**

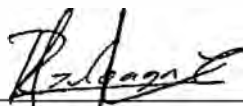


**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE  
APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**PRODUCTIVIDAD EN EL CICLO DE CARGUÍO Y ACARREO EN EL TAJO  
FERROBAMBA - LAS BAMBAS 2015**

**AUTORIZADO**



Ing. Pablo Rubén Zuloaga Candía

Presidente



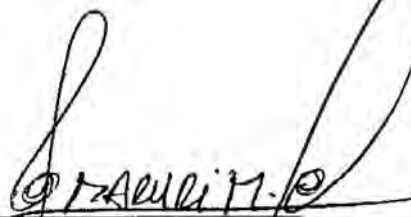
Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

Primer Jurado



Ing. Darío Dante Sánchez Castillo

Segundo Jurado



Bach/ Dante Maruri Meza

Tesista

## DEDICATORIA

A Dios, por llenarme cada día de luz y esperanza;  
y por darme la serenidad e inteligencia en los  
momentos más adversos de mi vida.

A mis padres, Ricardo y Felicitas con todo el amor  
del mundo, por enseñarme a ser perseverante en la  
vida, a lograr mis objetivos; por su incondicional  
apoyo y por todos sus sacrificados esfuerzos para  
llegar a concluir mi carrera profesional de  
ingeniero de minas.

A Yudy, Américo, Richard, Maribel, Sulma y Willy,  
mis hermanos queridos por lo mucho que significan  
para mí, por el apoyo incondicional, y por entender con  
madurez éste largo recorrido por lograr en la vida;  
Dafne, mi hija por ser la inspiración de todos los días  
de mi existencia.

*Dante Marurí Meza.*



## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a los Ingenieros Mauricio Piedra Carpio, Superintendente de Operaciones Mina, Yoel Nova Ramírez, Supervisor General de guardia Operaciones Mina de la Empresa Minera MMG las Bambas, quienes me dieron todo el apoyo y enseñaron sus experiencias día a día.

A los ingenieros P. Rubén Zuloaga Candía, Darwin D. Loayza Encalada, Darío D. Sánchez Castillo, por su asesoramiento y apoyo incondicional para el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente agradezco de manera muy especial a mi Alma Mater, a los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas que me impartieron sus conocimientos durante mi permanencia en la Universidad, brindándome una íntegra formación.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	1
1.2.1. Problema General:.....	1
1.2.2. Problemas Específicos: .....	2
1.3. Justificación e importancia de la investigación .....	2
1.4. Limitaciones .....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo General .....	3
1.5.2. Objetivos Específicos .....	3
1.6. Hipótesis de la Investigación.....	3
1.6.1. Hipótesis General .....	3
1.6.2. Hipótesis Específico .....	3
1.7. Aspectos generales .....	4
1.7.1. Reseña histórica de la mina las Bambas.....	4
1.7.2. Información básica de minera las Bambas .....	6
1.7.3. Ubicación y accesibilidad.....	9
1.7.4. Organización .....	11
1.7.5. Localización geográfica y política .....	12
1.7.6. Recursos ambientales .....	13

1.8.	Geología .....	16
1.8.1.	Geología regional .....	16
1.8.2.	Geología local .....	16
1.8.3.	Geología estructural .....	20

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la Investigación .....	22
2.2.	Bases teóricas.....	25
2.2.1.	Productividad .....	26
2.2.1.1.	Factores que afectan la productividad.....	28
2.2.1.2.	Causas de pérdidas de productividad .....	28
2.2.1.3.	Producción.....	29
2.2.1.4.	Capacidad del equipo .....	30
2.2.1.5.	Utilización efectiva .....	30
2.2.1.6.	Horas totales del equipo .....	31
2.2.1.7.	Demoras .....	32
2.2.1.8.	En espera (Stand by).....	33
2.2.1.9.	Disponibilidad .....	33
2.2.1.10.	Análisis de costos en la operación.....	34
2.2.1.10.1.	Tipos de costos .....	35
2.2.1.11.	Productividad en equipos de carguío .....	37
2.2.1.12.	Productividad en equipos de acarreo.....	38
2.2.2.	Carguío y acarreo.....	39
2.2.2.1.	Carguío .....	39
2.2.2.1.1.	Ciclo de carguío .....	40
2.2.2.1.2.	Movimientos de carguío .....	40
2.2.2.1.3.	Capacidad del balde.....	43
2.2.2.2.	Acarreo .....	44
2.2.2.2.1.	Vías de acarreo .....	45
2.2.2.2.2.	Variables de acarreo .....	45

2.2.2.2.3. Tiempo de ciclo del camión .....	46
2.2.2.2.4. Fuerzas que actúan sobre el camión .....	46
2.2.2.3. Teoría de colas .....	49
2.2.2.4. Actividades del ciclo de carguío y acarreo.....	50
2.2.2.5. Zonas en operación por niveles del Tajo Ferrobamba .....	57
2.2.2.6. Flota de equipos principales .....	63
2.2.2.7. Flota de Equipos auxiliares .....	65
2.2.3. Seguridad en la operación minera .....	68
2.2.3.1. Peligros y riesgos .....	68
2.2.3.2. PET (procedimiento escrito de trabajo) .....	69
2.2.3.3. AST (análisis de seguridad en el trabajo).....	69
2.2.3.4. Inspecciones .....	71
2.2.3.5. Condiciones climáticas.....	71
2.2.3.6. Vías de acarreo subestándar .....	75
2.2.3.6.1. Vías de acarreo con empozamientos de agua .....	75
2.2.3.6.2. Vías de acarreo con ancho operativo y bermas subestándar .....	76

### CAPÍTULO III

#### PARTE PROCEDIMENTAL

3.1. Vías de transporte en las bambas .....	77
3.2. Enfoque de diseño integrado.....	77
3.2.1. Diseño geométrico .....	78
3.2.2. Diseño estructural .....	83
3.2.3. Diseño de mantenimiento .....	87
3.3. Calculo de fuerzas que actúan sobre camión .....	89
3.3.1. Resistencia a la rodadura .....	89
3.3.2. Resistencia a la tracción (Rimpull).....	92
3.4. Estudio de tiempos.....	93
3.5. Análisis del costo total de carguío y acarreo en la operación minera.....	99
3.5.1. Costos en la operación minera de carguío .....	99
3.5.1.1. Calculo de los costos de capital de carguío.....	99

3.5.1.2.	Costo de capital, depreciación e interés .....	100
3.5.1.3.	Costos operativos .....	100
3.5.1.4.	Costo total de carguío.....	101
3.5.1.5.	Determinación del costo unitario de capital .....	102
3.5.1.6.	Calculo del rendimiento de la pala .....	103
3.5.1.7.	Calculo del costo unitario de producción en carguío .....	104
3.5.1.8.	Calculo del costo total de carguío .....	104
3.5.2.	Costos en la operación minera de acarreo .....	105
3.5.2.1.	Calculo de costos de capital de acarreo .....	105
3.5.2.2.	Costo de capital, depreciación e interés .....	106
3.5.2.3.	Costos operativos .....	106
3.5.2.4.	Costo total de acarreo.....	107
3.5.2.5.	Determinación del costo unitario de capital .....	108
3.5.2.6.	Calculo del rendimiento del camión.....	109
3.5.2.7.	Calculo del costo unitario de producción en el acarreo .....	109
3.5.2.8.	Calculo del costo total de acarreo .....	110
3.6.	Cálculo de número de camiones requeridos .....	110

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Mantenimiento de vías .....	113
4.1.1.	La limpieza del material regado en las vías del Tajo. ....	115
4.1.2.	Control de curvas verticales y horizontales.....	115
4.1.3.	Control estricto a los operadores de equipos de carguío .....	116
4.1.4.	Control de altura de banco.....	117
4.1.5.	Control de polvo .....	117
4.1.6.	Control de pisos de palas y botaderos .....	118
4.1.7.	Control de frentes de carguío .....	119
4.1.8.	Buen trato laboral .....	119
4.2.	Resultados operativos .....	120
4.2.1.	Demoras operativas .....	120

4.2.2.	Sobrecarga .....	122
4.2.3.	Producción .....	123
4.2.4.	Productividad.....	125
4.2.4.1.	Rendimiento de palas .....	126
4.2.4.2.	Rendimiento de Camiones .....	128
4.2.5.	Disponibilidad operativa .....	129
4.2.5.1.	Disponibilidad operativa de palas .....	130
4.2.5.2.	Disponibilidad operativa de Camiones .....	132
4.2.6.	Utilización efectiva.....	132
4.2.6.1.	Utilización efectiva de palas .....	133
4.2.6.2.	Utilización efectiva de camiones.....	135
4.2.7.	Justificación económica por tonelada.....	136
CONCLUSIONES.....		138
RECOMENDACIONES .....		139
BIBLIOGRAFÍA .....		140
ANEXOS .....		141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Información del criterio de diseño del tajo. ....	6
Tabla N° 2: Información sobre las rutas de acceso a la mina Las Bambas .....	10
Tabla N° 3: Factores de llenado típicos de material .....	44
Tabla N° 4: Tipo de suelo vs % del peso total. ....	48
Tabla N° 5: Matriz de evaluación de riesgo .....	69
Tabla N° 6: Consecuencia de accidente .....	70
Tabla N° 7: Probabilidad de accidente .....	70
Tabla N° 8: Tabla de anchos recomendados desde una vía hasta 4 vías de tránsito según Ault and Kaufman.....	79
Tabla N° 9: Distribución del Peso del camión Komatsu 930E-4SE, Vacío y cargado en las Vías Mineras de las Bambas.....	83
Tabla N° 10: Resistencia a la rodadura. ....	89
Tabla N° 11: Coeficiente de fricción para las llantas. ....	90
Tabla N° 12: Tiempos obtenidos de carguío y acarreo. ....	93
Tabla N° 13: Tiempo de carguío con la pala 003 P&H.....	97
Tabla N° 14: Ciclo de acarreo de los camiones mineros Komatsu. ....	110
Tabla N° 15: Producción de material movido en los años 2014 y 2015. ....	124
Tabla N° 16: Rendimiento de equipos de carguío y acarreo. ....	126
Tabla N° 17: Disponibilidad de equipos de carguío y acarreo. ....	129
Tabla N° 18: Utilización del equipo. ....	133
Tabla N° 19: Costo de mina por tonelada. ....	137
Tabla N° 20. Tiempo de reacción del frenado.....	142
Tabla N° 21: Tiempo de frenado del camión. ....	142
Tabla N° 22: Rangos típicos de peralte. ....	144
Tabla N° 23: Dimensiones de la pala eléctrica P&H 4100XPC.....	145
Tabla N° 24: Dimensiones del LT 2350.....	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Características del diseño del Tajo Final.....	6
Figura N° 2: Diagrama de equipos de producción Las Bambas.....	8
Figura N° 3: Ubicación de la mina Las Bambas. ....	9
Figura N° 4: Organigrama de la minera Las Bambas.....	11
Figura N° 5: Mapa de localización geográfica. ....	12
Figura N° 6: Ubicación de las comunidades campesinas en la mina Las Bambas.....	13
Figura N° 7: Columna estratigráfica.....	17
Figura N° 8: Sección geológica Ferrobamba.....	19
Figura N° 9: Texturas de las rocas en el tajo Las Bambas. ....	19
Figura N° 10: Modelo geológico del Tajo Ferrobamba. ....	20
Figura N° 11. Metalogénia del Perú, principales franjas mineralizadas. ....	21
Figura N° 12: Diagrama de la operación mina a tajo abierto. ....	25
Figura N° 13: Tipos de productividad. ....	27
Figura N° 14: Diagrama de horas utilizadas y mantenimiento de equipos de operaciones. ....	31
Figura N° 15: Fuerza de empuje y levante. ....	41
Figura N° 16: Demostración del Boom Jack.....	42
Figura N° 17: Capacidad del balde.....	43
Figura N° 18: Rimpull, resistencia la tracción. ....	47
Figura N° 19: Resistencia a la rodadura. ....	48
Figura N° 20: Fuerza que actúa sobre la vía.....	49
Figura N° 21: Ciclo de viajes en operaciones mina. ....	53
Figura N° 22: Radio de influencia de voladura. ....	73
Figura N° 23: Proceso de diseño geométrico. ....	78
Figura N° 24: Anchos de vía para un camión.....	79
Figura N° 25: Anchos de vía para un camión Komatsu 930E4-SE.....	80
Figura N° 26: Ancho de vía para un camión según komatsu. ....	81
Figura N° 27: Tabla actualizada de California Bearing Ratio (CBR). ....	85
Figura N° 28: Capas básicas planteadas para el diseño de las vías en las Bambas.....	86
Figura N° 29: Diseño geométrico con las capas adecuadas para la vía.....	87
Figura N° 30. Calculo de la resistencia a la rodadura. ....	90

Figura N° 31: Cálculo de la RR en vacío. ....	92
Figura N° 32: Cálculo de la fuerza de tracción (Rimpull).....	92
Figura N° 33: Tiempo de carguío promedio por pala.....	98
Figura N° 34: Número de pases por equipos de carguío. ....	98
Figura N° 35: Sección transversal de caminos pioneros en corte. ....	114
Figura N° 36: Sección transversal de caminos pioneros en corte y relleno. ....	114
Figura N° 37: Se demuestra una gran reducción de demoras en los equipos de carguío, con respecto al año 2014. ....	121
Figura N° 38: Se demuestra una gran reducción de demoras en los equipos de acarreo, con respecto al año 2014. ....	122
Figura N° 39: Diagrama del Payload.....	122
Figura N° 40: Seguimiento de sobrecarga a los camiones. ....	123
Figura N° 41: Producción del Tajo Ferrobamba. ....	124
Figura N° 42: Incremento de la Producción del Tajo Ferrobamba con respecto al 2014.....	125
Figura N° 43: Incremento en el rendimiento de la Pala P&H 4100. ....	126
Figura N° 44: Incremento en el rendimiento de la Pala CAT 7495 HR.....	127
Figura N° 45: Incremento en el rendimiento de la pala CAT 6060FS. ....	127
Figura N° 46: Incremento en el rendimiento del Cargador LT 2350. ....	128
Figura N° 47: Incremento en el rendimiento del camión Komatsu 930E-4SE. ....	128
Figura N° 48: Sistema de control mina de demoras operativas rendimiento, disponibilidad. ....	129
Figura N° 49: Incremento en la Disponibilidad Operativa de la Pala P&H 4100. ....	130
Figura N° 50: Incremento en la Disponibilidad Operativa de la Pala CAT 7495 HR.....	130
Figura N° 51: Incremento en la Disponibilidad Operativa de la Pala CAT 6060FS.....	131
Figura N° 52: Incremento en la Disponibilidad Operativa del cargador LT 2350. ....	131
Figura N° 53: Incremento en la Disponibilidad Operativa del camión Komatsu 930E-4SE. ....	132
Figura N° 54: Incremento en la utilización efectiva de la Pala P&H 4100. ....	133
Figura N° 55: Incremento en la utilización efectiva de la Pala Cat 7495 HR. ....	134
Figura N° 56: Incremento en la utilización efectiva de la Pala Cat 6060FS. ....	134
Figura N° 57: Incremento en la utilización efectiva del cargador LT 2350. ....	135
Figura N° 58: Incremento en la utilización efectiva del camión komatsu 930E-4SE. ....	135
Figura N° 59: Costo de capital. ....	136

Figura N° 60: Comparación de costo de carguío y acarreo.....	136
Figura N° 61: Costo total de mina por tonelada en dólares del material.....	137
Figura N° 62: Distancia de frenado en función a la velocidad para una pendiente de 8% aplicado en las vías de acarreo de las Bambas. ....	143
Figura N° 63: Alineamiento de curvas verticales.....	143
Figura N° 64: Pala eléctrica P&H 4100XPC.....	144
Figura N° 65: Ancho y altura de la sala de máquinas y contrapeso. ....	145
Figura N° 66: Pala hidráulica CAT 6060FS.....	146
Figura N° 67: Ancho y altura de la sala de máquinas y contrapeso. ....	146
Figura N° 68: Cargador frontal Letourneau LT2350. ....	147
Figura N° 69: Vista frontal del cargador LT 2350. ....	147
Figura N° 70: Camión minero Komatsu 930E-4SE. ....	148

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Foto del tajo Ferrobamba. ....	17
Fotografía N° 2: Evacuación de la pala eléctrica P&H 4100XPC por voladura. ....	32
Fotografía N° 3: Camiones en stand by, cambio de guardia en el parqueo 3M. ....	33
Fotografía N° 4: Pala eléctrica Cat 6060FS, en tiempo de espera para cargar. ....	51
Fotografía N° 5: Tiempo de llenado del camión. ....	51
Fotografía N° 6: Carguío de material por parte de la pala P&H 4100 XPC. ....	52
Fotografía N° 7: Camiones cumpliendo con el ciclo de acarreo. ....	53
Fotografía N° 8: Camiones esperando en cola para el carguío. ....	54
Fotografía N° 9: Camión cuadrándose para ser cargado por la pala eléctrica P&H 4100XPC. ....	55
Fotografía N° 10: Acarreo de material. ....	55
Fotografía N° 11: Camiones en espera en el botadero. ....	56
Fotografía N° 12: Camión en proceso de retroceso para la descarga. ....	56
Fotografía N° 13: Camión descargando eficientemente en el botadero. ....	57
Fotografía N° 14: Plataforma de perforación en el nivel 4265, Jahuapaylla. ....	57
Fotografía N° 15: Ciclo de minado con una pala eléctrica y regadío de la plataforma de minado. ....	58
Fotografía N° 16: Ciclo de minado con la pala Cat 6060FS. ....	58
Fotografía N° 17: Inicio de guardia en el frente de minado. ....	59
Fotografía N° 18: Ciclo de minado en la zona de sulfuros con la pala eléctrica cat. ....	59
Fotografía N° 19: Ciclo de minado en zona de sulfuros. ....	60
Fotografía N° 20: Ciclo de minado en zona fase 3 con una pala P&H. ....	60
Fotografía N° 21: Vista panorámica del botadero Jahuapaylla. ....	61
Fotografía N° 22: Vista panorámica del botadero 3 Millones. ....	61
Fotografía N° 23: Vista panorámica del grifo para camiones. ....	62
Fotografía N° 24: Vista panorámica del Truck shop, local de mantenimiento mina. ....	62
Fotografía N° 25: Traslado por sus propios medios de la pala P&H. ....	63
Fotografía N° 26: Vista de la pala CAT 7495 HR. ....	63
Fotografía N° 27: Carguío con la pala CAT 6060FS. ....	64
Fotografía N° 28: Carguío con el cargador LT 2350. ....	64
Fotografía N° 29: Parqueo de camiones en el tramo 4. ....	65

Fotografía N° 30: Corte y empuje del tractor D475A. ....	65
Fotografía N° 31: Limpieza de la plataforma de carguío, con el tractor de ruedas.....	66
Fotografía N° 32: Tendido de material de lastre para el mantenimiento de vía.....	66
Fotografía N° 33: Mantenimiento de vía por la motoniveladora GR 03.....	67
Fotografía N° 34: Vista de una motoniveladora haciendo mantenimiento de vías.....	67
Fotografía N° 35: Regadío de la cisterna de agua en la plataforma de carguío. ....	68
Fotografía N° 36: Cielo mostrando indicios de inicio de tormenta eléctrica. ....	73
Fotografía N° 37: Equipo de carguío en espera por granizo en el frente de carguío.....	74
Fotografía N° 38: Vía en con empozamientos de agua en la fase 3. ....	74
Fotografía N° 39: Empozamientos de agua en la vía de acarreo.....	76
Fotografía N° 40: Hundimientos y baches en la vía.....	88
Fotografía N° 41: Vista panorámica del Tajo Ferrobamba. ....	112
Fotografía N° 42: Metodología de limpieza de vía con lómo de corvina.....	115
Fotografía N° 43: Mal carguío por parte del operador de la pala.....	116
Fotografía N° 44: Carga del camión no centrada. ....	116
Fotografía N° 45: Altura de banco mayor a 15m y descreste por un tractor de orugas. ....	117
Fotografía N° 46: Regado de vías en patrón de ajédrez. ....	118
Fotografía N° 47: Descarga óptima y fluida de material en el botadero Jahuapaylla. ....	118
Fotografía N° 48: Óptimo factor de llenado de pala en el ciclo de carguío. ....	119

## RESUMEN

El presente trabajo, titulado “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015”, se resume en métodos de control y mejoramiento de la productividad, en base al análisis de las operaciones de los equipos en función del tiempo y demoras operacionales, ya que los equipos de carguío y acarreo tienen una gran incidencia en el costo. Estos métodos de aplicación de productividad han sido implementados en base a una de las teorías de productividad que se aborda en el segundo capítulo de la tesis. Esta teoría consiste en explicar los conceptos básicos de la productividad, así como el análisis de los factores que afectan positiva y negativamente la productividad.

Actualmente esta operación unitaria de carguío y acarreo abarca cerca del 50% de los costos de operación, donde las principales mejoras se lograran través de una gestión óptima de la disponibilidad, confiabilidad y mantenimiento del sistema. El principal objetivo de este estudio es encontrar los cambios operacionales que tengan mejores resultados sobre las demoras operacionales, y como estas afectan en la productividad diaria del ciclo de carguío y acarreo.

La metodología del estudio corresponde a un estricto control de tiempos y datos disponibles, luego un análisis descriptivo y analítico modelando la relación entre las demoras operacionales en estudio y la productividad diaria.

Los resultados indican que se observa que los días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor demora operacional enfocada al mantenimiento de vías, entre otros factores que afectan negativamente a la productividad.

Explicaré detalladamente, con tiempos, beneficios, problemas y recomendaciones de los operadores, lamentablemente son pocos los operadores que comprenden la importancia del diseño, construcción y mantenimiento de las vías, ellos entienden que la base fundamental para minimizar los costos de acarreo, proveer de más seguridad a los operadores, controlar de forma efectiva el polvo y aumentar la utilización de su flota es teniendo un buen diseño integrado de vía, de acuerdo a las características estructurales de la misma.

Con los resultados obtenidos se logró encontrar un escenario que aumenta la productividad, y en consecuencia, mayor rendimiento en el ciclo de carguío y acarreo, cumpliendo así el principal objetivo del estudio.

## ABSTRACT

The present work, titled "Productivity in the cycle of freight and transport in the Ferrobamba, Bambas 2015", summarizes methods of control and improvement of productivity, based on the analysis of the operations of the teams in terms of time and operational delays, since the teams of freight and transport have a great incidence in the cost. These methods of application of productivity have been implemented on the basis of one belonging to the theories of productivity that is gone aboard in the second chapter of the thesis. This theory consists in explaining the basic concepts of productivity, as well as the analysis of the factors that they affect positively and negatively productivity.

This unitary operation of freight and transport at present comprises close to 50 % of the operating costs, where the main improvements turned out well crosswise of an optimal step of availability, reliability and maintenance of the system. The main objective of this study is finding the operational changes that have better results on the operational delays, and as these affect in the daily productivity of the cycle of freight and transport.

The case-study methodology corresponds to a strict control of times and available data, next a descriptive and analytical analysis modeling the account between the operational delays under consideration and the daily productivity.

Results indicate that it is observed that the days of bigger productivity are those that have the minor delay operational focused to the maintenance of roads, between other factors that they affect negatively productivity.

I will explain in full detail, with times, benefits, problems and recommendations of the operators, the operators that understand the importance of the design, construction and maintenance of the roads, they understand that the fundamental base to minimize the costs of transporting, to provide for the operators of more certainty, to control of effective shape the dust and to increase the utilization of its fleet is having a good design integrated of road, according to the structural characteristics of the same are not regrettably enough.

With the obtained results a scene hunted out that it increases productivity, and in consequence, bigger performance in the cycle of freight and transport, keeping the main objective of the study that way.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo minero, en el que la competencia laboral es cada vez mayor y que requiere mayor productividad a un menor costo, obliga a las empresas mineras a optimizar sus actividades y estructuras organizacionales de manera que se vuelvan más eficientes y competitivas; de otra manera estarán destinadas al dicho fracaso. Las actividades mineras no son una excepción, en un campo en el que el mercado es muy variable e inestable resulta primordial para las organizaciones administrar de manera racional sus recursos.

En el caso de las operaciones unitarias e carguío y acarreo en minería a cielo abierto estas optimizaciones se traducen en la capacidad de transportar más material a un menor tiempo y por lo tanto a un menor costo de operación. Si bien es cierto la tecnología ha desarrollado equipos de carguío y acarreo de mayor capacidad, la optimización consiste en obtener el mejor resultado por el uso de los equipos de gran envergadura.

Por ello el presente estudio de investigación tiene por objetivo principal obtener un método sencillo de control y mejoramiento de la productividad en base a la toma de tiempos de cada ciclo de la operación a evaluar, de manera que pueda ser utilizado en cualquier otro proyecto y con cualquier tipo de maquinaria. Con este sistema nosotros identificaremos las causas que no permiten que nuestras operaciones sean óptimas, y así una vez identificadas podremos tomar medidas que nos ayuden a eliminar o minimizar su incidencia en la productividad, con el fin de mejorar y elevar nuestros rendimientos.

Este trabajo no solo tiene un fin económico, sino también humano, ya que al alcanzar mejoras en el rendimiento, las personas involucradas notaran que sus esfuerzos influyen positivamente en la operación minera.

Para su mayor comprensión la presente investigación se ha dividido en 4 capítulos:

El capítulo I, trata sobre el problema de investigación; en donde se visualiza la hipótesis, planteamiento y formulación del problema, la justificación, los respectivos objetivos de investigación, seguido de la justificación e importancia.

El capítulo II, del marco teórico de la investigación; donde se aprecia primero los antecedentes y luego la información teórica relevante sobre los estudios de productividad en ciclo de carguío y acarreo.

El capítulo III, se describe la parte experimental de la investigación, de los diseños de las vías del Tajo.

El capítulo IV, resultados y discusión este capítulo trata de los resultados obtenidos mediante cálculos de productividad, disponibilidad, rendimientos de los equipos de carguío y acarreo, al final se complementa con las conclusiones, recomendación, bibliografía, y los respectivos anexos de la investigación.

Para finalizar, la tesis demuestra que si es posible incrementar la productividad en el ciclo de carguío y acarreo.



## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Descripción del problema

En la actualidad vivimos en un mundo altamente competitivo y globalizado, donde la productividad de las operaciones juega un rol importante en cualquier proyecto, por consiguiente es necesario obtener o idear sistemas que nos permitan medirla en base a parámetros característicos de cada proyecto.

Bajo este contexto el problema principal es cómo mantener la eficacia y eficiencia, llamada productividad en el ciclo de carguío y acarreo ante la presencia de condiciones sub estándares, condiciones climáticas adversas, riesgos operacionales que son generados por las condiciones sub estándares en el Tajo Ferrobamba.

Este problema gira en torno a lo antes mencionado, y surge a raíz de la necesidad de controlar y elevar la producción en el ciclo de carguío y acarreo en base a la productividad de sus equipos, teniendo como factor característico el tiempo de cada ciclo de las operaciones.

El ciclo de carguío y acarreo es lo fundamental en una operación minera ya que nos permite mover cientos de miles de toneladas por día y a su vez requiere de una supervisión adecuada para poder resolver las dificultades operativas que inciden en la productividad de la operación del Tajo Ferrobamba, y uno de los problemas más frecuentes se ve en el frente de carguío donde la pala está ubicada, generalmente siempre presenta alguna condición como altura de banco que necesita descrestar o simplemente altura de banco muy bajos apta para cargadores, ancho insuficiente del frente para cargar por ambos lados, frente muy duro que prácticamente rompen las uñas de la pala o simplemente bancos de materiales con densidades muy altos que hace que el equipo de carguío baje su rendimiento y por lo tanto la productividad se vea perjudicada. En consecuencia se formula el problema general de la siguiente manera:

#### 1.2. Formulación del Problema

##### 1.2.1. Problema General:

¿De qué manera la productividad influye en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015?

### 1.2.2. Problemas Específicos:

- a. ¿Cómo la productividad tiene relación con las demoras operativas que inciden en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015?
- b. ¿De qué manera influye la productividad con respecto al mantenimiento de vías en el ciclo de carguío y acarreo del Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015?
- c. ¿Qué relación existe entre la productividad y los riesgos presentes en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015?

### 1.3. Justificación e importancia de la investigación

El desarrollo de esta tesis expone la situación de una mina ejemplo donde no existe un adecuado sistema de reducción, control y de tiempos operativos de mina y optimización de las operaciones de minado en función a estándares y mejoras operativas de trabajo, obteniéndose un primer diagnóstico de la situación mediante la supervisión y control en campo de las operaciones.

La minería es una de las actividades extractivas más importantes de nuestro país y del mundo, gracias a la evolución de la tecnología hoy en día esta industria cuenta con equipos de última generación y de gran tamaño lo cual nos permite desarrollar las operaciones unitarias de forma eficiente, es cierto el avance tecnológico contribuyó mucho en el desarrollo de la minería pero en la actualidad todavía existe preocupación por parte de los operadores mineros en el diseño, construcción y mantenimiento de sus vías y la influencia de estos en el desgaste de los neumáticos así como la interacción de estos pueden influir en la seguridad del carguío y acarreo del mineral, el control ambiental del polvo y su repercusión en la utilización de la flota en la operación minera .

Dentro del proceso de carguío y acarreo de material, los costos unitarios son importantes y siempre busca minimizar los costos, aumentar la productividad del ciclo de minado para esto una variable importante es la utilización y que la maquinaria este dedicada a la productividad de la mina trabajando el mayor tiempo posible, es cuando el acarreo es indispensable y que las vías de acarreo estén en las condiciones adecuadas y así lograr de esta manera que la empresa minera obtenga la mayor productividad.

#### **1.4. Limitaciones**

Las principales limitaciones que se presentaron en el desarrollo de la investigación son:

Pocos recursos financieros para la elaboración del proyecto.

Poco tiempo de ejecución del proyecto.

Restricción de información estadística por parte de la empresa.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar de qué manera la productividad influye en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- a. Determinar la productividad en relación a las demoras operativas que inciden en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.
- b. Determinar la productividad respecto al mantenimiento de vías en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.
- c. Establecer la productividad y los riesgos presentes en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.

#### **1.6. Hipótesis de la Investigación**

##### **1.6.1. Hipótesis General**

La productividad influye significativamente en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.

##### **1.6.2. Hipótesis Específico**

- a. La productividad se relaciona significativamente con las demoras operativas que inciden en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.
- b. La productividad influye positivamente respecto al mantenimiento de vías en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.

- c. La productividad se relaciona significativamente con los riesgos presentes en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.

## 1.7. Aspectos generales

### 1.7.1. Reseña histórica de la mina las Bambas

Grupo minero MMG Minmetals Nonferrous Metals Co. Ltd. (CMN), es una empresa China-Australiana de nivel medio global de recursos que explora y desarrolla yacimientos de metales base de minas en Australia, Asia, África y América, enfocados en la explotación del cobre y el cinc. Tiene su sede en Melbourne, Australia y cotiza en la Bolsa de Valores de Hong Kong. El principal accionista de MMG es China Minmetals Nonferrous Metals Co. Ltd. (CMN), es una de las principales empresas estatales multinacionales de China. Empresa diversificada con negocios en el comercio de metales, producción de metales ferrosos y no ferrosos, las finanzas, los bienes raíces y la logística. CMN posee aproximadamente el 62,5% del total de acciones de MMG, y la subsidiaria de propiedad total de Guoxin Internacional Investment Co. Ltd (22,5%) y CITIC Metal Co. Ltd (15,0%).

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

1911 - Las exploraciones fueron realizadas por la empresa Ferrobamba Ltd. en el sector Las Bambas, se realizaron perforaciones con seis taladros diamantinos.

1942 – La empresa Jenks realizó estudios geológicos en la zona de Las Bambas

1952 - Se realizaron 366 estudios de comprobación de los metales para verificar sus leyes en la zona de Las Bambas, la empresa a cargo se llamaba Kruger.

1993 – La empresa Tintaya realizó ensayos químicos del mineral, con presencia de oro y plata. El estudio se realizó en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba.

1966 – La empresa Cerro de Pasco Corporation realizó el mapeo geológico y perforaciones con sus taladros (llegando a 914 metros de profundidad) en la zona de Chalcobamba.

1996 – La empresa Cyprus hizo estudios en la zona de Chalcobamba, realizando perforaciones con seis taladros (933 metros).

1997 - La empresa Phelps Dodge realizó perforaciones con ocho taladros (1 390 metros) en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba. Posteriormente Teck-Cominco realizó perforaciones con cuatro taladros (875 metros) en Chalcobamba. Al finalizar el año, BHP

Tintaya, se ubicó en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba, realizando perforaciones con siete taladros (1 024 metros).

2002 – Centromín retoma el proyecto realizando 35 ensayos químicos por oro y plata en la zona de Las Bambas

2003 – El proyecto pasa a Proinversión, en agosto se aprueba la estrategia de promoción y la convocatoria a precalificación. Durante los meses de setiembre a diciembre se realizaron perforaciones con 11 taladros (2 328 metros) para actualizar información. Asimismo, en el mes de setiembre se realizó la suscripción del convenio de Promoción de la Inversión Privada en Apurímac (Gobierno Regional-Ministerio de Energía y Minas-Proinversión).

2004 – El 31 de agosto, Xstrata Copper (Suiza) ganó la licitación del proyecto las Bambas, ofreciendo US\$ 121 millones, el triple del precio base

2010 - El 2 de setiembre, culminada ya la fase exploratoria, se suscribió el contrato en el que se le transfiere la titularidad de las concesiones mineras del proyecto a Xstrata Copper

2013 - El grupo de minería y metales Glencore International PLC se fusiono con Xstrata PLC para formar la cuarta minera mundial y el mayor corredor de materias primas del mundo

2014 - Glencore Xstrata logró vender el 100% de participación en la mina de cobre Las Bambas, por cerca de US\$ 5 850 millones, a las compañías MMG Ltd, filial externa de China Minmetals Corp, el grupo de recursos naturales e infraestructura Guoxin Investment Corp International Ltd.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Xtrata Las Bambas, (2004). Estudio técnico las bambas

## 1.7.2. Información básica de minera las Bambas

### Diseño de mina

El plan de minado en el Área Las Bambas incluirá el desarrollo de tres tajos abiertos. El Tajo Ferrobamba tendrá diámetro de Pit final de aproximadamente 311ha, el Tajo Chalcobamba de 130ha y Tajo Sulfobamba de 75ha. Los tajos se excavarán mediante la conformación de una serie de bancos, los que hacen necesaria la construcción de un conjunto de rampas, taludes y bermas. Los criterios de diseño serán los siguientes:

Tabla N° 1: Información del criterio de diseño del tajo.

Altura de banco:	15m (H) para banco simple y 30m para banco doble
Ángulo de talud total:	34° ( $\alpha$ ) y ángulo de cara de banco de 65° ( $\gamma$ )
Profundidad de los tajos	855m para el Tajo Ferrobamba, 435m para el Tajo Chalcobamba, 360m para el Tajo Sulfobamba,
Ancho de rampa	35m, basado en un camión típico de 300m.
Ancho mínimo de minado	70m por ambos costados y 45m por un sólo costado, considerando un radio de carguío de 30 metros
Pendiente de Rampa	8% - 10%
Altura de berma (vías)	2,8m

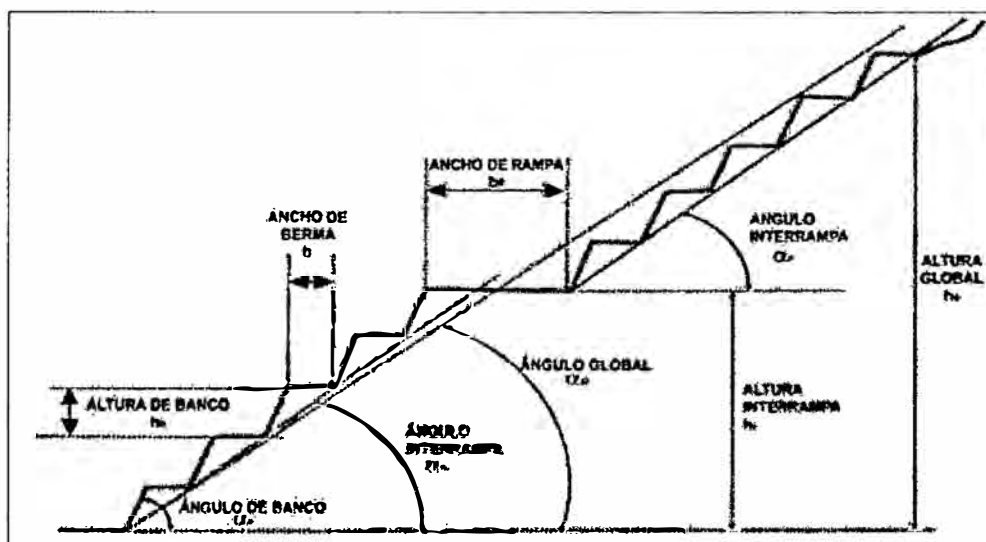


Figura N° 1: Características del diseño del Tajo Final.

## EQUIPOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

- ✓ 02 perforadora diésel 250XP-ST P&H
- ✓ 02 perforadora eléctrica 320XPC P&H
- ✓ 02 perforadora eléctrica MD 6640 CAT
- ✓ 02 perforadora diesel DR560 SANDVIK

### Diseño de perforación

- ✓ Perforadoras eléctrica 12 ¼ “
- ✓ Perforadoras sandvik 5”
- ✓ Tipo de malla triangular

### Explosivos utilizados

- ✓ ANFO
- ✓ Heavy ANFO

## EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO

### Carguío

- ✓ 02 palas eléctricas 4100XP P&H
- ✓ 02 palas eléctricas 7495HR CAT
- ✓ 02 palas hidráulicas 6060FS CAT
- ✓ 01 cargador LT 2350 LETOURNEAU

### Acarreo

- ✓ 38 Camiones mineros komatsu 930E-4SE 300tn
- ✓ 14 camiones mineros Caterpillar 797; 363tn

## EQUIPOS AUXILIARES

- ✓ 07 tractor de orugas komatsu D475A
- ✓ 07 tractores de rueda Cat 844H
- ✓ 04 motoniveladoras Cat 24 M
- ✓ 04 cisternas de agua Komatsu 1500 HD

## PROCESOS

- ✓ Productos: concentrado de cobre (subproductos de oro y plata) y concentrado de molibdeno
- ✓ Vida aproximada de la mina: 20 años
- ✓ Reserva de mineral: 6,9 millones de toneladas métricas de cobre (ley de cobre de 0,73%)
- ✓ Recurso mineral: 10,5 millones de toneladas métricas de cobre (ley de cobre de 0,61%)
- ✓ La planta Concentradora tendrá dos líneas de producción con un molino SAG y un molino de bolas por línea con una capacidad total de 140 000 toneladas por día
- ✓ Se transportara el mineral de las chancadoras primarias (cercanas a la mina) a la planta mediante dos fajas transportadoras accionadas por motores Gearless, que tendrán una longitud total de 5,2km
- ✓ El agua provendrá del río Challhuahuacho (800L/s) y usará un reservorio de agua fresca (Chuspiri - 4,2MM m3) como respaldo durante la temporada seca

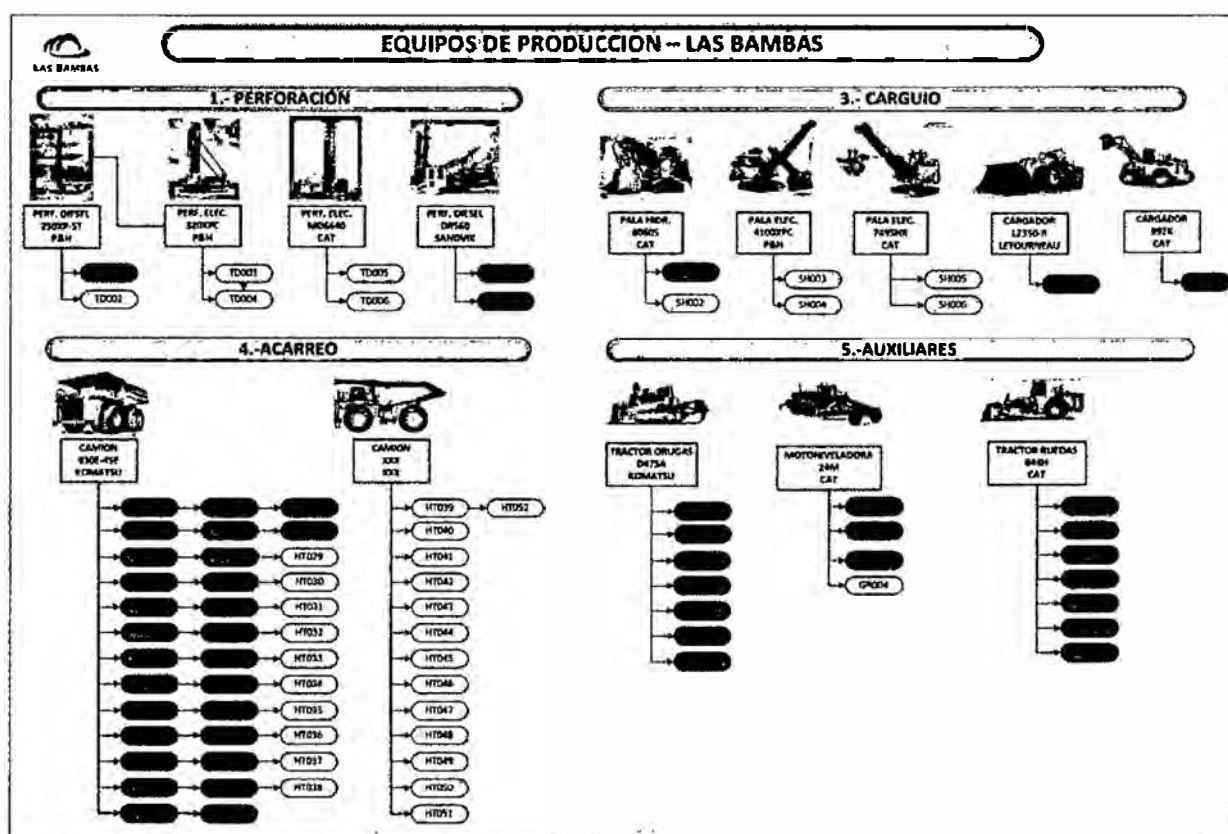


Figura N° 2: Diagrama de equipos de producción Las Bambas.  
Fuente: Área de gestión mina. Las Bambas.

### 1.7.3. Ubicación y accesibilidad

#### Ubicación.

Las Bambas se ubica a más de 4 000msnm, entre las provincias de Cotabambas y Grau, Región Apurímac, a 70 kilómetros en línea recta, al sureste de la ciudad de Abancay.

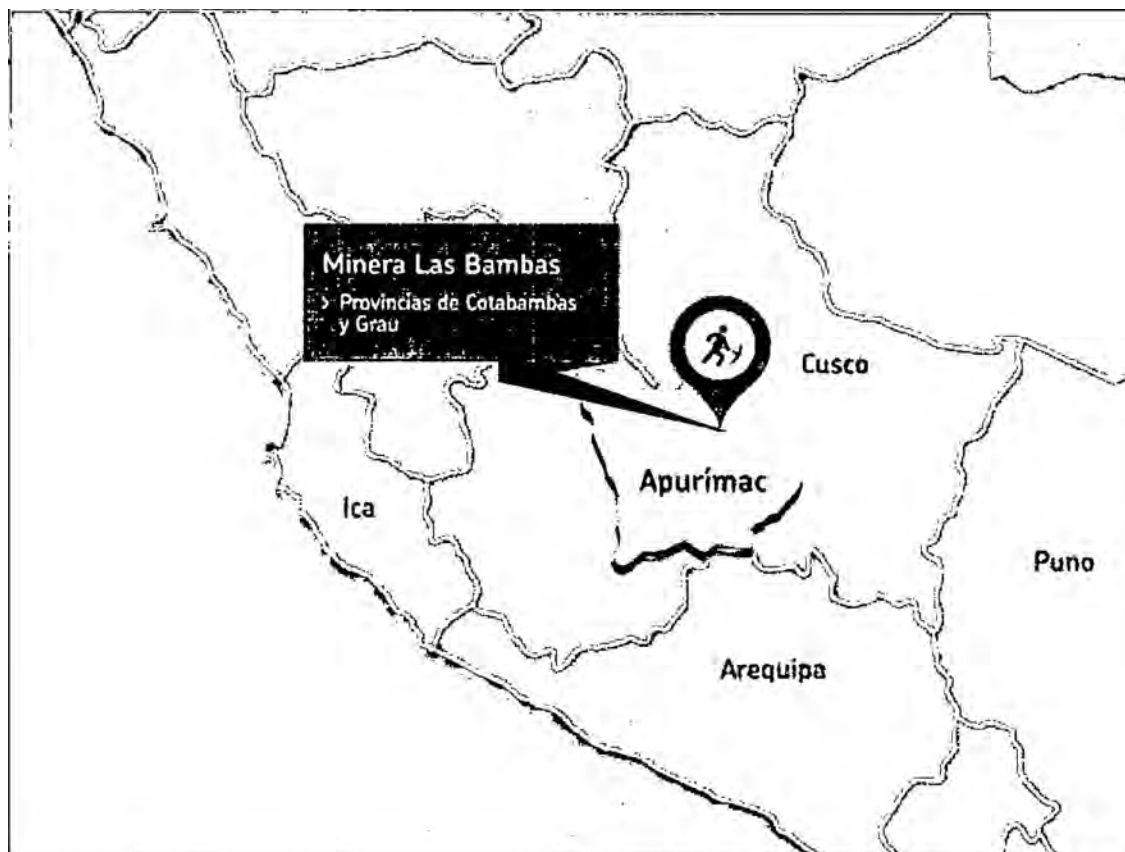


Figura N° 3: Ubicación de la mina Las Bambas.

### Accesibilidad.

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

Tabla N° 2: Información sobre las rutas de acceso a la mina Las Bambas

<b>RUTA 1</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>	<b>VIA DE ACCESO</b>	<b>TIPO DE ACCESO</b>
Abancay-Cusco	208	4	Terrestre	Asfaltado
Cusco-Chalhuahuacho	220	7	Terrestre	Carretera afirmada
Chalhuahuacho–Las Bambas	15	0,5	Terrestre	Carretera afirmada
Total	443	11,5		
<b>RUTA 2</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>	<b>VIA DE ACCESO</b>	<b>TIPO DE ACCESO</b>
Abancay-Chuquibambilla	105	6	Terrestre	Asfaltado
Chuquibambilla–Las Bambas	80	5	Terrestre	Carretera afirmada
Total	185	11		
<b>RUTA 3</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>	<b>VIA DE ACCESO</b>	<b>TIPO DE ACCESO</b>
Lima - Cusco	1165	1	Aérea	Asfaltado
Cusco - Las Bambas	235	0,5	Aérea	Carretera afirmada
Total	1400	1,5		

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones (2015). Mapa vial nacional.

### 1.7.4. Organización

El siguiente diagrama ofrece una visión general de la estructura organizacional de MMG Las Bambas.

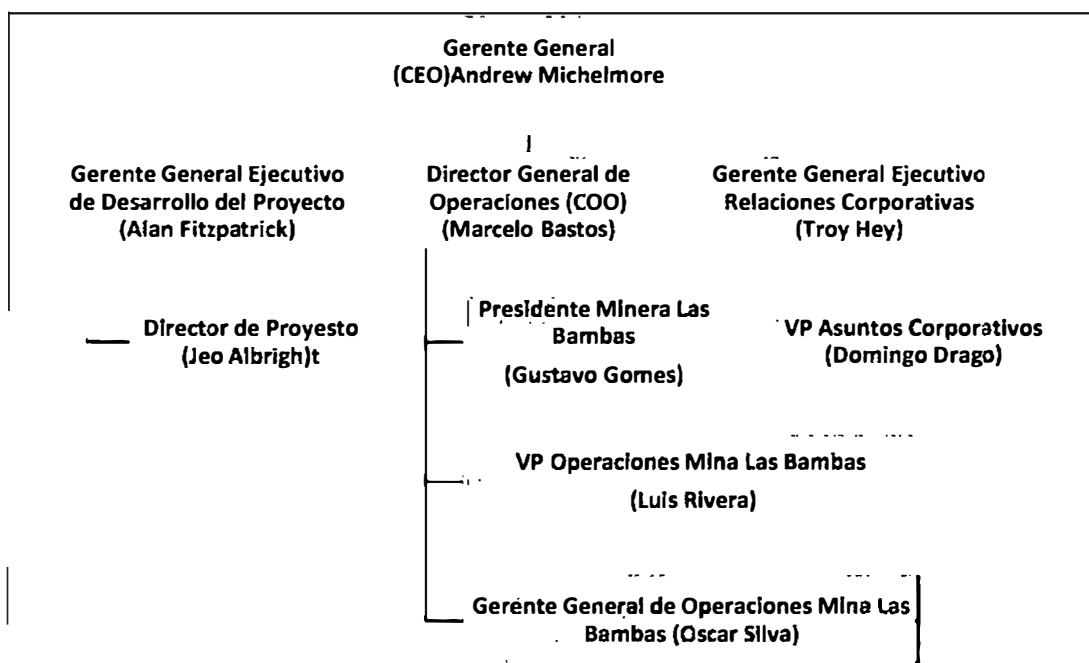


Figura N° 4: Organigrama de la minera Las Bambas.

#### Misión

Hacemos minería con el fin de generar riqueza para nuestra gente, las comunidades en las que desarrollamos nuestras operaciones y nuestros accionistas.

#### Visión

Construir la empresa diversificada de metales base más respetada del mundo.

#### Objetivo

Ser valorados como una de las empresas mineras de nivel medio más importantes del mundo para el año 2020.

### 1.7.5. Localización geográfica y política

#### Localización geográfica

El Proyecto Minero Las Bambas se encuentra, entre los distritos de Chalhuanhuacho, Tambobamba y Coyllurqui, en la provincia de Cotabambas y el distrito de Progreso en la provincia de Grau, región de Apurímac.

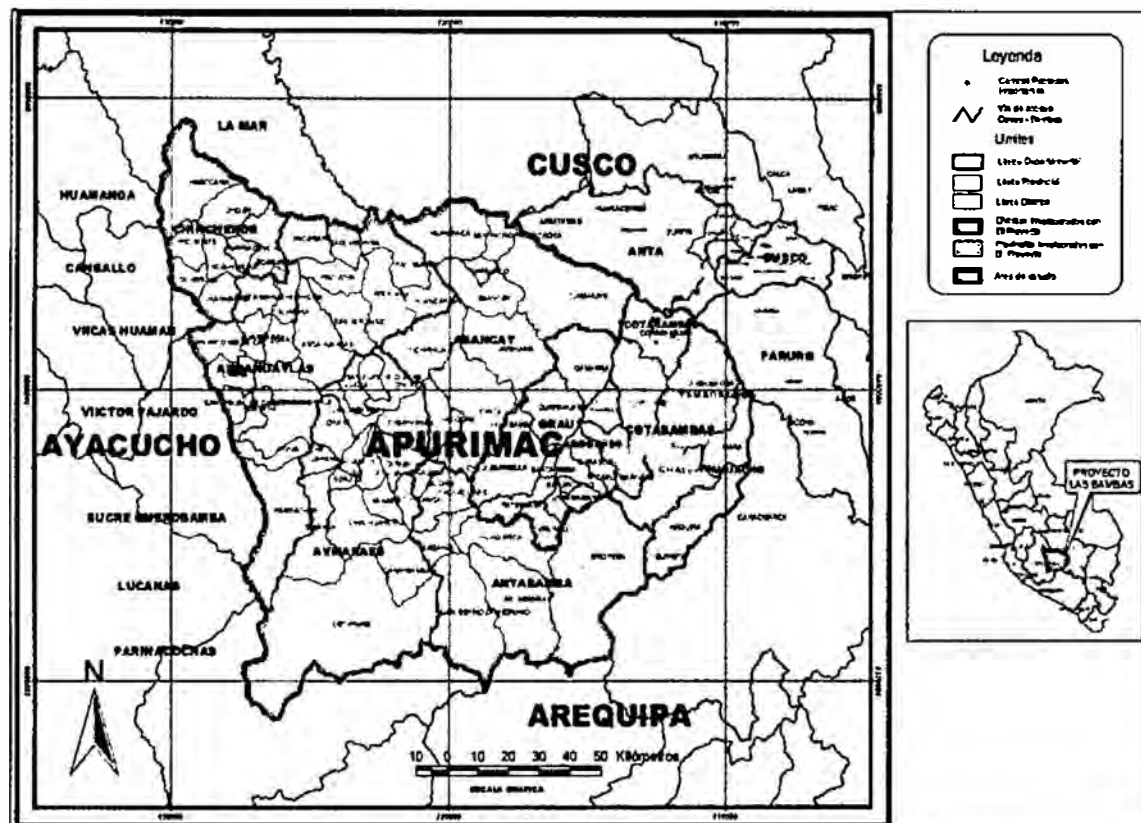


Figura N° 5: Mapa de localización geográfica.

Fuente: Las Bambas. (2010). EIA. Lima.

#### Localización política

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

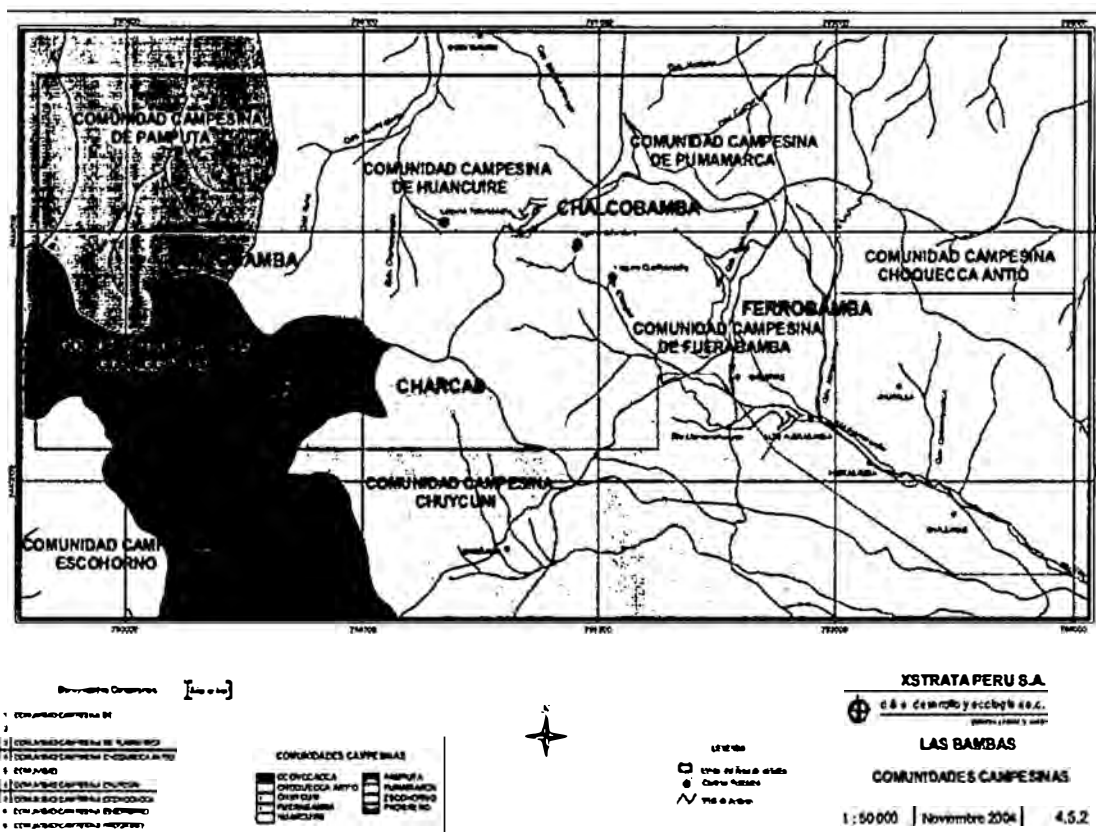


Figura N° 6: Ubicación de las comunidades campesinas en la mina Las Bambas.

Fuente: área de relaciones comunitarias, Las Bambas.

### 1.7.6. Recursos ambientales

#### Fisiografía

Las Bambas (2010), según el EIA, el área del proyecto presenta una topografía bastante irregular, caracterizada por cumbres, quebradas poco profundas, llanuras y laderas de relieve suave. Las cumbres más altas son el cerro Chonta en Sulfoabamba (4 682msnm) y Pichacani en Chalcobamba (4 663msnm); el relieve más bajo lo constituye las márgenes del río Challhuahuacho (3 700msnm).

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

en el sector norte de proyecto (Pamputa) y noreste (Pumamarca), lo cual es propio de la Cordillera Oriental.<sup>2</sup>

### **Clima**

Las características climáticas en la zona andina se manifiestan mediante fenómenos de sequías, heladas y lluvias intensas, de manera diferente en cada uno de sus pisos ecológicos. Las temperaturas están condicionadas por factores de altitud y relieve oscilando en promedio entre 6°C y 16°C, y disminuyendo por debajo de 0°C durante las heladas meteorológicas. En cuanto a las precipitaciones, están principalmente influenciadas por circulaciones atmosféricas de superficie (baja amazónica) y de altura (alta de Bolivia y baja del noreste de Brasil) que traen humedad desde la cuenca amazónica. Por esta razón, los registros pluviales pueden variar anualmente de 500 a 2 000mm.

Las precipitaciones en el área de Las Bambas se deben a las masas húmedas de aire provenientes de la cuenca amazónica las cuales son transportadas, principalmente, por vientos provenientes del oeste. Estas masas de aire húmedo encuentran en su recorrido a la Cordillera de los Andes<sup>3</sup>.

### **Flora**

Se ha determinado la presencia de 270 especies de plantas vasculares en el área de estudio, distribuidas en 172 géneros y 62 familias. Se han encontrado seis tipos de vegetación: pajonal alto, pajonal corto, matorral, vegetación de roquedales, bofedal y vegetación acuática.

El área de estudio corresponde principalmente a una zona de pajonal de puna (pajonal alto y corto), la cual es vegetación alterada fuertemente por el sobrepastoreo y por la quema.

Las familias Asteraceae y Poaceae son las que cuentan con el mayor número de especies en el área de estudio, ambas con 46 especies. Los números de especies de plantas encontrados por tipo de vegetación en el área de estudio local se mencionan a continuación en orden descendiente: matorral (139 especies), pajonal corto (94 especies), vegetación de roquedal (62 especies), pajonal alto (31 especies), bofedal (22 especies) y vegetación acuática (4 especies).<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Las Bambas. (2010). EIA. Lima

<sup>3</sup> Las Bambas. (2010). EIA. Lima

<sup>4</sup> Las Bambas. (2010). EIA. Lima

## Fauna

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

Se registran durante el estudio cuatro especies protegidas por la legislación nacional y/o los convenios u organismos internacionales: el Zorro Andino *Lycalopex culpaeus*, el Gato del Pajonal *Leopardus pajeros*, el Puma *Puma concolor* y la Taruka o Ciervo Altoandino *Hippocamelus antisensis*. Se identificaron a diez especies de valor socioeconómico para los pobladores locales; estas comprenden a un murciélago, un roedor, un lagomorfo, dos cetartiodáctilos y cinco carnívoros.<sup>5</sup>

## Suelos

En general, los suelos son muy superficiales a moderadamente profundos, las limitaciones a la profundidad efectiva la constituyen los altos contenidos de gravillas, gravas y guijarros en los horizontes inferiores del perfil, así como la existencia de capas internas duras y saturadas. La fertilidad química de los suelos es de media a baja, predominando la clase baja, con niveles de altos a bajos de materia orgánica, contenidos de altos a bajos fósforo y potasio disponible; y contenidos de medios a bajos de nitrógeno mineral. Son de reacción extremadamente ácida a moderadamente básica, no son salinos, y la mayoría no muestra carbonatos (la excepción la constituyen los suelos Challaque, Urubamba y Ccocha). Las clases texturales más comunes son franca y franco arenosa, observándose también texturas gruesas (arenosas y arenas francas) y moderadamente finas (franco arcillosas). Respecto a las otras propiedades físicas, el horizonte A (primer horizonte mineral) presenta una estructura de tipo granular, el horizonte B (horizonte aluvial) de bloques y la capa C (material madre) no tiene estructura (grano simple y masivo). Los horizontes A y O (sobre la superficie del suelo) presentan los colores más oscuros del perfil (pardos muy oscuros y negros), en las capas internas predominan los colores pardos con tonalidades amarillentas, grisáceas y fuertes, así como colores grises.

Los metales que se hallan en concentraciones totales altas en relación a los valores guía son arsénico, cadmio, cobre, plomo y tipo de zinc, de estos, el arsénico y el cobre son los que se

<sup>5</sup> Las Bambas. (2010). EIA. Lima

hallan en mayor número de tipos de suelos (diez del total); luego se encuentran el plomo y cadmio en niveles altos en dos suelos cada uno y el cinc solo en uno. De acuerdo a la clasificación por capacidad de uso mayor, las tierras son aptas para Cultivos en limpio, aptas para pastos y de protección.<sup>6</sup>

## **1.8. Geología**

### **1.8.1. Geología regional**

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

Esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno, que se ha emplazado en unidades sedimentarias del Mesozoico, siendo la de mayor importancia la formación Ferrobamba (Cretáceo inferior a superior). Las rocas intrusivas del batolito, en contacto con las calizas Ferrobamba, originaron metamorfismo de contacto y en algunos lugares cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au). El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado al sur de la “Deflexión de Abancay”, con lineamientos de dirección NO-SE, NE-SO y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina.<sup>7</sup>

### **1.8.2. Geología local**

El área del yacimiento Las Bambas presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a la caliza del Cretáceo inferior superior (Formación Ferrobamba). Los cuerpos de skarn asociados son irregulares y están constituidos por granates, piroxenos y magnetita. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja presentan alteración potásica con biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita (zona de mayor temperatura); gradando a una alteración propilítica con epidota, clorita, pirita y trazas de calcopirita hacia los bordes. En general estas intrusiones obedecen a un alineamiento estructural NO-SE similar al del trend del batolito Andahuaylas – Yauri de dirección NO-SE.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Las Bambas. (2010). EIA. Lima

<sup>7</sup> Área de geología mina. Las Bambas

<sup>8</sup> Área de geología mina. Las Bambas

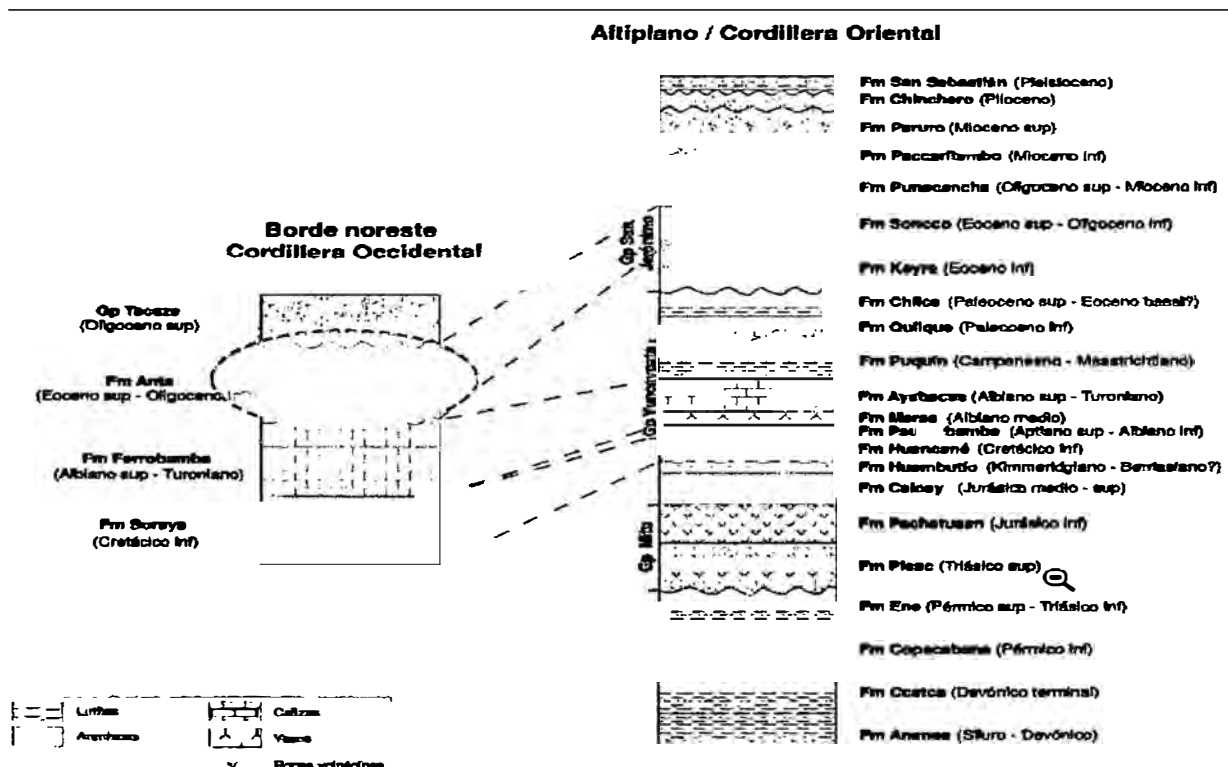


Figura N° 7: Columna estratigráfica.  
Fuente: Carta geológica nacional.

### Geología Ferrobamba

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



Fotografía N° 1: Foto del tajío Ferrobamba.

### **Rocas Sedimentarias**

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

### **Rocas Intrusivas**

Las calizas de la formación Ferrobamba ha sido cortada por varias fases de intrusión. La primera fase es una monzonita biotítica (MZB). Aflora en gran parte en el sector sur y es una de las fases que ha formado cuerpos de skarn de granate -píroxeno > magnetita; con mineralización de calcopirita, bornita y molibdenita asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita.

La segunda fase y tercera fase denominadas monzonita biotítica fina, presentan grano medio a grueso, textura porfírica, “ojos” de cuarzo irregulares, plagioclasas bimodales.

La cuarta fase, monzonita máfica (MZM), es de grano medio a fino, con alto contenido de minerales máficos (hornblenda>biotita), plagioclasa seriada y escasos “ojos” de cuarzo.

La quinta fase es llamada monzonita hornbléndica (MZH), de grano medio, con plagioclasas tabulares cortas y hornblendas prismáticas. Aflora en la parte central y se ramifica en forma de diques en diferentes direcciones.<sup>9</sup>

### **Alteración**

Estos cuerpos de skarn presentan mineralización de sulfuros de cobre (bornita y calcopirita) en forma de masas irregulares, disseminaciones y en venillas de cuarzo. Los cuerpos de skarn formados por la segunda fase son muy similares excepto que no presentan venillas de cuarzo. Son varios los factores que favorecieron la formación de cuerpos de skarn: la composición de los fluidos hidrotermales asociados a la fases de intrusión, los horizontes permeables de calizas, especialmente aquellos que contienen material clástico y el buzamiento de los estratos (50° a 60°) hacia las fuentes de intrusión. Los endoskarns no son muy extendidos, en ellos se forman granates de color marrón claro, poco píroxeno, epidota, clorita, plagioclasas cálcicas, calcita y moderada silicificación.

---

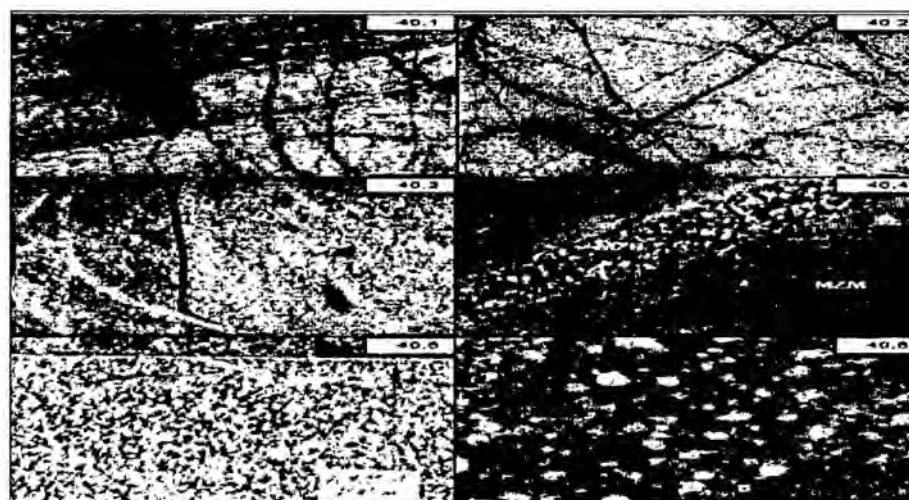
<sup>9</sup> Las Bambas. (2010). EIA. Lima



*Figura N° 8: Sección geológica Ferrobamba.*

*Fuente: Área de geología Mina Las Bambas.*

También hay alteración de monzonita biotítica (MZB) con libros de biotita y venillas delgadas de cuarzo sin mineral, 40.2. monzonita biotítica fina 1 (MBF1) con libros de biotita y venillas de cuarzo con óxidos, 40.3. monzonita biotítica fina 2 (MBF2) con esporádicos libros de biotita y matriz negruzca, 40.4. monzonita máfica (MZM) cortada por monzonita hornbléndica (MZH), 40.5. monzonita hornbléndica, 40.6. monzonita cuarzosa.



*Figura N° 9: Texturas de las rocas en el tujo Las Bambas.*

*Fuente: Área de geología mina. Las Bambas.*

### Modelo Ferrobamba

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



Figura N° 10: Modelo geológico del Tajo Ferrobamba.

Fuente: Área de geología mina. Las Bambas.

### 1.8.3. Geología estructural

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

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

calcoalcina. Las principales deformaciones en la región, causantes del fallamiento y plegamiento son asociadas a la fase Inca.

Localmente el área del yacimiento Las Bambas presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a las calizas de la Formación Ferrobamba. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azulqqa obedecen a un alineamiento estructural NO-SE de la misma dirección que el trend del batolito Andahuaylas – Yauri.

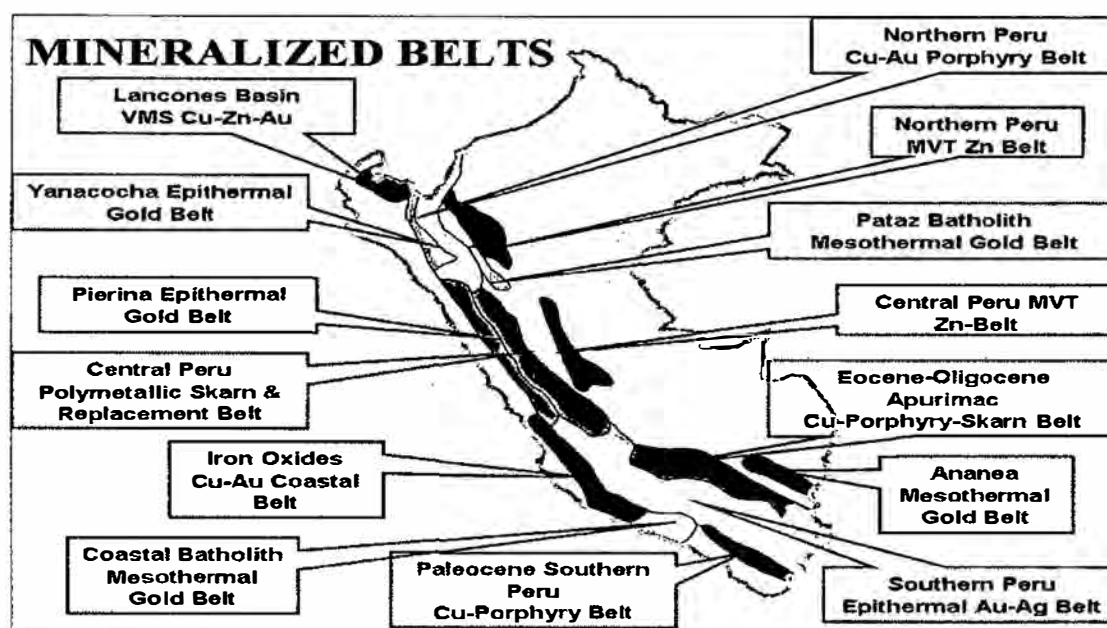


Figura N° 11. Metalogénea del Perú, principales franjas mineralizadas.

### Fase De Intrusión

La actividad magmática del Eoceno-Oligoceno, en el sureste peruano ha emplazado una serie de cuerpos intrusivos calcoalcinos, en múltiples fases intrusivas, conocida como Batolito de Andahuaylas-Yauri (300km x 60km); evento que comprende fases plutónicas, intrusiones de stocks, sills y diques de pórfidos hipabisales. Estos intrusivos estarían íntimamente relacionados a lineamientos regionales andinos de rumbo general NO - SE; como el lineamiento mayor de Berenguela-Tintaya-Katanga-Las Bambas-Cotabambas. En forma generalizada, se pueden distinguir 5 etapas intrusivas dentro de la secuencia magmática del Eoceno-Oligoceno en la franja cuprífera Andahuaylas-Yauri.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Área de geología mina. Las Bambas

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

Se han realizado diferentes estudios a **nivel internacional** sobre el tema “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo” entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Barrientos, V (2014), Desarrolló la investigación, “Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto” el trabajo se realizó en Santiago de Chile. Su objetivo principal fue cuantificar el impacto que conlleva a aplicar cambios operacionales sobre las detenciones en estudio y la productividad diaria, de tal manera de encontrar aquel escenario que agregue mayor valor al sistema. Por lo tanto se concluye de la siguiente manera: que el tiempo de ciclo total posee una alta correlación negativa con una estimación de la productividad para cada ciclo, este resultado es esperado y sigue la lógica de la teoría, dado que esta estimación de la productividad se realiza sobre la división entre el tamaño de tolva descargado y el tiempo que tomo en realizar el ciclo.

Avaria, P (2010), Desarrolló la investigación, carguío y transporte. Santiago, Chile. La investigación fue del tipo no experimental y su diseño descriptivo correlacional. Los resultados recogidos gracias al adecuado análisis de tiempos y correcta asignación de equipos de transporte a cada equipo de carguío nos llevaron a dar la conclusión general del tema de investigación: la correcta asignación de equipos de transporte hacia los equipos de carguío son el fruto de una excelente producción y por lo tanto una buena productividad. De igual forma, se exponen las diferentes herramientas que se pueden emplear para su medición y análisis y que consideran numerosas variables que giran en torno a los valores obtenidos.

Cruzat, A (2006), Desarrolló la investigación Carguío y Transporte. Santiago, Chile. Departamento de ingeniería de minas, Universidad la Serena. La investigación tuvo un diseño de tipo descriptivo. La población objeto de estudio estuvo conformada por equipos de carguío y transporte en una mina modelo. El tipo de muestreo utilizado fue de tipo probabilístico. El cual consistió en hacer una serie de toma de muestras de tiempos de carguío y transporte de todos los equipos de mina. Siendo su objetivo principal de optimizar los tiempos de carguío y transporte. Los resultados obtenidos en cuestión a la optimización de tiempos de carguío y

acarreo condujeron a formular la siguiente conclusión: el éxito para la optimización en los equipos de carguío y transporte es mantener una óptima granulometría del material volado, factor de carguío alto, pistas en buenas condiciones.

Se han realizado diferentes estudios a **nivel nacional** sobre el tema “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo” entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Saldaña, D (2013), Desarrolló la investigación “Productividad en el tajo chaquicocha bajo clima severo en minera Yanacocha”. La investigación fue del tipo no experimental y su diseño descriptivo y aplicativo. Señala que en mineras superficiales, como el caso de Minera Yanacocha, el ciclo de minado carguío y acarreo se presenta a gran escala. Es la gran escala la que permite mover cientos de miles de toneladas por día y a su vez requiere de una supervisión de campo adecuada para poder resolver las dificultades que incidirán en la productividad.

El frente de carguío en donde la pala será ubicada siempre presenta alguna novedad, como altura de banco que necesiten descrestar, ancho insuficiente para cargar, macizo rocoso muy duro que prácticamente rompen las uñas de la pala o una densidad de material que hace llenar un camión con más pases del promedio. Cabe mencionar que en una de sus conclusiones detalla que se demuestra que una correcta metodología de trabajo de la mano con el equipo humano con el que se cuenta en la operación resultaron ser suficiente para poder alcanzar la productividad mensual pese al clima severo de todos los días durante el mes de Diciembre.

Baldeón, Z (2011), Desarrolló la tesis: Gestión en las operaciones de transporte y acarreo. Dice que el objetivo principal de la tesis es proponer la “Guía para la Optimización de Flotas de Acarreo en minas subterráneas”, de tal manera que esté disponible como un método práctico y rápido para adaptarse a las condiciones cambiantes de la operación y lograr el incremento de la productividad, la disminución de costos del proceso de carga y acarreo, que conlleven a obtener el mejor ratio de Costo por TM – Km. De igual manera concluye Carguío y acarreo constituyen los componentes más gravitantes en el costo de minado de una operación minera. También en su resumen, implementación de métodos de control, alternativas de solución para la mejora de la productividad, en base al análisis de las operaciones en función del tiempo ya que como sabemos el acarreo y transporte son variables

que influyen a forma prioritaria en la reducción de costos. Inicialmente se analizan los factores que afectan positiva y negativamente la productividad de la operación de acarreo y transporte (línea base), los métodos de trabajo y los sistemas de control (en caso se cuente con los mismos o sería necesario una implementación), a este análisis acompañaremos una propuesta de solución a la actividad que genera un mayor tiempo improductivo.

Vidal, M (2010), Desarrolló la tesis: Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera. Dice en su resumen, calcula el número de camiones óptimo para el transporte de mineral y desmonte, en una operación minera a tajo abierto y así no pudiera bajar la productividad de la operación minera, calculado en número óptimo de camiones. Los resultados obtenidos condujeron a formular la siguiente conclusión: Para controlar cualquier actividad ésta debe de ser medida, es así que esta tesis demuestra que es factible medir las operaciones del ciclo de transporte y en base a ese cálculo obtener el número adecuado de camiones para la operación. El costo por hora de la pala es de 1204 \$/hr aproximadamente, entonces es necesario contar con el número adecuado de camiones para cumplir con la producción y que la pala esté el menor tiempo inactiva.

Zapata, M (2002), Desarrolló la investigación “Control de Costos de una Operación Minera mediante el Método del Resultado Operativo”. El objetivo general del estudio fue aumentar la productividad y la calidad a través del mejoramiento continuo de la eficiencia y la efectividad en las operaciones. Como instrumento de investigación utilizo los programa de actividades, curva”S”, informes de producción y el resultado económico, sus conclusiones fueron.

El resultado operativo nos permite saber si estamos adelantados o atrasados respecto al tiempo, evaluar si estamos ganando o perdiendo y porque, el método del resultado operativo es una herramienta de control que nos permite identificar y evaluar los costos operativos en los procesos productivos.

De la cruz (1966), Desarrolló la tesis: Transporte de mineral en la mina Toquepala. En su descripción dice, toda medición está representada por un valor medio de las mediciones, no describe las leyes de distribución de los valores, hace comparaciones con tres tipos de palas para la productividad en la operación minera, menciona también la importancia de redondear el número de camión para que no bajé la productividad.

Se han realizado un estudio a **nivel local** sobre el tema “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo” entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Taipe, A (2015), Desarrolló la tesis “Selección y asignación óptima de flota de equipos para mantenimiento de vías en interior mina. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay. El objetivo principal fue encontrar la correcta y óptima asignación de equipos de carguío y acarreo y equipos auxiliares para el adecuado mantenimiento de las vías, llegando a la conclusión que ningún aumento en la frecuencia de mantenimiento podrá arreglar una vía mal diseñada.

## 2.2. Bases teóricas

### Procesos operativos en la operación minera

Las operaciones unitarias realizadas para la extracción de material consisten en cuatro etapas: perforación, voladura, carguío y acarreo, además de las operaciones auxiliares que se vienen realizando. Los camiones llevan distintos tipos de material a su respectivo destino: desbroce al botadero, mineral directamente de la mina a la chancadora primaria y al stock pile.

En este contexto, la presente tesis trata de investigar las relaciones de causalidad de los factores inherentes a la producción de la minería extractiva, identificando la relación entre los costos y el nivel de productividad, en el tajo Ferrobamba.

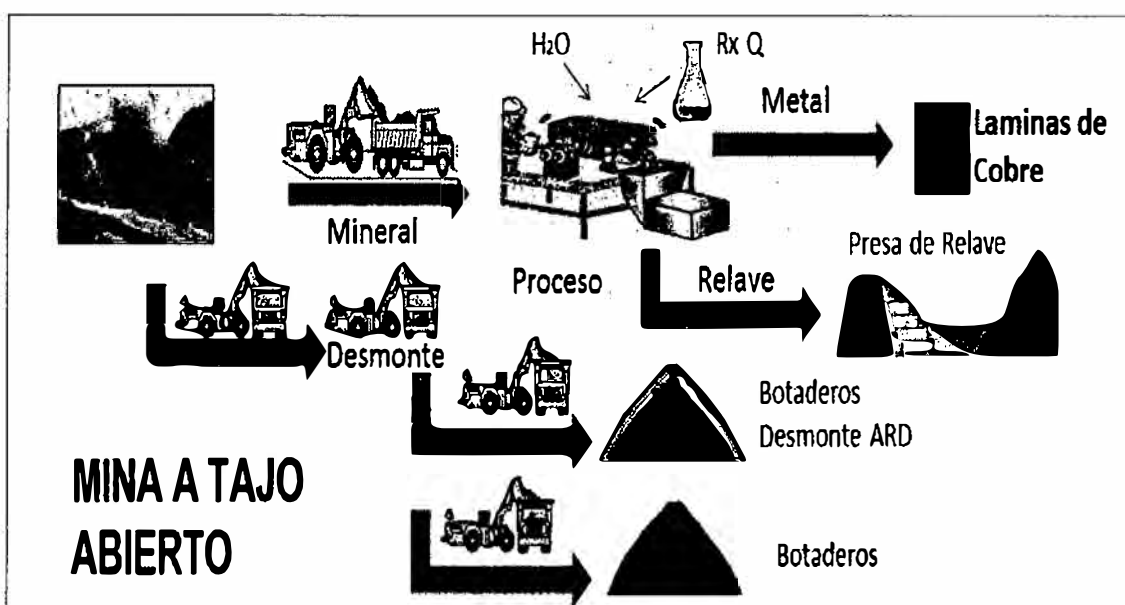


Figura N° 12: Diagrama de la operación mina a tajo abierto.

### 2.2.1. Productividad

Según Siucho, R (2004) desarrollo la aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras, sostiene que la industria minera requiere cumplir muchos requisitos legales, responsabilidad social, ambientales, seguridad y calidad para poder entrar en operación, es una industria de alta inversión y que depende básicamente de las cotizaciones internacionales de los metales, por ello la única manera de ser competitiva a nivel internacional es mediante una gestión adecuada de la productividad total.

Las operaciones en la minería superficial son mucho más complejos, por ello la importancia de la gestión de la productividad total para lograr una competitividad sostenida que garantice una operación eficaz de la mina.

Hay muchos factores que intervienen en la productividad total de una operación minera superficial, con una adecuada gestión de estos actores se logrará una mayor productividad y por ende una mayor competitividad en el mercado internacional, a mayor productividad mayor competitividad generando rentabilidad para los accionistas, estado y colaboradores.

Para cada operación unitaria en la minería superficial es necesario comparar sus niveles de productividad, eficiencia y eficacia con empresas similares (benchmarking), esto nos sirve para conocer donde nos encontramos y que necesitamos para continuar operando con desarrollo sostenible.

A nivel de empresas mineras, aquellas que logren un nivel de productividad mayor al del promedio internacional, tienden a contar con mayores márgenes de utilidad, mientras tanto aquellas empresas con bajos niveles de productividad corren el riesgo de salir del mercado y cerrar, por ello la importancia de la concientización sobre la productividad a nivel de todos nuestros colaboradores en la operación minera.

$$\text{Productividad} = \text{Cantidad producida} / \text{Recursos empleados}$$

Considerado estos recursos podemos definir las siguientes productividades:

- ✓ **Productividad de los materiales:** Planificar adecuadamente las cantidades de los diversos materiales que se utilizaran y contar con ellos en el momento oportuno pero sin aumentar el stock.

- ✓ **Productividad de la mano de obra:** La mano de obra en esta operación la conforman básicamente los operadores de los equipos. De la habilidad de estos, depende en gran medida, su producción y el rendimiento.
- ✓ **Productividad de la maquinaria:** Es un factor crítico, de ellas depende la producción y en gran medida la productividad de los otros recursos.

La Figura N° 12: Resume los principales tipos de productividad en el movimiento de tierras de una mina cuando este es requerido. La maximización de las anteriores determina la productividad general de la gestión de un trabajo.

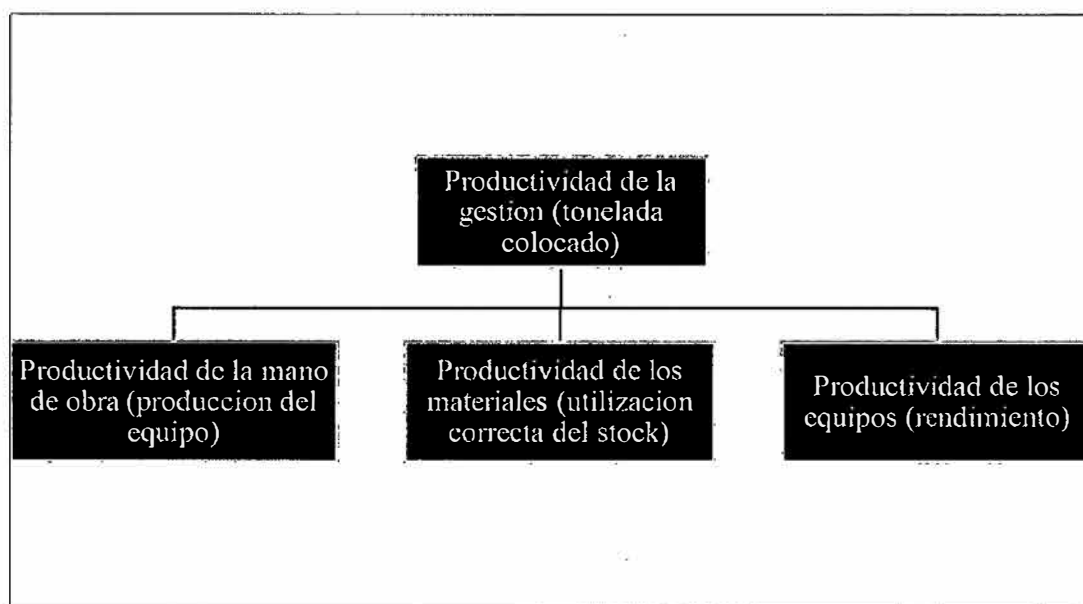


Figura N° 13: Tipos de productividad.

Existen diversos factores que afectan la producción del equipo, el rendimiento, la utilización de los equipos. Es decir, estos factores influyen sobre la productividad de la mina tanto positiva como negativamente. La prioridad es lograr identificar los factores con mayor incidencia sobre la productividad de la misma para luego incrementar las incidencias de los factores positivos y disminuir los negativos.

Es importante comprender que la productividad posee gran cantidad de elementos, los cuales la hacen extremadamente compleja. Para lograr una buena productividad es necesario que todos los involucrados aporten, es decir, todos aquellos que tengan que ver con la ejecución del trabajo.

### 2.2.1.1. Factores que afectan la productividad

Debido a la complejidad del trabajo existen múltiples factores que afectan la productividad entre los más importantes tenemos:

#### Factores que tienen un efecto negativo sobre la productividad

Son factores que influyen negativamente a la productividad como por ejemplo:

- ✓ Cansancio por sobre tiempos de los operadores
- ✓ Errores en las indicaciones del supervisor
- ✓ Cambios durante la ejecución del trabajo
- ✓ Falta de supervisión del trabajo
- ✓ Material a transportar mal volado o en tamaños inadecuados para su transporte
- ✓ Condiciones climáticas inadecuadas
- ✓ Malas condiciones en la zona de trabajo, como la escasez de iluminación
- ✓ Elevada tasa de accidentes

#### Factores que afectan positivamente a la productividad

Algunos de los factores que ayudan a mejorar la productividad son los siguientes:

- ✓ Capacitación del personal
- ✓ Seguridad en obra
- ✓ Innovación de técnicas de operación del equipo
- ✓ Planificación adecuada
- ✓ Programas de motivación del personal
- ✓ Adecuado mantenimiento de los equipos
- ✓ Diseños de vías y zonas donde el trabajo se realiza con mayor comodidad
- ✓ Mejor fragmentación de la roca volada
- ✓ Comunicación constante entre la supervisión y operadores
- ✓ Planificación adecuada del mantenimiento de los equipos

### 2.2.1.2. Causas de pérdidas de productividad

#### Ineficiencia de la supervisión

Entre las principales deficiencias tenemos:

- ✓ La falta de supervisión o la baja relación supervisor / empleado.
- ✓ Una mala organización puede originar problemas de comunicación y coordinación.

- ✓ Mala planificación efectuada por personas que no se encuentran en la capacidad de coordinar y proyectar la ejecución del trabajo.
- ✓ La falta de planificación lleva en muchos casos a una falta de control.
- ✓ El atacar los problemas de manera temporal y sólo cuando se presentan, hace vulnerable a una obra, por otro lado, en algunos casos, los supervisores o jefes de guardia se encuentran agobiados con las tareas administrativas, lo cual se refleja en el campo.

### **Problemas del recurso humano**

El recurso humano presenta las siguientes deficiencias:

- ✓ Falta o deficiente capacitación, lo que se refleja en la calidad del trabajo, lentitud en la operación de los equipos, en muchas ocasiones un mal manejo de los equipos no solo afecta en la producción, si no que puede dañar al mismo.
- ✓ Poca motivación de los trabajadores, la ausencia de satisfacción en el trabajo afecta en su desempeño.
- ✓ Carencia de asignación de labores, el que una persona no tenga una labor definida inestabiliza al mismo.
- ✓ Problemas de comunicación, falta de capacidad de comunicación en los operadores para expresar sus dudas o sugerencias.
- ✓ Bajo rendimiento por problemas personales, falta de asistencia social.

### **Problemas de seguridad**

La seguridad en mina es un factor importante, los accidentes generan pérdidas materiales y peor aún, pueden ocasionar pérdidas humanas. Como ya se mencionó anteriormente, el que no haya un adecuado control y plan de seguridad hace que el desenvolvimiento del operador se vea afectado negativamente, bajando su rendimiento.

#### **2.2.1.3. Producción**

Según Saldaña, D (2013), desarrolló la investigación productividad en el tajo chaquicocha bajo clima severo en minera Yanacocha, la Producción se define como el volumen o peso total de material que debe manejarse en una operación específica. Puede referirse tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para

acceder a la extracción del mineral. A menudo, la producción de mineral se define en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen.

#### 2.2.1.4. Capacidad del equipo

Se refiere al volumen de material que un equipo de carguío o acarreo puede contener en un momento dado (por ejemplo, el volumen del balde de una pala o de la tolva de un camión).

##### Capacidad nominal

Se refiere a la capacidad de un determinado equipo, en términos del peso máximo que puede soportar. La mayoría de los equipos están diseñados para movilizar un determinado peso, en lugar de un volumen máximo. Por lo tanto, el volumen de material manejado dependerá de la densidad del material, y variará con la densidad para un mismo equipo, mientras que el peso máximo es constante y es una función de la resistencia de los componentes del equipo.

##### Carga útil (Payload)

La política de Komatsu indica que una carga aceptable se da entre los rangos de 90 y 110%, pudiendo aceptarse una carga mayor a esta hasta 120%, sin embargo los valores mayores a 120% deben ser descargados para evitar problemas en las llantas o en el equipo. Los valores menores de 90% pertenecen a incidir en el Payload.

#### 2.2.1.5. Utilización efectiva

La utilización efectiva explica como los equipos de carguío incrementan su rendimiento, obteniendo más toneladas/hora. La utilización efectiva son las horas diarias en que el equipo realiza tareas de producción.

$$\text{UTILIZACION EFECTIVA(\%)} = \frac{\text{HORAS EFECTIVAS}}{\text{HORAS TOTALES}}$$

Los tiempos que componen el porcentaje de utilización efectiva dentro de las tareas de producción son las siguientes:

**Equipo de acarreo:** Carga de equipo, acarreo, maniobra para descarga, descarga de material, retorno a equipo de carguío y maniobra para ingreso a carga en el equipo de carguío.

**Equipo de carguío:** Básicamente son las cargas a los equipos de acarreo, movimiento por cambio de frente o algún trabajo en el frente.

Todos los demás tiempos no pertenecen al ciclo de carguío y acarreo, que se dan al realizar el movimiento del material, son los tiempos no productivos como las esperas o stand by en el equipo de carguío o cuando el equipo de carguío no tiene equipo de acarreo que cargar, y por ello mencionamos lo siguiente:

### 2.2.1.6. Horas totales del equipo

Son las horas totales del equipo que trabajan a un régimen laboral de 24 horas, las 4 guardias, los 365 días del año.

#### Horas disponibles del equipo

Son las horas en que el equipo está disponible para producir, es decir, a disposición de Operaciones Mina.

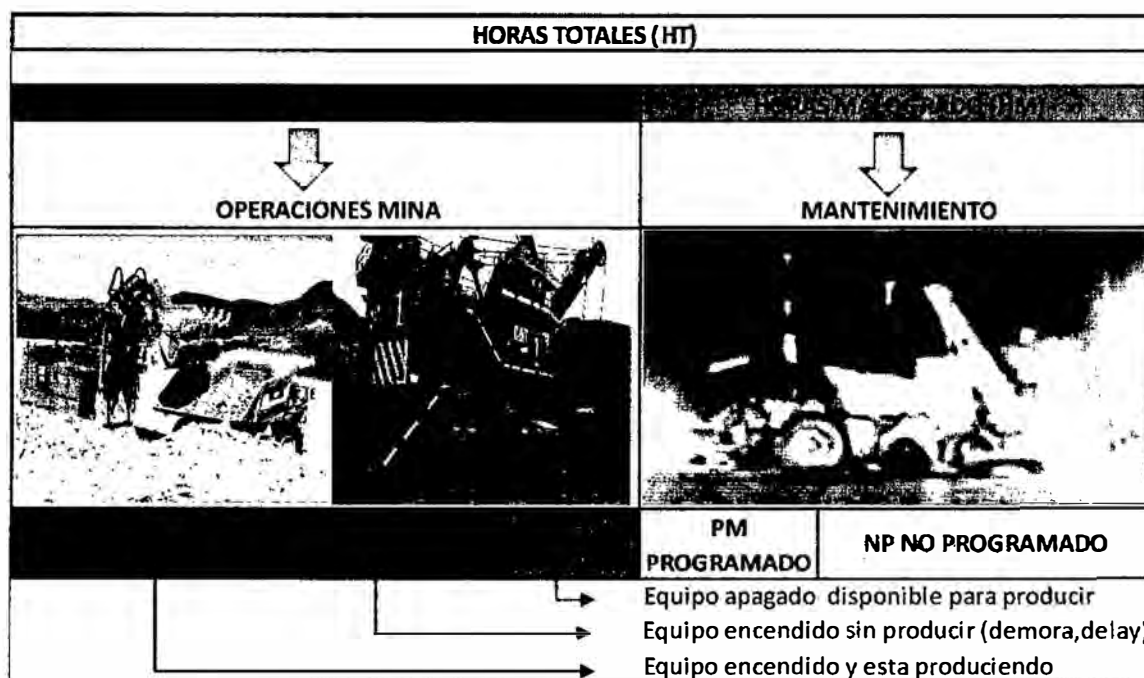


Figura N° 14: Diagrama de horas utilizadas y mantenimiento de equipos de operaciones.

#### Horas del equipo malogrado

Son las horas en que el equipo no está disponible para producir, ya sea por reparación correctiva o preventiva (PM). Está a responsabilidad de Mantenimiento Mina.

### Horas del equipo operativo

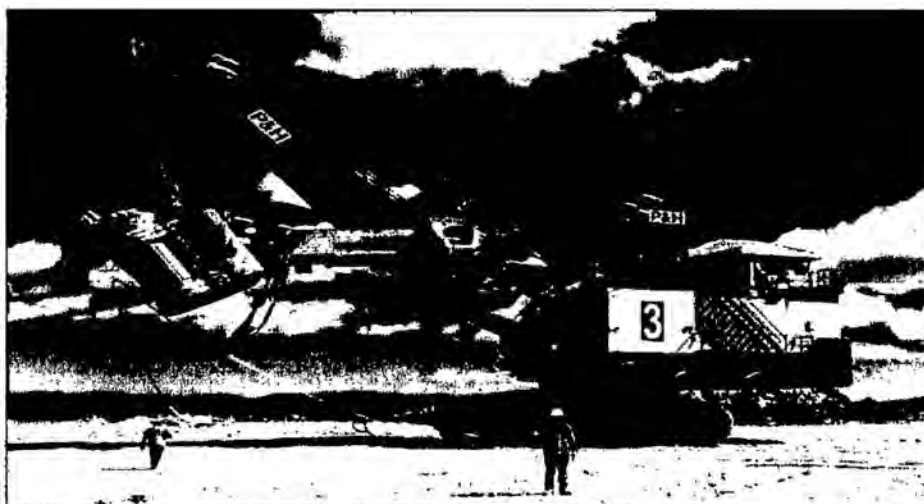
Son las horas en que el equipo está operativo y haciendo trabajo productivo, equipo en producción.

#### 2.2.1.7. Demoras

Es el tiempo en que el equipo está operativo, pero no realizando trabajo productivo.

Algunas demoras se pueden detallar de la siguiente manera:

- ✓ Mantenimiento de vías
- ✓ Cambio de operador
- ✓ Cambio de guardia
- ✓ Abastecimiento de combustible
- ✓ voladura
- ✓ Esperando instrucciones del supervisor
- ✓ Inspección del equipo
- ✓ Desquinchando el frente de minado
- ✓ Cambio de frente de la pala
- ✓ Condiciones climáticas.



*Fotografía N° 2: Evacuación de la pala eléctrica P&H 4100XPC por voladura.*

### 2.2.1.8. En espera (Stand by)

Es el tiempo en que el equipo de carguío o acarreo está disponible mecánicamente, pero apagado por consideraciones operativas. Ejemplos de paradas por stand-by son:

- ✓ Equipo de carguío parado por falta de equipo de acarreo.
- ✓ Parada por condiciones inseguras.
- ✓ Falta de frente de minado.
- ✓ Falta de grifo o cisterna de combustible.
- ✓ Equipo listo en mantenimiento, equipo por recoger.
- ✓ Falta de operador del equipo.
- ✓ Refrigerio.



*Fotografía N° 3: Camiones en stand by, cambio de guardia en el parqueo 3M.*

### 2.2.1.9. Disponibilidad

La disponibilidad operativa indica cuanto del día el equipo está apto para trabajar normalmente y sin inconvenientes mecánicos.

Este índice de rendimiento es importante porque es clave para determinar la causa de una baja en la producción, ya sea porque algún equipo de carguío que dejó de funcionar, y se tuvo que parar parte de la producción.

### Disponibilidad mecánica (%)

Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones. Es una medida de la eficiencia de Mantenimiento, por lo que es controlada por ellos.

$$\text{DISPONIBILIDAD MECANICA(\%)} = \frac{\text{HORAS EFECTIVAS}}{\text{HORAS MANTENIMIENTO}}$$

### Disponibilidad operativa (%)

El porcentaje de tiempo que el equipo está encendido, en producción o en demoras, respecto al tiempo que está disponible mecánicamente. Este parámetro involucra directamente a los Stand by.

$$\text{DISPONIBILIDAD OPERATIVA(\%)} = \frac{\text{HORAS OPERATIVAS} - \text{HORAS MALOGRADAS}}{\text{HORAS OPERATIVAS}}$$

### Producción del equipo (%)

El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo disponible mecánicamente. Es una medida de la eficiencia del aprovechamiento de los recursos por parte de operaciones.

$$\text{PRODUCCION DEL EQUIPO(\%)} = \frac{\text{HORAS OPERATIVAS}}{\text{HORAS OPERATIVAS} + \text{DEMORAS} + \text{HORAS DE STAND BY}}$$

#### 2.2.1.10. Análisis de costos en la operación

Los costos son los valores de los recursos reales o financieros utilizados para la producción en un periodo dado, Si tomamos esta definición, podemos asegurar que los costos serán la mejor información para la toma de decisiones en una actividad, esto porque, el valor de cada componente de la actividad puede ser monitoreado, analizado y optimizado.

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

El carguío y luego el acarreo del material son procesos unitarios que están dentro del proceso de minado, el planeamiento adecuado de estas actividades y el control de los costos son vitales para la obtención de la productividad final a un costo razonable.

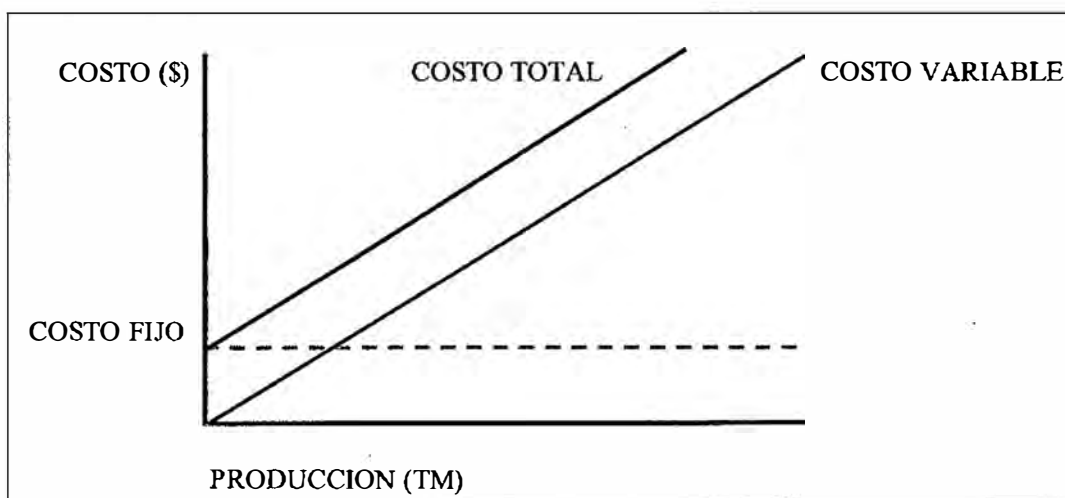
#### 2.2.1.10.1. Tipos de costos

Para el análisis de costos totales generalmente se dividen los costos en:

- ✓ **Fijos:** Aquellos que por su naturaleza son independientes al volumen de producción (Ej. Mano de obra, alquiler de equipo, etc.)
- ✓ **Variables:** Son aquellos que son directamente proporcionales al volumen de producción en el periodo dado (Ej. Llantas, Combustible, energía eléctrica, etc.)

Estos costos pueden ser representados gráficamente, como costos fijos y costos variables, cuya suma da el costo total.

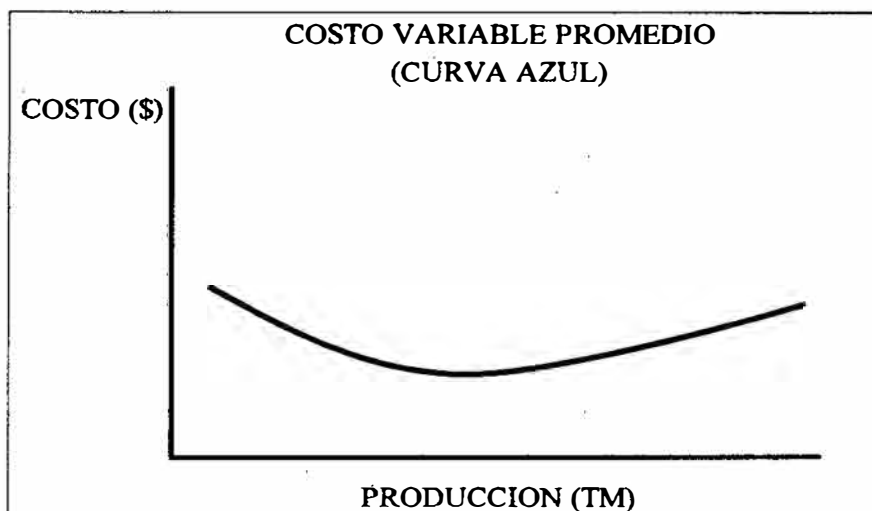
- ✓ Los costos fijos son una línea paralela al eje de la producción (P)
- ✓ Los costos variables son una función de la producción (P), es decir que aumentan en función al aumento de la producción.
- ✓ El costo total es la suma de los costos anteriores.



*Fuente: MSc. Carlos Reátegui Ordoñez. Carga y transporte en minería superficial.*

El costo variable promedio (CVP) se calcula al dividir el costo variable total (CVT) por la cantidad producida (P)

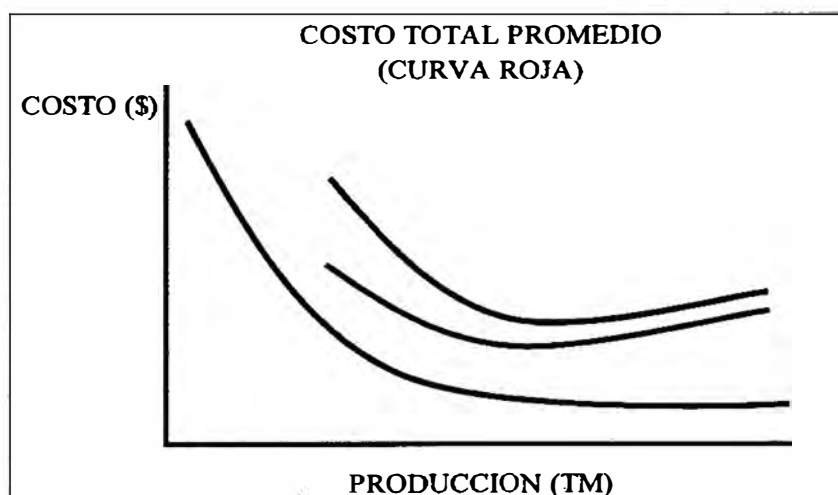
- ✓ El costo variable promedio se representa gráficamente con una curva en forma de U, la cual refleja la eficiencia de producción ascendente y luego descendente según los cambios de volumen.
- ✓ Interpretando esta curva podemos decir que existe una cantidad producida donde el costo variable es el más eficiente, luego este costo volverá a incrementarse



*Fuente: MSc. Carlos Reátegui Ordoñez. Carga y transporte en minería superficial.*

El costo total promedio (CTP) se calcula al dividir el costo total (CT) por la cantidad producida (P), o de sumar el CPF mas el CVF

- ✓ Interpretando la curva podemos decir que existe una cantidad de producto optimo, donde el costo total es el más bajo, luego este punto el costo volverá a incrementarse.

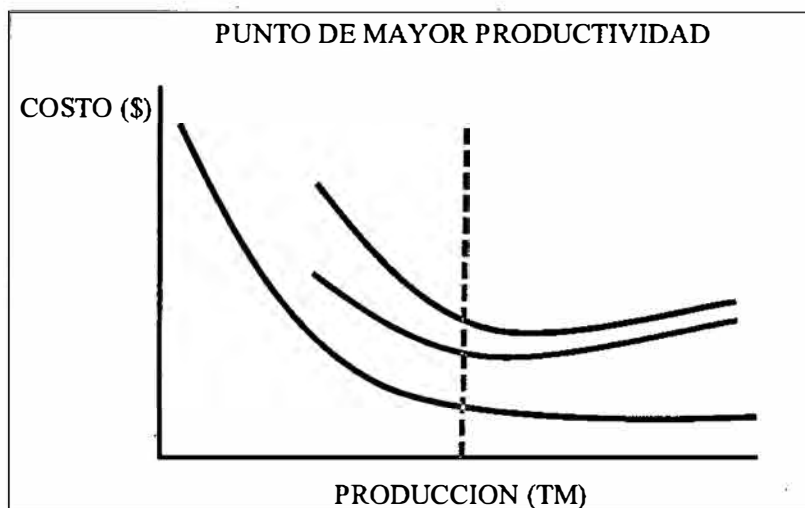


*Fuente: MSc. Carlos Reátegui Ordoñez. Carga y transporte en minería superficial.*

### Mayor productividad

La producción óptima con el menor costo es el punto mínimo de las curvas CPT y CPV (punto de mayor productividad)

- ✓ Para determinar este punto se debe llevar estadísticas de la producción y los costos. Estas permiten graficar las curvas correspondientes.



*Fuente: MSc. Carlos Reátegui Ordoñez. Carga y transporte en minería superficial.*

#### 2.2.1.11. Productividad en equipos de carguío

##### Productividad efectiva

Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo efectivo de carga, incluyendo el tiempo de cuadrado. Esto es lo que se produciría en una hora.

$$\text{PRODUCTIVIDAD EFECTIVA} \left( \frac{\text{tn}}{\text{hr}} \right) = \frac{\text{CAPACIDAD NOMINAL}}{\text{TIEMPO DE CARGUIO} + \text{TIEMPO DE CUADRADO}}$$

##### Productividad por hora

Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y esperando camiones.

$$\text{PRODUCTIVIDAD HORARIA} \left( \frac{\text{tn}}{\text{hr}} \right) = \frac{\text{CAPACIDAD NOMINAL}}{\text{TIEMPO DE CARGUIO} + \text{TIEMPO DE CUADRA} + \text{T. PALA ESP. CAMIONES}}$$

### Capacidades de carguío y acarreo:

$$CAP. CARGUIO = \sum (\#CAMIONES * PRODUCT. CARGUIO * USAGE * DISP. MEC)$$

$$CAP. ACARREO = \sum (\#CAMIONES * PRODUCT. ACARREO * USAGE * DISP. MEC)$$

#### 2.2.1.12. Productividad en equipos de acarreo

##### Productividad teórica

Con el tiempo de ciclo de acarreo se puede calcular las diversas productividades del sistema, la productividad teórica corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación si no ocurren retrasos o pausas en la producción. Indica el potencial máximo productivo de un equipo, lo que muy raramente ocurre en la práctica, se obtiene mediante la fórmula:

$$PRODUCTIVIDAD.TEORICA \left( \frac{tn}{hr} \right) = \frac{60 \left( \frac{min}{hr} \right) * RETRASOS VARIABLES * CAPACIDAD NOMINAL}{TIEMPO DEL CICLO DE ACARREO}$$

##### Productividad promedio

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación, considerando retrasos fijos y variables. Esta tasa de producción debe aplicarse al periodo de tiempo deseado (día, turno) para estimar la producción total.

La productividad promedio se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$PRODUCT.PROM. \left( \frac{tn}{hr} \right) = \frac{60 \left( \frac{min}{hr} \right) * (hr \text{ turno} - \text{retra. opera}) * EF. TRABAJO * CAP. NOMINAL}{HORAS TURNNO * TIEMPO DEL CICLO DE ACARREO}$$

### Productividad máxima por hora

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación, considerando sólo retrasos variables. Esta tasa de producción debe aplicarse para determinar el número de unidades de acarreo asignadas a una pala, para lograr cierta producción requerida. La productividad máxima viene dado por:

$$PRODUCT.MAX \left( \frac{tn}{hr} \right) = \frac{60 \left( \frac{min}{hr} \right) * EF. TRABAJO * CAP. NOMINAL}{TIEMPO DEL CICLO DE ACARREO}$$

#### 2.2.2. Carguío y acarreo.

Baldeón, Z (2011), en la tesis: Gestión en las operaciones de carguío y acarreo, sostiene que dentro de los procesos productivos de mayor costo se encuentra el carguío y acarreo de material, debido a que es el proceso con mayor cantidad de equipos involucrados (flota), alto grado de mecanización, mayor rendimiento productivo por equipo y constituye un proceso de operación prácticamente continuo.

El rendimiento requerido por la explotación es el primer dato que permitirá diseñar la operación unitaria y definir el rendimiento de los equipos para cumplir con el plan del minado.

Por lo que es de gran importancia garantizar un ambiente de operación apto para lograr los mejores rendimientos de los equipos involucrados, tanto en la parte física (material, equipos, mantención, disponibilidad, insumos, etc.), como en la parte humana (operadores, supervisores de turno, etc.). Por lo cual detallamos a continuación las operaciones unitarias que se desarrolla en la presente tesis:

##### 2.2.2.1. Carguío

El carguío consiste en recoger el material tronado, mediante un equipo de carguío, desde el frente de minado para depositarlo en un equipo de acarreo que llevara el material a un determinado destino, ya sea planta, botadero o stock pile.

Es la tercera actividad unitaria en el proceso minero, alternativamente los equipos de carguío pueden depositar directamente el material removido en un punto previamente definido.

### **2.2.2.1.1. Ciclo de carguío**

Consta de cuatro fases distintas: Cargar, girar, descargar y retornar.

#### **La fase de carguío**

Incluye empujar el balde en el banco, levantar el balde para llenarlo y retraer el balde del banco. Un balance adecuado de las fuerzas de empuje y levante es esencial para una excavación eficaz y productiva.

#### **La fase de giro**

La fase comienza cuando el balde libra el banco vertical y horizontalmente. Durante esta fase, el operador controla la posición del balde mediante una trayectoria de giro y una altura de descarga planeadas, hasta que el balde esté ubicado sobre el camión de carga.

#### **La fase de descarga**

La fase comienza antes de que el balde cargado pase por el lado del camión de carga y termina cuando el movimiento de giro para y retrocede para regresar el balde al banco. Durante la fase de descarga, el operador abre la tapa del balde para descargar el material, mientras controla la altura de la descarga para evitar lesiones al personal de la mina y así evitar dañar la tolva del camión, especialmente durante la primera carga.

#### **La fase de retorno**

La fase incluye el giro del bastidor superior en dirección al banco y también baja el balde en posición retraída, con el fin de cerrar su tapa, activando el seguro de cierre de la tapa del balde.

### **2.2.2.1.2. Movimientos de carguío**

- ✓ Los movimientos básicos del ciclo de excavación son empuje, levante y giro.
- ✓ La posición correcta de la pala, los movimientos de empuje y los de levante son muy importantes para obtener buenos tiempos de ciclo y eficiencia de excavación de la pala.
- ✓ La excavación eficaz y segura requiere un control coordinado de los movimientos de empuje, de levante y de giro en una secuencia suave de pasos.

## Empuje y levante

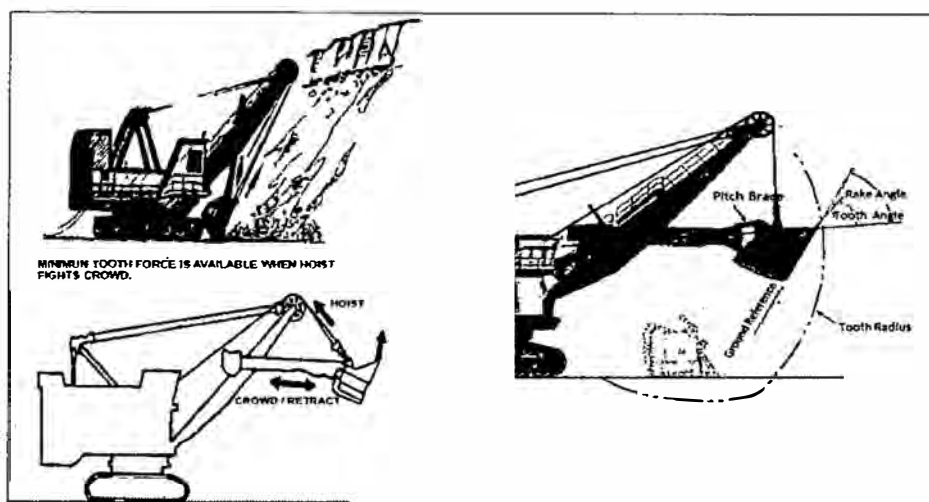


Figura N° 15: Fuerza de empuje y levante.

### Empuje (Crowd)

El movimiento proporciona el empuje necesario para forzar el balde contra el banco y los dientes del balde debajo de suficiente material para que sea eficaz el uso del tiro disponible del aro, es necesario mantener siempre un buen ajuste de los interruptores de límite de empuje y de retracción.

El movimiento de empuje se debe usar para controlar la profundidad del corte. La penetración no debe ser tan profunda como para poner la pala en *stall* o levantar todo el banco. La profundidad de la penetración debe permitir rebanar el material.

Una vez que el balde se pone en *stall* en el banco, se pierde el momento y los tiempos de ciclo pueden aumentar notablemente hasta el 50% o más.

### Levantar (Izaje)

El movimiento de levante es tensar los cables de levante para levantar el balde a través del banco. El tipo y peso del material que se extrae afecta el movimiento de levante y de giro.

### Levantar boom Jack

Ocurre cuando se aplica una fuerza de empuje excesiva sin aplicar simultáneamente una fuerza proporcional de levante. A medida que la pluma regresa, el movimiento puede ocasionar holgura en los cables suspensores de la pluma.

Cuando la pluma regresa a su posición normal, el sistema de suspensión atrapa la pluma en caída y esto puede producir un enorme esfuerzo, provocando que los suspensores se estiren o rompan.

**Boom Jack** es el resultado de la excesiva fuerza de empuje aplicada durante la fase de levante del ciclo de excavación.

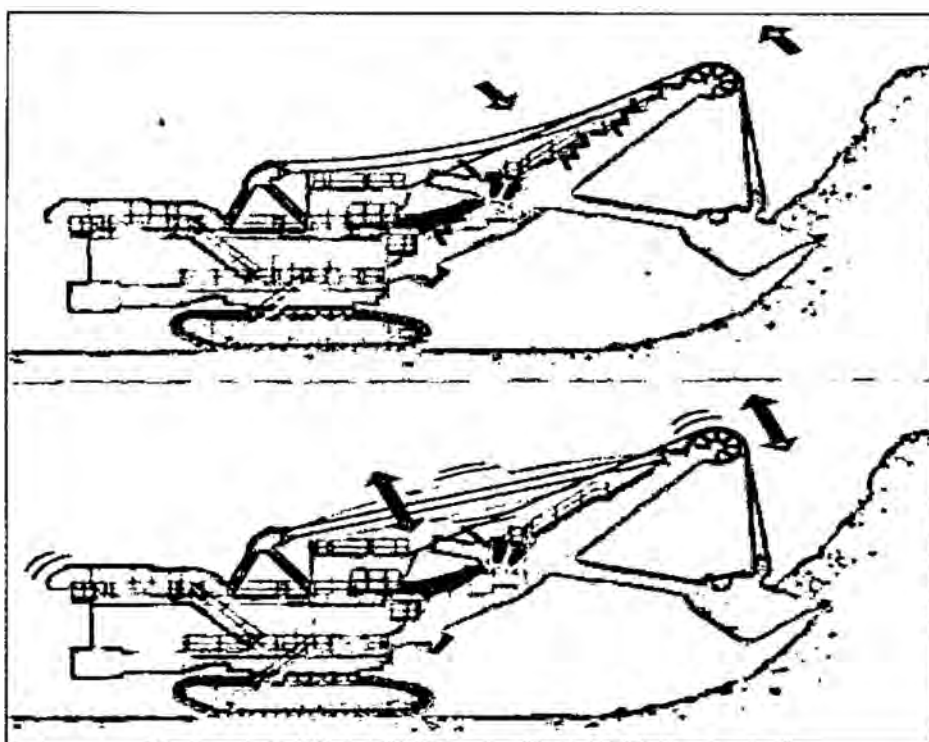


Figura N° 16: Demostración del Boom Jack.

### Propulsión

El movimiento de propulsión se usa para mover la pala al siguiente corte, así como para penetrar más en el banco. Para ahorrar tiempo y reforzar la productividad general, es bueno planear con anticipación la nueva posición que la pala tendrá para cada corte sucesivo.

Virar las orugas en preparación para avanzar hasta el siguiente corte, ayuda a simplificar los movimientos y a reducir el tiempo para mover la pala a su nueva ubicación.

### Secuencia de carguío

La planeación de una secuencia eficaz de carguío depende en gran escala del método de carguío que se use. Sin embargo, ya sea que use el método de carguío con dos camiones o con un solo camión, se aplican ciertos principios generales.

Siempre que sea posible, excave el material en el mismo lado del camión que se está cargando, manteniendo el ángulo de giro lo más angosto posible, la productividad se reduce por tiempos de ciclo más largos.

#### 2.2.2.1.3. Capacidad del balde

La capacidad del balde se determina por el peso de trabajo del balde más el peso promedio del material en el balde. El peso del balde más el peso del material es igual a la carga suspendida de la pala, siempre y cuando la carga suspendida no sea mayor que la carga nominal suspendida de la pala, la pala debe poder trabajar todo el día sin problemas.

Los baldes generalmente se llenaban entre el 90% y 95% de la capacidad rasa SAE. En la actualidad, estamos viendo que los baldes normalmente se llenan entre el 105% y 110% de su capacidad rasa SAE.

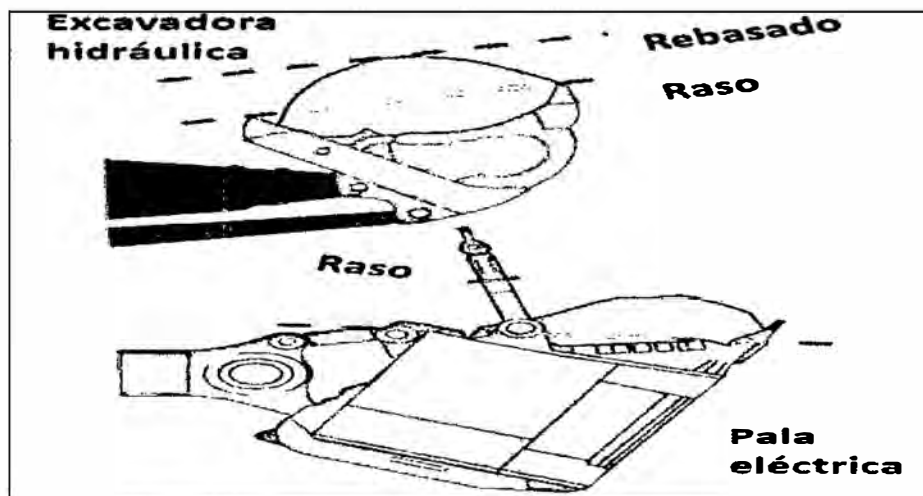


Figura N° 17: Capacidad del balde.

### Rendimiento del balde

Para lograr un rendimiento máximo del balde es muy importante que, en promedio, la carga suspendida del balde (peso del balde más peso del material en el balde) no exceda a la carga suspendida nominal de la pala. Ya sea que la capacidad de volumen sea el 110% de la capacidad rasa SAE o el 95% de la capacidad nominal SAE, no importa. Lo que importa es el peso del material o el tonelaje manejado.

### Factor de llenado

- ✓ El factor de llenado se define como la relación de yardas o metros cúbicos reales de material suelto en el balde, comparado con el volumen raso del balde.

$$FACTOR DE LLENADO = \frac{VOLUMEN DEL MATERIAL SUELTO POR CARGA}{VOLUMEN NOMINAL DEL BALDE (RAZA)}$$

Tabla N° 3: Factores de llenado típicos de material

FACILIDAD DE EXCAVACION (MATERIAL)	FACTOR APROXIMADO DE LLENADO DEL BALDE
Excavación fácil	1.05 - 1.20
Excavación media	1.00 – 1.15
Excavación difícil	0.90– 1.00

#### 2.2.2.2. Acarreo

El acarreo es la cuarta actividad unitaria en la cadena de producción de una mina a tajo abierto y consiste en trasladar los diferentes materiales cargados hasta su destino final: a la planta de chancado, en el caso de los minerales y, a los botaderos, en el caso de los estériles o lastres.

Esta fase es fundamental en la operación de la mina junto al carguío. Tiene la mayor repercusión económica sobre el ciclo de explotación, ya que depende de la envergadura de la operación, pudiendo representar entre el 40% y el 70% del costo total e incluso de la inversión en equipos principales.

#### **2.2.2.2.1. Vías de acarreo**

Una vez que el equipo de carguío ha llenado con material rocoso la tolva del camión se inicia la operación del traslado del material a su punto de destino, para ello, se emplean las vías de rodado y rampas de accesos ejecutadas al interior y exterior del tajo.

#### **2.2.2.2.2. Variables de acarreo**

El rendimiento de un equipo de transporte depende de lo siguiente:

##### **Capacidad y características del equipo de acarreo**

El mercado ofrece una gran variedad de camiones de alta capacidad; cada uno de ellos con características específicas en cuanto al motor, al tipo de tolva, a las capacidades de acarreo y a las velocidades de desplazamiento.

##### **Velocidad**

La velocidad determina el tiempo de viaje de un camión, la velocidad del camión dependerá de muchos factores tales como las características de rendimiento de motor y el sistema de frenos, la pendiente y la resistencia a la rodadura de la ruta de acarreo. Otros factores son de seguridad, clima, visibilidad, etc.

##### **Distancia de acarreo**

Las rutas de transporte son dinámicas; es decir, varían constantemente en la medida que la explotación del tajo va progresando, lo que implica que los tiempos de transporte y las productividades de los equipos no son fijas.

##### **Ciclos de acarreo**

Son muy sensibles a las variaciones de longitud y pendientes de las rutas de transporte. Por ello, es conveniente conocer lo más detallado posible las distancias y las cotas entre los distintos puntos de carguío y de descarga.

##### **Condiciones de las pistas de rodado**

El diseño de las rutas de acarreo se hace en función a los equipos que transitarán por ellos y es importante por seguridad y eficiencia.

Las vías y las rampas deben tener anchos suficientes, pendientes y radios de curvaturas adecuados para el normal desplazamiento de los camiones.

Normalmente en las bermas de transporte y en las rampas, se ejecutan cordones de seguridad con materiales estériles para que los camiones operen con máxima seguridad.

### **Pendiente.**

Es la inclinación que presenta una vía. Se mide en porcentaje, como la relación entre la elevación de la vía y su longitud en la horizontal.

Una pendiente de 10% significa que por cada 100 metros horizontales, se asciende 10 metros. Cuando un vehículo sube una pendiente, debe vencer una fuerza de resistencia debido a la fuerza de gravedad, pero cuando baja por dicha pendiente la fuerza de gravedad ayuda al movimiento. Los camiones mineros son capaces de vencer pendientes de hasta un 12%.

#### **2.2.2.2.3. Tiempo de ciclo del camión**

El tiempo del ciclo del camión depende de ciertos factores que influyen en ella:

- ✓ Especificaciones del camión: Velocidad, aceleración y capacidad de frenado
- ✓ Distancia de transporte.
- ✓ Tiempo de carga.
- ✓ Tiempo de descarga.
- ✓ Tiempos de espera, acomodación, aculatamiento y atraso.
- ✓ Habilidad de operador.

### **Tiempo del ciclo**

El tiempo del ciclo depende de la siguiente suma:

- ✓ **Tiempos variables**  
Ida, regreso
- ✓ **Tiempos fijos**  
Posicionamiento, carga, descarga y espera

#### **2.2.2.2.4. Fuerzas que actúan sobre el camión**

### **Fuerzas resistentes (FR)**

Las fuerzas resistentes son el resultado del efecto de tres factores:

- ✓ Resistencia de pendiente del terreno (RP)
- ✓ Resistencia a la rodadura del terreno y neumático (RR)
- ✓ Roces internos en el equipo (RI)

### Resistencia a la tracción (Rimpull)

Es la fuerza que genera el camión mediante sus fuerzas motrices o de tracción multiplicadas por el coeficiente de tracción.

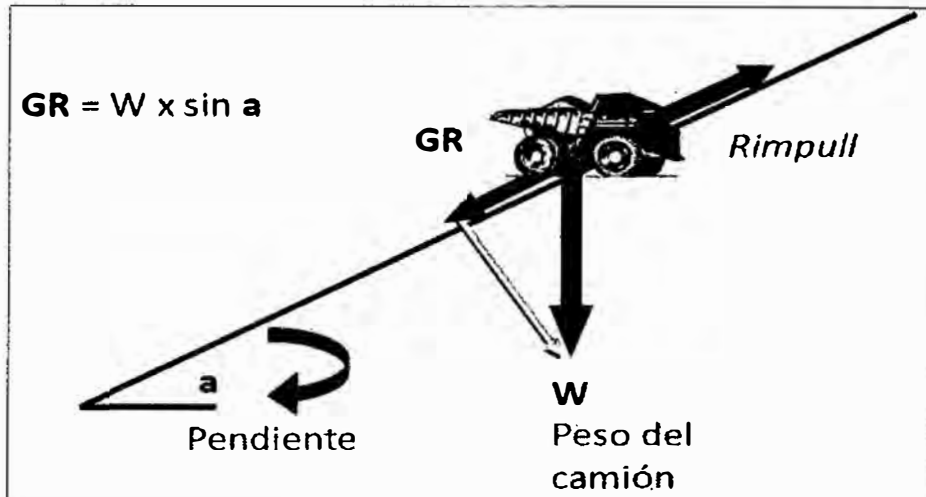


Figura N° 18: Rimpull, resistencia a la tracción.

### Resistencia de pendientes (RP)

Corresponde al esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse a la gravedad y permitir el ascenso del vehículo en una vía con pendiente positiva (es decir, una vía que asciende). Corresponde a 1% del peso del vehículo por cada 1% de pendiente. Por ejemplo, un camino con 5% de pendiente tiene una resistencia por pendiente de un 5% del peso total movilizado (peso del camión más el peso de la carga).

- ✓ En caso de subida, se opone al movimiento.
- ✓ En caso de bajada, favorece al movimiento pudiendo incluso ser suficiente para mover el camión.
- ✓ En los casos anteriores mencionados, la velocidad debe de ser restringida por la capacidad de enfriamiento del sistema de frenos.

### Resistencia a la rodadura (RR)

Es la oposición al avance de un camión debido a la fricción entre los neumáticos y a la superficie del terreno, se expresa en un porcentaje del peso del camión y depende del estado y características de las vías.

Las vías deben ser mantenidas constantemente por equipos de apoyo (motoniveladoras y cisterna de agua) para tener un acarreo más seguro y reducir la resistencia a la rodadura, lo que prolongará la vida de los neumáticos.

- ✓ En este caso siempre se opone al movimiento del camión.



Figura N° 19: Resistencia a la rodadura.

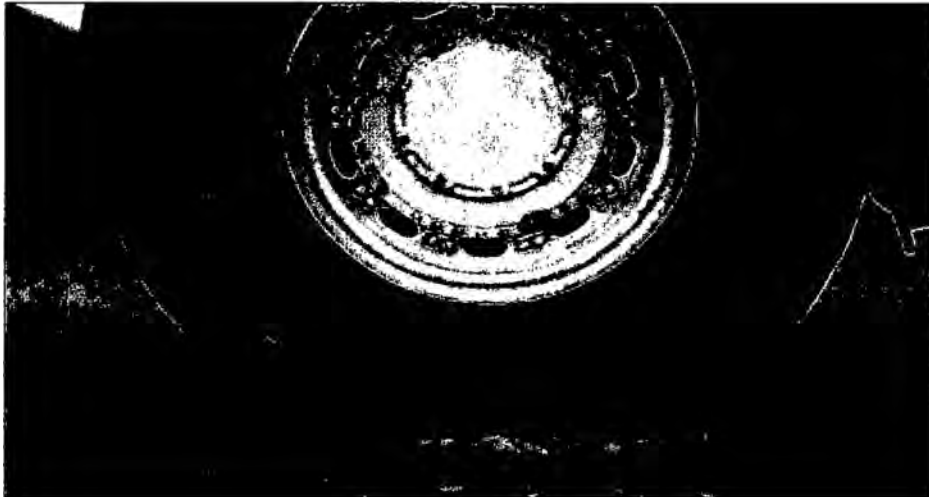
Tabla N° 4: Tipo de suelo vs % del peso total.

TIPO DE SUELO	% DEL PESO TOTAL
Pav. Hormigón	2.0
Pav. Asfalto	2.6
Vía compactada bien mantenida	2.6
Vía mal mantenida	6
Vía con barro y huella	10
Arena suelta y grava	14
Vía muy barrosa	18

### Roces internos (RI)

Roces internos y flexión de neumáticos: 1 a 2% del peso total.

- ✓ Depende del tipo de neumático
- ✓ Depende de la antigüedad del equipo
- ✓ Siempre se opone al movimiento



*Figura N° 20: Fuerza que actúa sobre la vía.*

### **2.2.2.3. Teoría de colas**

Experiencias comunes en otras minas es el esperar para ser cargador por una pala, la formación de una cola se da cuando existe un equilibrio temporal entre la demanda de una servicio y de la capacidad del sistema para atenderla. La teoría de colas es el estudio analítico de colas o líneas de espera.

#### **Elementos existentes en la teoría de colas**

Todos los sistemas de colas tienen tres elementos en común:

- ✓ Clientes que suministran el servicio: no necesariamente son personas, pueden ser maquinas que esperan a ser reparadas, normalmente los clientes llegan en forma individual, sin embargo en algunos casos pueden acumularse en lotes, como por ejemplo en la industria minera.
- ✓ Servidores que suministran el servicio: al igual que en los clientes, estos no necesariamente son personas.
- ✓ Cola o línea de espera: es el conjunto de clientes que esperan el servicio. Las colas pueden ser físicas, tales como las que se presentan en un supermercado o banco. Y pueden no ser visibles o tener una ubicación exacta como por ejemplo las llamadas telefónicas en espera o los programas de cómputo que esperan su procesamiento.

### Estructuras típicas.

Los clientes, servidores y colas dentro de un sistema se acomodan siguiendo una configuración, las cuales normalmente son:

- ✓ Un solo servidor y una sola cola
- ✓ Más de un servidor y una sola cola
- ✓ Más de un servidor y más de una cola
- ✓ Una cola con servidores en serie

En una operación de carguío y acarreo, tendríamos lo siguiente:

- ✓ **Cliente:** Serían los camiones que requieren ser cargados o realizar la descarga
- ✓ **Servidor:** Sería el equipo de carguío y/o el controlador que da la autorización para la descarga en el botadero stock.
- ✓ **Cola:** Vendrían a ser los camiones que esperan a ser cargados o están en cola en el botadero.

Las estructuras de formación de colas que típicamente encontramos en una operación de carguío y acarreo son:

- ✓ Un solo servidor y una sola cola
- ✓ Más de una servidor y más de una cola.

#### 2.2.2.4. Actividades del ciclo de carguío y acarreo

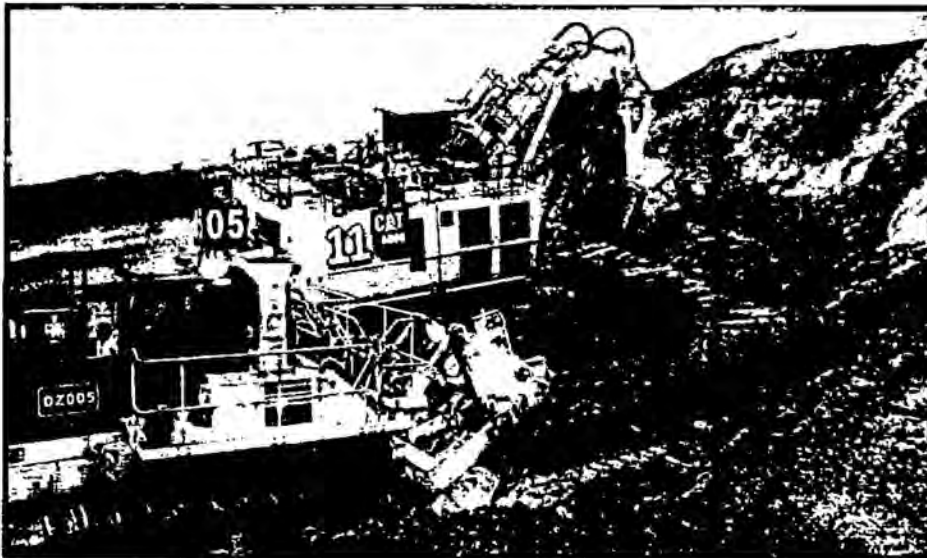
Las actividades del ciclo de carguío y acarreo para su óptima asignación están basadas en la siguiente operación:

##### Carguío

- ✓ Equipo de carguío esperando camiones
- ✓ Tiempo de llenado del balde
- ✓ Tiempo de carguío

##### Equipo de carguío esperando camiones

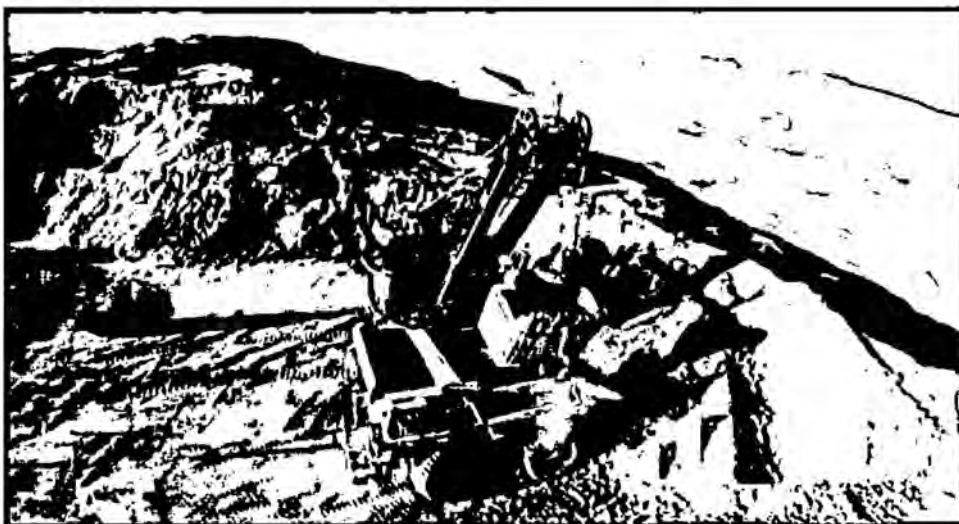
Es el tiempo en el cual el equipo de carguío no tiene camiones, transcurrido desde que salió el último camión del equipo de carguío, hasta que le marca auto- llegada al próximo camión. Para que marque auto-llegada el camión debe tener velocidad cero y estar a menos de 60 m de la pala.



*Fotografía N° 4: Pala eléctrica Cat 6060FS, en tiempo de espera para cargar.*

#### **Tiempo de llenado del balde**

Es el tiempo en que el equipo de carguío hace el llenado del balde para el primer pase de material hacia la tolva del camión.



*Fotografía N° 5: Tiempo de llenado del camión.*

### Tiempo de carguío

Es el tiempo transcurrido desde que se inicia el carguío de un camión hasta que éste es despachado, este proceso depende del número de pases necesarios para llenar la capacidad de la tolva, se puede calcular mediante la siguiente formula y su resultado se redondea al entero superior:

$$\text{N}^\circ \text{ PASES} = \frac{\text{CAPACIDAD NOMINAL DEL CAMION}}{\text{CAPACIDAD DEL BALDE} * \text{FACT. LLENADO} * \text{Fe} * \text{DENSIDAD DEL MATERIAL}}$$



*Fotografía N° 6: Carguío de material por parte de la pala P&H 4100 XPC.*

## Acarreo

Para determinar los estados en los cuales puede encontrarse un camión operativo, el control de tiempos de cada una de las actividades registradas es de suma importancia ya que estos deben ser plasmados en la tarjeta de control del equipo.

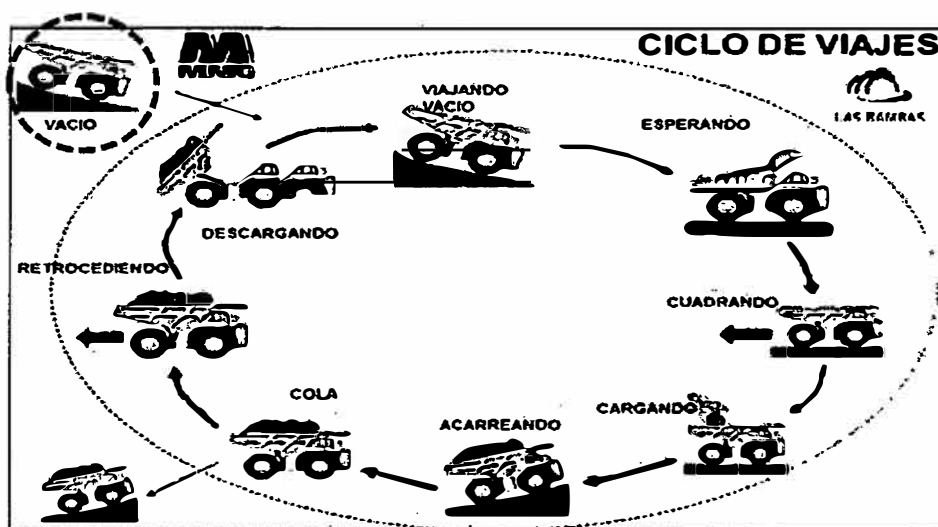


Figura N° 21: Ciclo de viajes en operaciones mina.

### Viajando vacío hacia la pala

El camión se encuentra viajando vacío cuando se dirige al equipo de carguío como resultado de la asignación.



Fotografía N° 7: Camiones cumpliendo con el ciclo de acarreo.

### Esperando en el frente de carguío

Es el tiempo en el cual el cual los camiones en el frente de carguío están esperando en cola para ser cargados. Se mide como el porcentaje de tiempo respecto al tiempo operativo del resto de la flota. Un camión en cola es considerado a partir del primer camión en espera, en el radio de 60m de la pala.

$$\text{CAMION ESPERA PALA \%} = \frac{\text{TIEMPO DE CAMIONES EN COLA}}{\text{TIEMPO OPERATIVO}}$$



*Fotografía N° 8: Camiones esperando en cola para el carguío.*

### Cuadrando en la pala

Es el tiempo transcurrido desde que se despacha a un camión en un equipo de carguío hasta que se inicia el carguío en el siguiente, sin considerar la espera de camiones por el equipo de carguío, En términos ideales este tiempo debe ser:

- ✓ En palas menor que 40 segundos.
- ✓ En cargadores menor que 50 min



*Fotografía N° 9: Camión cuadrándose para ser cargado por la pala eléctrica P&H 4100XPC.*

#### **Acarreando desde la pala hacia la descarga**

El camión comienza su recorrido cuando la pala da la señal de fin de carga dándole dos toques de bocina.



*Fotografía N° 10: Acarreo de material.*

### **Cola en la descarga**

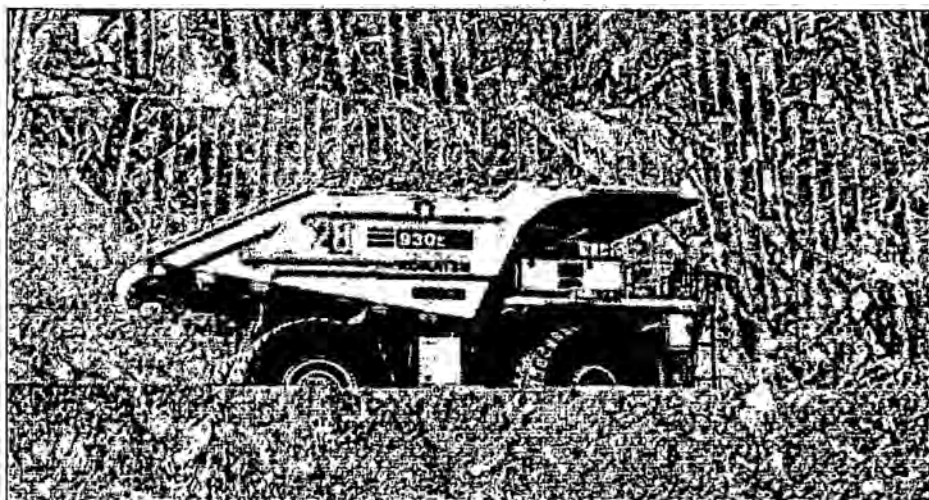
El camión se encuentra en espera en la descarga por falta de espacio o condiciones inadecuadas del área de descarga.



*Fotografía N° 11: Camiones en espera en el botadero.*

### **Retrocediendo**

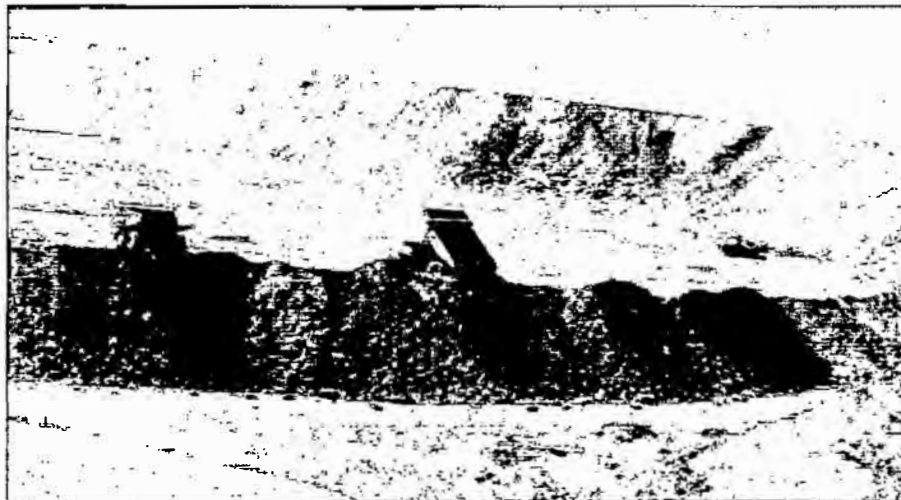
El camión comienza a retroceder dentro del área de descarga.



*Fotografía N° 12: Camión en proceso de retroceso para la descarga.*

### Descargando

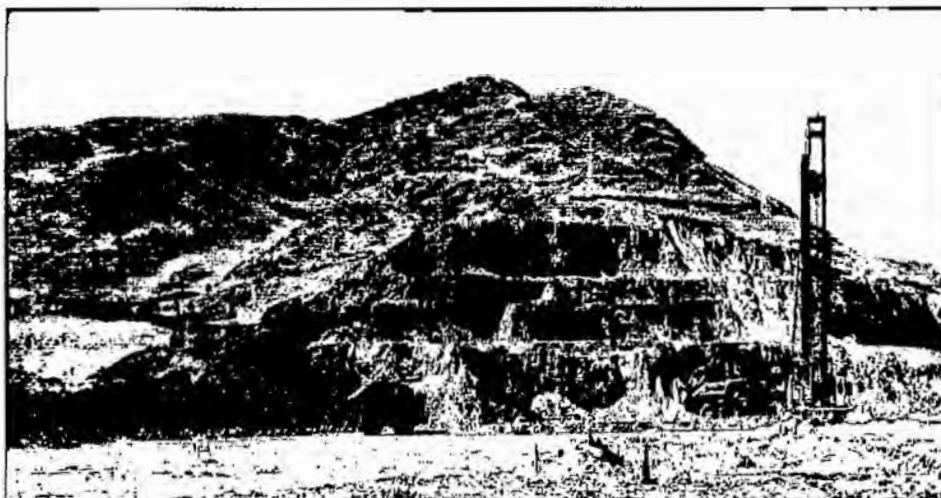
El camión una vez detenido después de haber retrocedido dentro del área de descarga procede a levantar la tolva.



*Fotografía N° 13: Camión descargando eficientemente en el botadero.*

#### 2.2.2.5. Zonas en operación por niveles del Tajo Ferrobamba

**Nivel 4265 Jahuapaylla.** En este nivel empieza el tajeo de la mina, en el cual este material por ser adecuado para la construcción del presa de relaves es acarreado hacia ella con toda la flota de la operación minera.



*Fotografía N° 14: Plataforma de perforación en el nivel 4265, Jahuapaylla.*

**Nivel 4250 Jahuapaylla.** En este nivel el minado es determinante para la construcción del dique de relaves ya que el material es óptimo y de buenas características, el frente brinda condiciones normales como altura de 15 metros, material bien fragmentado, y sobre todo el piso en buenas condiciones para el minado selectivo.



*Fotografía N° 15: Ciclo de minado con una pala eléctrica y regadío de la plataforma de minado.*

**Nivel 4020 Cantera 01.** En este nivel el frente de minado presenta problemas en cuanto a la altura del banco de 20 metros, y la estabilidad del talud por encontrarse con ojos de agua.



*Fotografía N° 16: Ciclo de minado con la pala Cat 6060FS.*

**Nivel 3915 Zona de Óxidos.** Este nivel presenta ya mineralización de la fase 1 del minado del tajo Ferrobamba, en este nivel empezara el minado por ser la primera fase.



*Fotografía N° 17: Inicio de guardia en el frente de minado.*

**Nivel 3915 zona de sulfuros.** Este nivel presenta mineralización de sulfuros que se está minado y acarreado hacia el stock de 3 millones. En este nivel se encuentra la fase 2, de minado del tajo Ferrobamba.

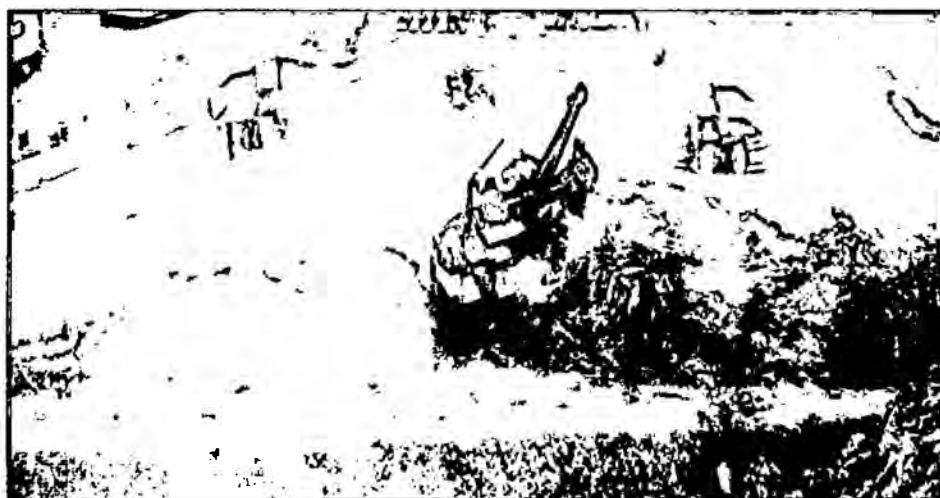


*Fotografía N° 18: Ciclo de minado en la zona de sulfuros con la pala eléctrica cat.*



*Fotografía N° 19: Ciclo de minado en zona de sulfuros.*

**Nivel 3870 fase 3.** En esta nivel empieza la fase 3 del ciclo de minado, en este frente de carguío se presenta dificultades ya que la altura del frente es muy bajo de 8 metros, el cual el avance de minado es muy malo, la pala eléctrica P&H 4100 XPC. Está en prueba en la fase 3, el cual el rendimiento del equipo no es tan óptimo en ese frente de carguío.



*Fotografía N° 20: Ciclo de minado en zona fase 3 con una pala P&H.*

**Botadero Jahuapaylla.** Este botadero es uno de los principales del tajo Ferrobamba, ya que tiene una capacidad para recepcionar materiales saturados y finos provenientes de la cantera 01, y el pre striping del tajo.



*Fotografía N° 21: Vista panorámica del botadero Jahuapaylla.*

**Botadero 3 Millones.** El botadero 3 Millones, solo tiene la capacidad de recepción de material saturado de los frentes de minado y el pre striping, en especial la recepción de la cantera 01, fase3. Ya que estos frentes de minado son alterados y presentan material inadecuados y orgánicos.



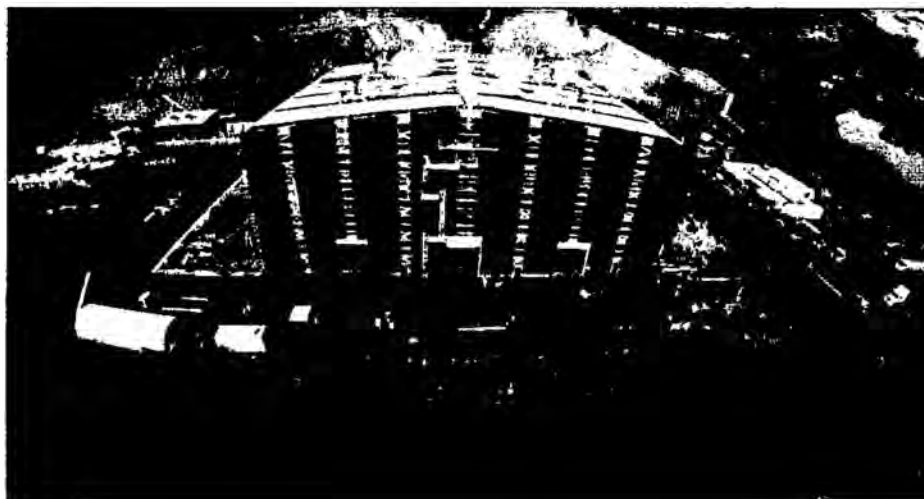
*Fotografía N° 22: Vista panorámica del botadero 3 Millones.*

**Grifo para los camiones mineros del tajo Ferrobamba.** Los grifos están ubicados dentro del tajo de la mina y que cuenta con bahías cada uno en óptimas condiciones para la seguridad del operador.



*Fotografía N° 23: Vista panorámica del grifo para camiones.*

**Truck shop.** Estas instalación de truck shop, básicamente son el talón de Aquiles para la operación minera, ya que es muy importante tener esta instalación para el mantenimiento preventivo de los camiones mineros, el truck shop está operativo al 100%.



*Fotografía N° 24: Vista panorámica del Truck shop, local de mantenimiento mina.*

### 2.2.2.6. Flota de equipos principales

#### Pala eléctrica P&H 4100XPC (SH)

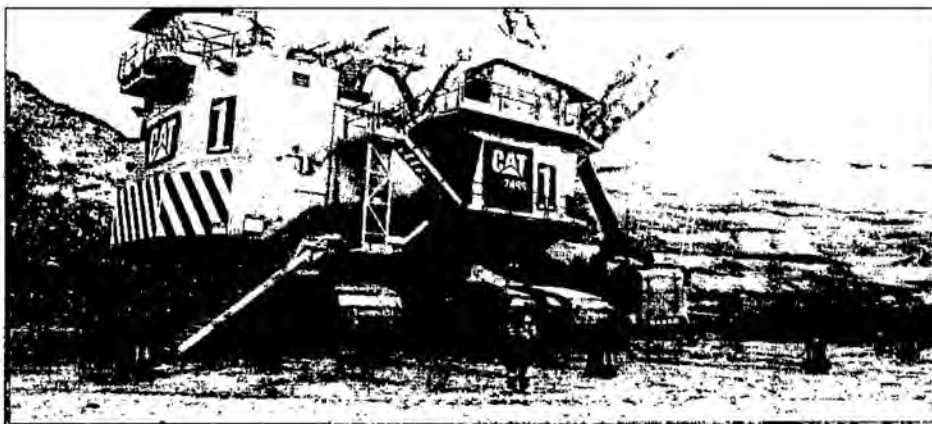
Son las 2 principales palas eléctricas que se tiene en los frentes más complejos, se encuentran en los niveles más altos del Tajo. La pala tiene una capacidad nominal de 108.9tm, 120t, lo que significa que puede llenar un camión KOMATSU 930E en sólo 3 a 4 cargas, con una producción estimada de hasta seis mil toneladas por hora.



*Fotografía N° 25: Traslado por sus propios medios de la pala P&H.*

#### Pala eléctrica Caterpillar 7495HR (SH).

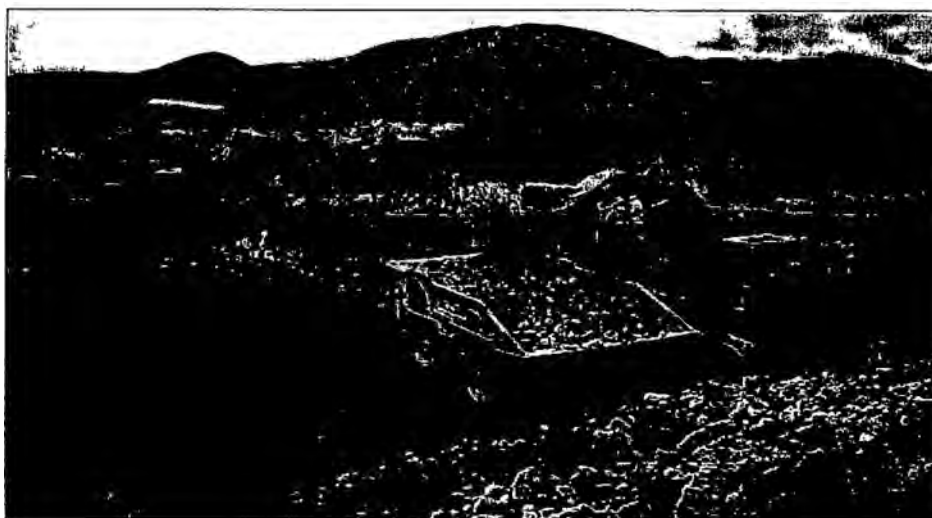
Son 2 principales palas eléctricas, que generalmente se encuentran en los frentes de carguío más suaves, estas palas se encuentran en los niveles más bajos del tajo. Minando mineral para el stock. Tienen una capacidad de balde de 108.9tm, 120tn altura de corte del frente de 17,3 metros.



*Fotografía N° 26: Vista de la pala CAT 7495 HR.*

**Pala hidráulica Caterpillar 6060FS (SH).**

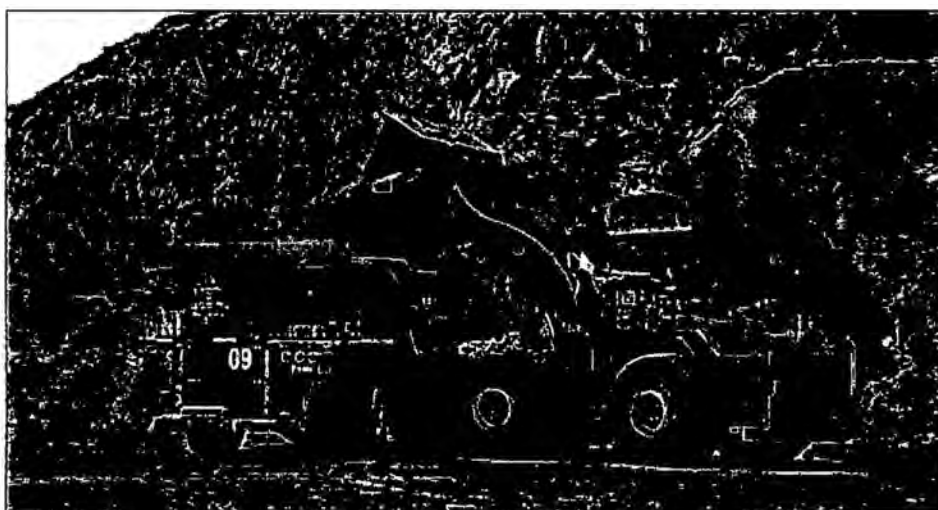
La pala hidráulica es muy versátil ya que el traslado y productividad en el frente de minado es muy óptimo, son palas que tiene un rendimiento y disponibilidad eficiente en el tajo, tiene una capacidad de pala frontal (colmada 2:1): 34,0 m<sup>3</sup> (44,5 yd<sup>3</sup>)



*Fotografía N° 27: Carguío con la pala CAT 6060FS.*

**Cargador frontal Letourneau LT 2350 (LD).**

El cargador frontal más grande del mundo es el más versátil y tiene una productividad muy especial ya que tiene neumáticos y se puede trasladar de un frente a otro por sus propios medios y en un tiempo óptimo, tiene una capacidad de cuchara de 53 yd<sup>3</sup>, tiene una capacidad de combustible de 1305 galones.



*Fotografía N° 28: Carguío con el cargador LT 2350.*

#### **Camiones mineros Komatsu 930E-4SE (HT).**

Son camiones de gran envergadura que poseen una capacidad nominal de 290t. Estos camiones son seleccionados apropiadamente para el acarreo de los frentes de carguío.



*Fotografía N° 29: Parqueo de camiones en el tramo 4.*

#### **2.2.2.7. Flota de Equipos auxiliares**

La flota de equipos auxiliares cumple una función muy importante en la operación minera, ya que estos equipos son los que eliminan los factores sub estándares de la operación.

##### **Tractor de orugas (DZ).**

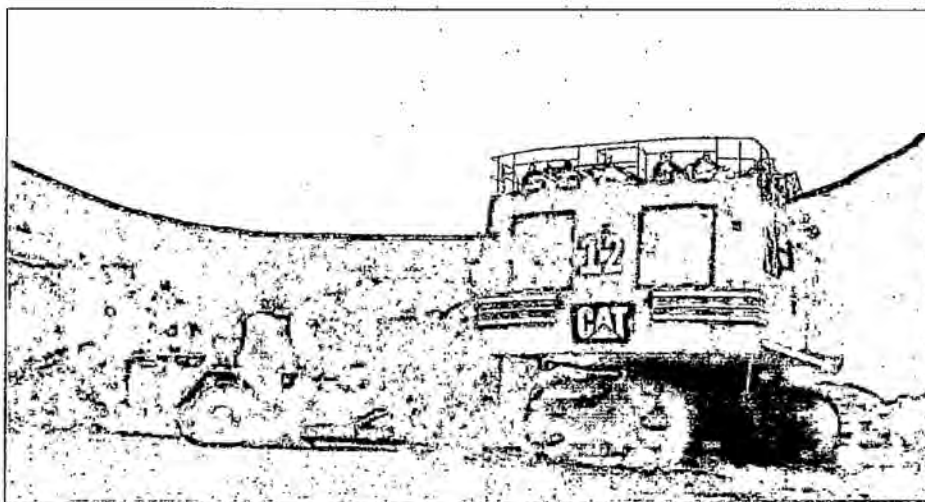
Estos bulldozer como se les llama, son equipos auxiliares de gran importancia en la operación ya que estos equipos trabajan en altas pendiente, y apoyan en la generación de plataformas de perforación, lastrado de vías, etc. en el tajo hay 7 tractores de orugas de la serie D475A.



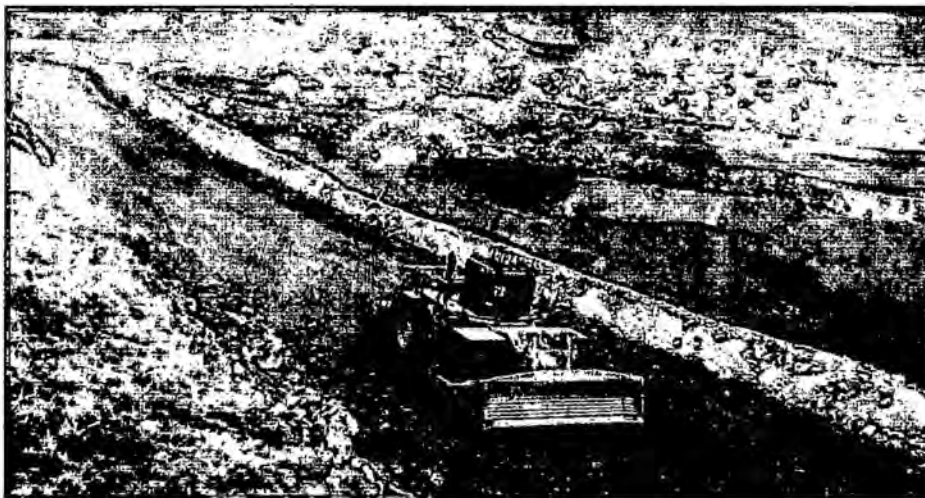
*Fotografía N° 30: Corte y empuje del tractor D475A.*

**Tractor de ruedas (RT).**

Son similares a los tractores de oruga, su función principal es la limpieza del piso de las palas, mantenimiento de vías, etc. En el tajo hay 7 tractores de rueda de la serie Cat 844H.



Fotografía N° 31: Limpieza de la plataforma de carguío, con el tractor de ruedas.



Fotografía N° 32: Tendido de material de lastre para el mantenimiento de vía.

**Motoniveladora (GR).**

Este equipo cumple la función importante del mantenimiento de vías de todas las vías de acarreo, plataformas de perforación, etc. Tenemos en el tajo 4 motoniveladoras CAT de la serie 24M.



*Fotografía N° 33: Mantenimiento de vía por la motoniveladora GR 03.*



*Fotografía N° 34: Vista de una motoniveladora haciendo mantenimiento de vías.*

### **Cisterna de agua Komatsu 1500 (WT).**

Son 04 cisternas de agua en el cual estos son los más importantes en la operación minera, ya que al momento de acarrar el material se genera polvo y ellos entran en acción para disipar las partículas de polvo, regadío de vías para el mantenimiento de ellas.



*Fotografía N° 35: Regadío de la cisterna de agua en la plataforma de carguío.*

### **2.2.3. Seguridad en la operación minera**

La seguridad minera comprende el cuidado de la vida, la integridad física y la salud de los trabajadores; mantener las condiciones ambientales en un grado de confort necesario y el cuidado de las maquinarias y equipos.

Uno de los objetivos más importantes para las operaciones mineras es la seguridad dentro de la trilogía de preocupaciones que se complementa con la calidad y la producción.



#### **2.2.3.1. Peligros y riesgos**

Los riesgos y peligros en la operación minera son constantes, ya que depende de ello la productividad en la operación, Mina Las Bambas cuenta con un área de seguridad, lo cual no solo el área encargada tiene la misión de identificar, controlar y evaluar los riesgos y peligros presentes en la operación. Por el contrario cada supervisor de guardia, operadores de equipo, trabajadores de contratistas hacen la seguridad todos los días de su trabajo.

Por lo tanto el objetivo del programa de seguridad basado en el comportamiento es promover una gestión preventiva basada en el control de actos y condiciones sub-estándar y fortalecer la

cultura de seguridad mediante un sentido de propiedad y responsabilidad de la seguridad de cada persona. La tabla 2.7, muestra la matriz de evaluación de riesgos.

Tabla N° 5: Matriz de evaluación de riesgo

		MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN DS						
CONSECUENCIA	5 Catastrófico	11	16	20	23	25		
	4 Mayor	7	12	17	21	24		
	3 Medio	4	8	13	18	22		
	2 Menor	2	5	9	14	19		
	1 Insignificante	1	3	6	10	15		
		A Muy Bajo	B Poco Probable	C Puede Suceder	D Probable	E Casi Seguro		
		PROBABILIDAD						

	Alto	Riesgo crítico que requiere atención inmediata. El riesgo puede ocasionar PELIGRO, se requiere la máxima operatividad y vigilancia.	0-50%
	Medio	Debe prestarse para el control y monitoreo del riesgo. El nivel de atención es prioritario en el momento de ocurrir.	0-72 hrs
	Bajo	Este riesgo puede ser tolerable.	1 Mes

### 2.2.3.2. PET (procedimiento escrito de trabajo)

Documento que contiene la descripción específica de la forma cómo llevar a cabo o desarrollar una Actividad de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de tareas o pasos consecutivos o sistemáticos.

¿Para que usamos el P.E.T.? Para que el trabajador pueda asegurarse que la tarea sea realizada eficientemente y con niveles de seguridad aceptables. Para entrenar al personal nuevo.

¿Para qué usamos el PET? Sirve para realizar las observaciones de tarea; para realizar la investigación de un posible incidente.

### 2.2.3.3. AST (análisis de seguridad en el trabajo)

Pasos para realizar el AST, Seleccionar el trabajo que será sometido al análisis.

- ✓ Separar el trabajo en sus distintas etapas de desarrollo
- ✓ Identificar peligros potenciales y riesgos asociados en cada etapa
- ✓ Determinar métodos preventivos para eliminar o minimizar los riesgos
- ✓ Valorar el riesgo (identifique la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia)
- ✓ Decidir si son suficientes las medidas de control del riesgo

- ✓ Obtener aprobación
- ✓ Implementar

Tabla N° 6: Consecuencia de accidente

<b>CONSECUENCIA</b>				
Consecuencia	Lesión	Impacto Ambiental	Interrupción del Proceso	Daño US\$
1- Insignificante	Sin tratamiento	Impacto de bajo nivel, sin efectos duraderos	< 1 hora	<10K
2- Menor	Primeros Auxilios	Efectos menores, con daños a una área pequeña	1 hora - 1 turno	10-100K
3- Moderado	Asistencia Médica	Efectos moderados, sin afectar el ecosistema de manera significativa. Impacto extendido moderado.	1 turno - 1 día	100K - 1M
4- Mayor	Lesión grave/ fatalidad simple	Efectos graves, con algún impedimento del ecosistema. Impactos relativamente extendidos	1 día - 1 semana	1M-10M
5- Catastrófico	Fatalidad Múltiple	Efectos muy graves, con impedimentos del ecosistema, efectos extensos y a largo plazo	> 1 semana	>10M

Tabla N° 7: Probabilidad de accidente

<b>PROBABILIDAD</b>	
Probabilidad	Descripción
A - Casi seguro	Se espera que el evento ocurra en la mayoría de los casos
B - Probable	El evento ocurrirá probablemente en la mayoría de los casos
C - Moderado	El evento ocurrirá en algún momento
D - Improbable	El evento podría ocurrir en algún momento
E - Raro	El evento podría ocurrir en circunstancias excepcionales

#### **2.2.3.4. Inspecciones**

Las inspecciones se realizan a menudo sin previo aviso o comentario al operador del equipo, esta inspección es con el propósito de saber si el operador está haciendo bien su trabajo con los epps adecuados, correcto llenado del ast, inspección por parte de supervisor a cargo.

Esta tarea lo realizan los gerentes y superintendentes de mina.

#### **Observación planeada de trabajo (OPT)**

Esta observación se realiza al operador de los equipos, con el fin de saber cuan intento y responsable está en la operación de su equipo.

#### **2.2.3.5. Condiciones climáticas**

En el Tajo Ferrobamba las condiciones climáticas naturales bajo la cuales se trabajan en la operaciones de mina, a menudo son las más fuertes ya que estamos a una altura de más de 4200msnm, esto significa que las condiciones climáticas influyen con frecuencia en la baja productividad de las palas, camiones, etc.

#### **Tormentas eléctricas**

En el tajo Ferrobamba, en los meses de Setiembre a Abril de cada año son temporada de tormentas eléctricas es por ello que todo personal está entrenado en el entendimiento de los tipos de alerta de tormentas eléctricas y los procedimientos de protección y evacuación y sobre todo de compromiso con ellos mismos.

Una tormenta eléctrica es un fenómeno meteorológico caracterizado por la presencia de rayos y sus efectos sonoros en la atmósfera terrestre denominados truenos. El tipo de nubes meteorológicas que caracterizan a las tormentas eléctricas son las denominadas cumulonimbus. Las tormentas eléctricas por lo general están acompañadas por vientos fuertes, lluvia copiosa y a veces nieve, granizo, o sin ninguna precipitación.

Aquellas que producen granizo son denominadas granizadas. Las tormentas eléctricas fuertes o severas pueden rotar, en lo que se denomina superceldas. Mientras que la mayoría de las tormentas eléctricas se desplazan con la velocidad de desplazamiento promedio del viento en la capa de la tropósfera que ocupan, cortes de viento verticales pueden causar una desviación en su curso de desplazamiento en dirección perpendicular a la dirección de corte del viento.

De acuerdo a este contexto cabe resaltar que hay tres tipos de tormentas eléctricas:

- ✓ Naranja: alerta de prevención, indica que hay una aproximación de una alerta amarilla
- ✓ Amarilla: alerta de advertencia, indica la aproximación de una tormenta eléctrica.
- ✓ Roja: alerta de peligro, indica tormenta eléctrica directamente sobre la zona.

Las recomendaciones generales para las alertas en la operación minera son:

#### **Al emitirse la alerta NARANJA:**

- ✓ El personal de piso deberá estar muy atento a las indicación de control mina.
- ✓ El centro de control mina de acuerdo a la magnitud de la tormenta eléctrica lanzara un comunicado que todo el persona se pueda refugiarse cuando pase a alerta amarilla.

#### **Al emitirse la alerta AMARILLA:**

- ✓ El personal de piso deberá separarse a una distancia superior a 100 metros de cualquier estructura metálica que no posea una malla o línea a tierra y deberá prepararse para buscar refugio.
- ✓ Los supervisores dispondrán que los refugios se encuentren próximos a las áreas de trabajo.
- ✓ Los operadores de equipo pesado permanecerán laborando en sus cabinas con las ventanas y puertas cerradas.
- ✓ Por ningún motivo el personal estará en el piso.

#### **Al emitirse la alerta ROJA:**

- ✓ Por ningún motivo ninguna persona debe permanecer a la intemperie de la operación.
- ✓ Al emitirse la alerta roja cierre inmediatamente todas las puertas, compuertas, ventanas, etc. Tanto de sus equipos como de sus áreas de trabajos.
- ✓ Si se encuentra en el cambio de guardia, ingrese al comedor o al módulo y cierre puertas y ventanas.

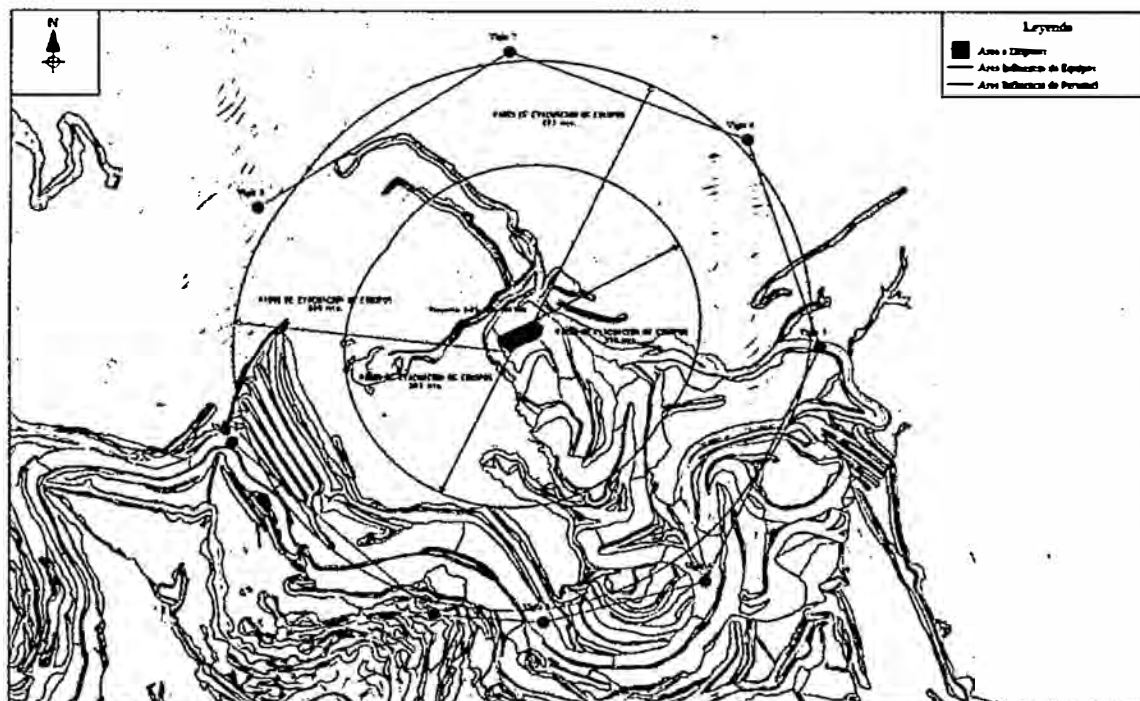
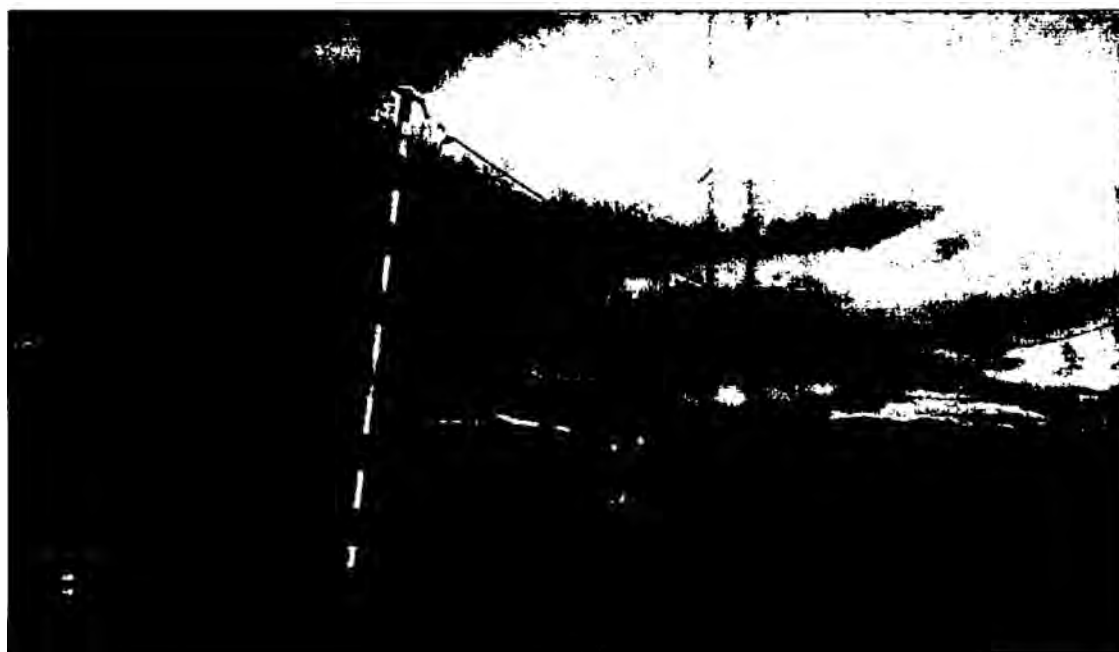


Figura N° 22: Radio de influencia de voladura.

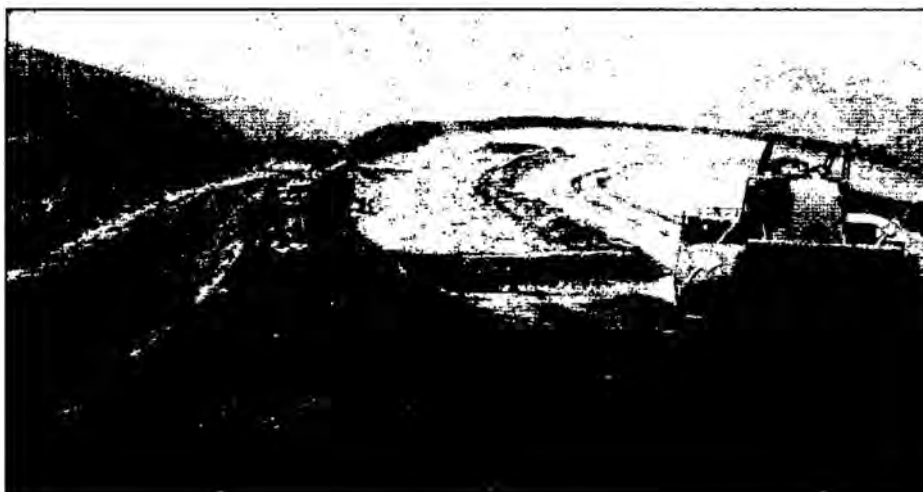
Fuente: Área de perforación y voladura. Las Bambas.



Fotografía N° 36: Cielo mostrando indicios de inicio de tormenta eléctrica.

### **Granizo.**

El granizo, produce los mismo efectos que la lluvia cuando se solidifica con la diferencia que el granizo hacen que las vías se vuelvan resbaladizas y que aumente con frecuencia el derrape de camiones mineros del tajo y así baje la productividad de la operación minera.



*Fotografía N° 37: Equipo de carguío en espera por granizo en el frente de carguío.*

### **Lluvias.**

Las lluvias en las vías principales del tajo producen que están se vuelvan “jabonosas” ya que el material por el cual está compuesto las vías es en su mayoría arcilloso, provocando que los camiones resbalen. Esto hace también que los accidentes estén casi a menudo, por lo cual la productividad es variable de acuerdo al clima.



*Fotografía N° 38: Vía en con empozamientos de agua en la fase 3.*

### **2.2.3.6. Vías de acarreo subestándar**

Las precipitaciones pluviales sobre las vías de acarreo producen que estas se transformen en un peligro inminente para los operadores y la propiedad privada con riesgos potenciales muy altos como colisiones entre camiones, derrape de camiones, etc.

Podemos decir que un camión derrapa, cuando el coeficiente de rozamiento entre la llanta y el piso tiende a ser cero, es decir existe una falta de tracción entre las cocadas de las llantas y el piso, por lo tanto el camión sigue avanzando sin control de la dirección tanto de costado (izquierdo o derecho) o frontalmente. Por otro lado, se dice que un equipo patina cuando las llantas posteriores se sobre revolucianan, es decir cuando no ruedan sino giran casi en el mismo lugar perdiendo el avance del equipo.

#### **2.2.3.6.1. Vías de acarreo con empozamientos de agua**

Los empozamientos de agua en las vías de acarreo son producto de dejar de lado el nivelado de las vías en su debido momento para cuando empiezan las lluvias, un mal lastrado con material que en vez de lograr una vía compactada solo logra tapar un desnivel momentáneamente y aparentemente.

Son un riesgo potencial para el daño de llantas ya que el operador al no poder apreciar lo que se encuentra por debajo de esa “laguna” y asumir el riesgo de pasar y seguir con su camino, podría encontrarse con una piedra puntiaguda que cause el reventón de su llanta y a la vez un daño personal que definitivamente causará pérdidas en la productividad y pérdidas económicas a la empresa.

La misma fuerza de las llantas de los camiones sobre el terreno hace que estos eventos sean más frecuentes.



*Fotografía N° 39: Empozamientos de agua en la vía de acarreo.*

#### **2.2.3.6.2. Vías de acarreo con ancho operativo y bermas subestándar**

Según el procedimiento en el cual se basa Minera Las Bambas, las vías de acarreo deben tener un ancho operativo de 35 metros sin considerar cunetas y bermas para encontrarse en condiciones estándar que permita el libre tránsito de 2 camiones en simultáneo en sentidos contrarios.

Este ancho operativo de 35 metros es tomado en base al camión más ancho que se tiene en la mina, para así asegurar el tránsito de los camiones más pequeños, lo mismo ocurre con las bermas de seguridad que siempre deben tener la altura mínima de las  $\frac{3}{4}$  partes de la llanta del camión más grande, en este caso el camión CAT 797 el cual al tener una altura de 3.5 metros determina una altura de 2.70 metros aproximadamente para bermas de seguridad en vías de acarreo y 1.5 metros en zonas de descarga.

Una mala supervisión en el control de los anchos operativos y de las bermas con altura estándar provocará accidentes de choque de camiones o camiones que caen de un nivel a otro y con ello se tendría pérdidas en productividad.

## CAPÍTULO III

### PARTE PROCEDIMENTAL

#### 3.1. Vías de transporte en las bambas

El sistema de transporte que se utiliza en las Bambas está basado en camiones, la red de vías que se diseñó será un componente crítico y vital dentro del proceso de producción. Por lo tanto, una vía con bajo rendimiento impactará inmediatamente en la productividad y los costos de producción. La seguridad de las operaciones, la productividad y extensión del ciclo de vida de los equipos y componentes son todos dependientes de vías de transporte bien diseñados, bien construidos y bien mantenidos. Las vías de transporte son un activo, que debe ser en conjunto con los camiones de mina que se usa, para proporcionar un nivel específico de desempeño y contar con una rutina de mantenimiento administrada como corresponde.

Una vía de transporte bien construida permitirá que los camiones de transporte operen de manera segura y eficiente. Vías en malas condiciones pueden presentar problemas de seguridad no sólo para los camiones de acarreo sino también para todos los usuarios de la vía.

Ventajas significativas de una vía bien diseñada, construidas y bien mantenidas:

- ✓ Proveer condiciones seguras para conducir y reducción en los peligros de tráfico
- ✓ Reducción en los costos de operación del camión, ciclos más rápidos: mayor productividad y bajos costos por tonelada transportada
- ✓ Reducción de los costos de mantenimiento de vías, menos derrames, menor daño por agua debido a su acumulación, reducción de polvo y una vida de servicio más larga
- ✓ Menos presión en el tren de transmisión, en neumáticos, en chasis y suspensión; una mejor utilización de los activos y vida de los componentes, menor costo del ciclo de vida.
- ✓ Mejora la vida productiva de neumáticos y aros.

#### 3.2. Enfoque de diseño integrado

Muchos conceptos de la ingeniería de construcción de carreteras pueden ser adaptados en el diseño, construcción y administración de caminos de minas. Sin embargo, diferencias significativas en las cargas aplicadas, los volúmenes de tráfico, la calidad y disponibilidad de los materiales de construcción, junto con las consideraciones de la vida del diseño y los costos

definidos por el usuario de la vía, hace que el requisito para un diseño a la medida de las necesidades sea aparente.

Para diseñar una vía de transporte confiable y seguro, para obtener un rendimiento óptimo solo puede ser alcanzando a través de un enfoque de diseño integrado.

Si uno de los componentes del diseño es deficiente, los otros componentes no funcionarán a su máximo potencial, y el desempeño de la vía se ve con frecuencia comprometido. Esto se ve más a menudo como “mantenimiento intensivo” o como vía con alta resistencia al rodado, traduciéndose en un incremento en los tiempos muertos del equipo y un aumento en el total de los costos de operación. La solución sin embargo, no es necesariamente sólo “aumento en la frecuencia de mantenimiento”, ningún aumento en la frecuencia de mantenimiento podrá arreglar una vía mal diseñada. Cada componente de la infraestructura de la vía debe ser correctamente enfocado en la etapa de diseño.

### 3.2.1. Diseño geométrico

El diseño geométrico de un vía de mina es dictado en gran parte por el método de explotación usado y por la geometría del área a explotar y del cuerpo mineralizado.

El proceso de diseño geométrico comienza con un objetivo simple de conectar dos puntos, y este objetivo es incrementalmente mejorado a medida que las especificaciones geométricas son aplicadas y cumplidas. Los pasos que se muestran a continuación.

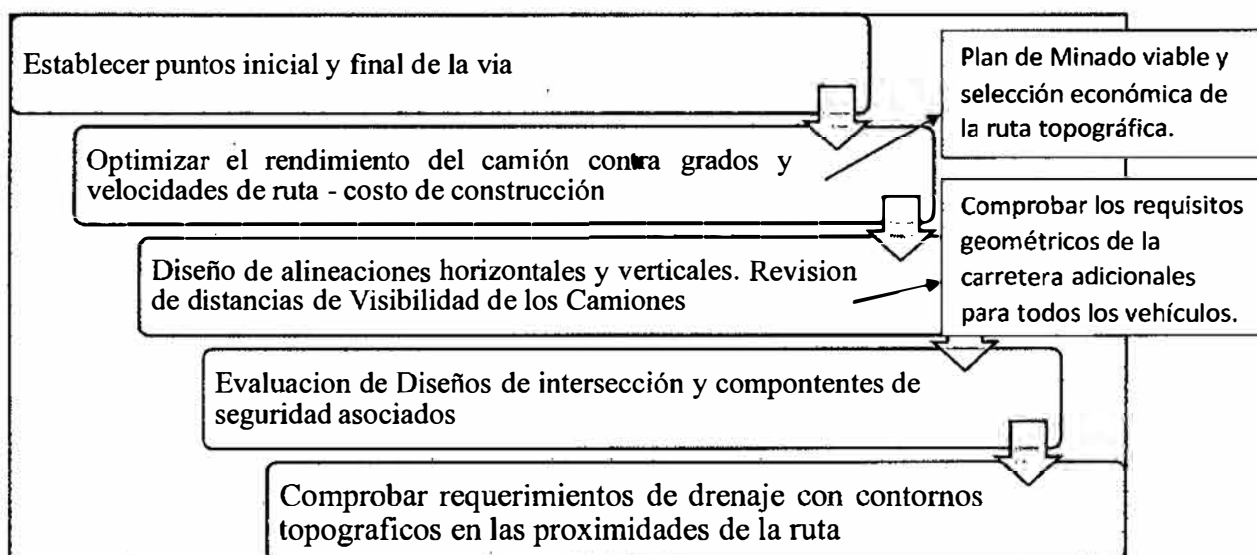


Figura N° 23: Proceso de diseño geométrico

## Diseño del ancho de vía según ault and kaufman y R.J. Thompson.

### Según ault and kaufman

Para una solo vía

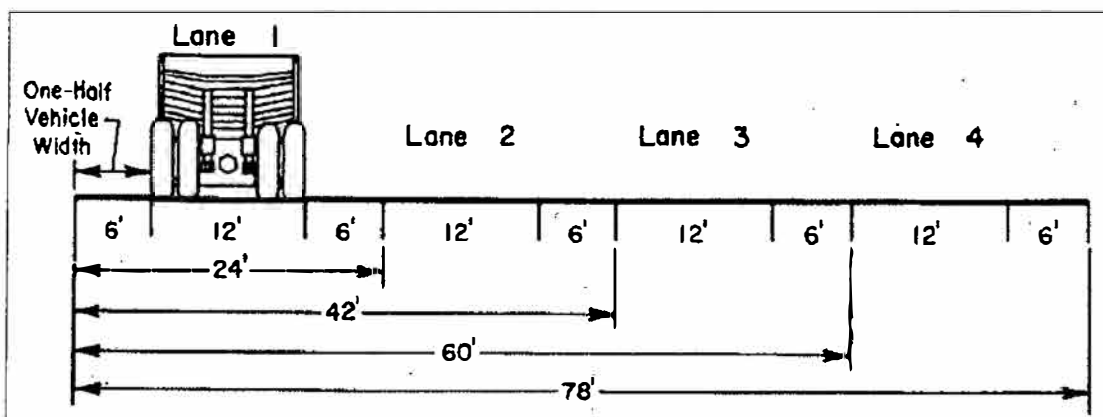


Figura N° 24: Anchos de vía para un camión.

Tabla N° 8: Tabla de anchos recomendados desde una vía hasta 4 vías de tránsito según Ault and Kaufman.

Acho del vehículo (pies)	1 vía	2 vías	3 vías	4 vías
8	16	38	40	52
9	18	31.5	45	58.5
10	20	35	50	65
11	22	38.5	55	71.5
12	24	42	60	78
13	26	45.5	65	84.5
14	28	49	70	91
15	30	52.5	75	97.5
16	32	56	80	104
17	34	59.5	85	110.5
18	36	63	90	117
19	38	66.5	95	123.5
20	40	70	100	130
21	42	73.5	105	136.5
22	44	77	110	143
23	46	80.5	115	149.5
24	48	84	120	156
25	50	87.5	125	162.5
26	52	91	130	169
27	54	94.5	135	175.5

Según el diseño de Ault and Kaufman, dice que el ancho de vía debe ser igual al ancho del camión más la mitad del ancho del camión a cada lado (lado de la cuneta, lado del talud).

Para el Komatsu 930E4-SE, el diseño para una solo vía sería:

ANCHO DEL CAMIÓN (m)	ANCHO A CADA LADO DE LA VÍA (m)	NUMERO DE CARRILES	ANCHO DE VÍA (m)
8.69	4.35	1	17.39

Para dos, tres cuatro vías

Definamos un algoritmo para correr el ancho de vía:

$$A \text{ via (m)} = (1.5 * n + 0.5)Ac$$

Dónde:

A vía= Ancho de Vía (m)

Ac =Ancho del camión (m)

n = número de Carriles (m)

ANCHO DEL CAMIÓN (m)	ANCHO A CADA LADO DE LA VÍA (m)	NUMERO DE CARRILES	ANCHO DE VÍA (m)
8.69	4.35	2	30.42
8.69	4.35	3	43.45
8.69	4.35	4	56.49

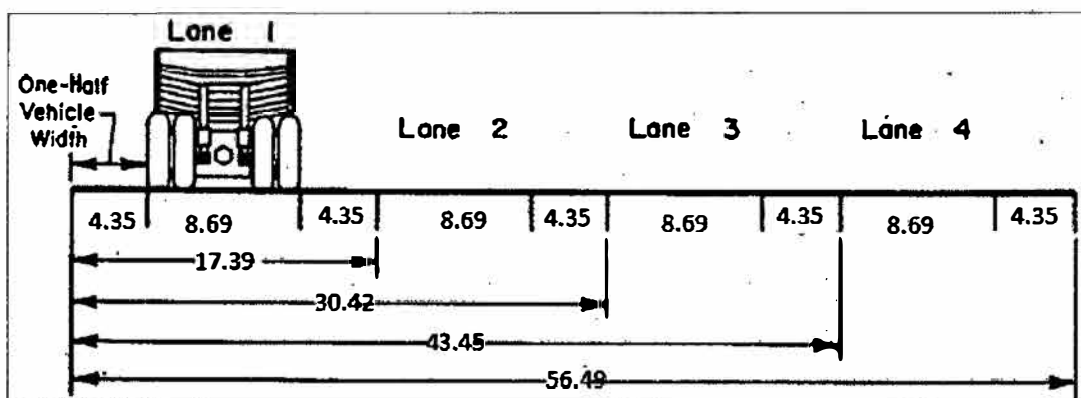


Figura N° 25: Anchos de vía para un camión Komatsu 930E4-SE.

**Nota:** el ancho no incluye la berma de seguridad ni la cuneta.

### Según R.J. Thompson

Thompson plantea los siguientes factores para el diseño del ancho de vía.

NÚMERO DE CARRILES	FACTOR X ANCHO MÁS GRANDE DEL CAMIÓN EN LA CARRETERA
1	2
2	3.5
3	5
4	6

ANCHO DEL CAMIÓN (m)	NÚMERO DE CARRILES	FACTOR X ANCHO MÁS GRANDE DEL CAMIÓN EN LA VIA	ANCHO DE LA VÍA (m)
8.69	1	2X8.69	17.38
8.69	2	3.5X8.69	30.42 – 34.76
8.69	3	5X8.69	43.45
8.69	4	6X8.69	52.14

Thompson recomienda que en zonas donde existe mucho flujo de vehículos y visibilidad limitada aumentar el factor para vías de dos carriles a 4, el ancho de vía no considera la berma de seguridad ni las cunetas.

### Según komatsu.

La recomendación de Komatsu para el ancho de vía del camión 930E4-SE con 2 carriles en función a la velocidad que se mueve es:

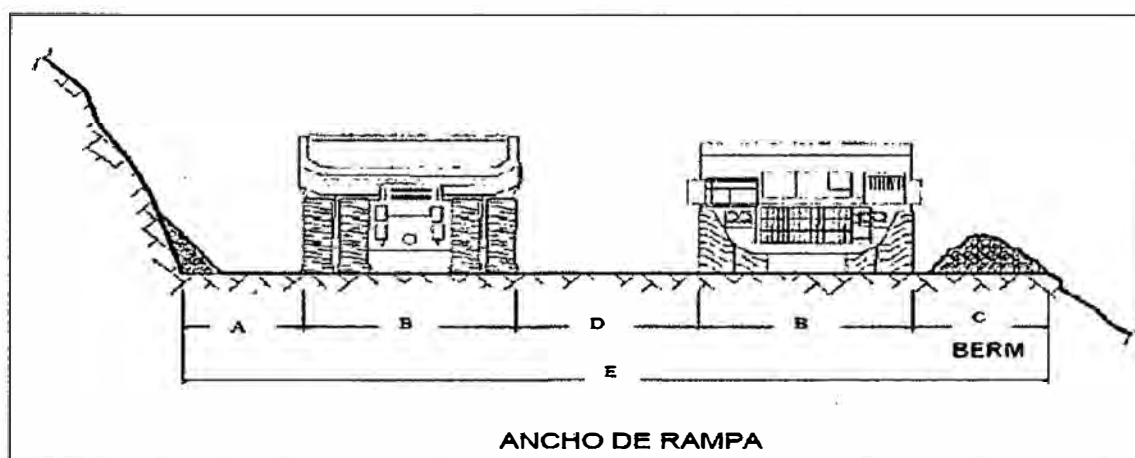


Figura N° 26: Ancho de vía para un camión según komatsu.

MODELO	VELOCIDAD (Km/h)	ESPACIO EN EL CENTRO (B)-m	ESPACIO EN PENDIENTE cuesta abajo(A) m	ESPACIO EN PENDIENTE cuesta arriba (C) m	ANCHO TOTAL DEL CAMINO (m)
930E-4	20	4.0	4.0	2.5	27.9
ANCHO CAMIÓN	30	4.5	5.0	2.5	29.4
8.69 m	40	5.5	5.0	3.0	30.4

**Nota:** Cuando los camiones van a 30 Km/h y con el fin de dar cabida en el carril en cada dirección, el camino recorrido debe ser por lo menos 4 veces el ancho de los camiones.

**En resumen el ancho de vía de los caminos pioneros serian:**

NUMERO DE CARRILES	Según AULF AND KAUFMAN (m)	Según R.J THOMPSON (m)	Según KOMATSU (m)
1	17.39	17.38	-----
2	30.42	30.42 – 34.76	20 Km/h – 27.9 30 Km/h – 29.4 40 Km/h – 30.4
3	43.45	43.45	-----
4	56.49	52.14	-----

### 3.2.2. Diseño estructural

El diseño estructural de las vías de acarreo se preocupa de la habilidad con que la vía soporte las cargas impuestas sin la necesidad de un excesivo mantenimiento o rehabilitación.

Las vías de acarreo se deterioran con el tiempo debido al efecto de interacción entre las cargas ejercidas por el tráfico y específicas capas sub-rasantes y la resistencia del material in-situ y su espesor estructural.

#### Distribución del peso del camión en las vías

Peso total del camión vacío incluye, el peso de lubricantes, líquido de refrigeración, tanque lleno de combustible y cuerpo estándar que es de **215,307 Kg.**

Peso máximo del camión cargado incluye, lubricantes, líquido de refrigeración, tanque lleno de combustible y carga útil, con llantas grandes instaladas, que es de **505, 755 Kg.**

*Tabla N° 9:* Distribución del Peso del camión Komatsu 930E-4SE, Vacío y cargado en las Vías Mineras de las Bambas.

CAMIÓN	EJE	Nº DE NEUMÁTICOS	DISTRIBUCIÓN PESO (%)	PESO (KG)	PESO SOPORTADO POR NEUMÁTICO (KG)	PRESIÓN DEL NEUMÁTICO
Vacío	Delantero	2	48.5	104,459	52,229.5 - 52.23 Tn	758 Kpa-110 Psi
	Trasero	4	51.5	110, 847	27,711.75 – 27.71 Tn	758 Kpa-110 Psi
Cargado	Delantero	2	32.8	165,956	82,979.5 – 82.98 Tn	758 Kpa-110 Psi
	Trasero	4	67.2	339,649	84,912.25 – 84.91 Tn	758 Kpa-110 Psi

#### Método de diseño california bearing ratio (CBR)

El método de diseño California Bearing Ratio (CBR) desarrollado por Kaufmann and Ault (1977) ha sido utilizado ampliamente para diseñar vías de acarreo de mina en el cual materiales no procesados son utilizados y está basado en la prueba de penetración CBR. El CBR de un material es la resistencia a la penetración de ese material expresada en porcentaje comparado con el valor estándar de roca triturada.

La siguiente ecuación es utilizada alternativamente para estimar el espesor de capa ( $Z_{CBR}$  (m)) requerido para un material de Radio Portante California (CBR%) que a continuación se detalla:

$$Z_{CBR} = \frac{9.81t_w}{P} \left[ 0.104 + 0.331e^{(-0.0287t_w)} \right] \left[ 2 \times 10^{-5} \left( \frac{CBR}{P} \right) \right] \left[ \left( \frac{CBR}{P} \right)^{-(0.415 + P \times 10^{-4})} \right]$$

Fuente: RJ Thompson preng, meaut. (2012).

Donde:

$t_w$  es la carga de la rueda (toneladas métricas)

$P$  es la presión del neumático (kPa)

CBR es el radio del valor relativo de soporte del material (%). Ensayo en laboratorio.

Originalmente, la carga de la rueda fue incrementada en un 20% para replicar los efectos de los esfuerzos incrementados generados por eje doble rueda que ocurre más profundamente en una capa de la vía.

(Equivalent Single Wheel Load – ESWL). La siguiente ecuación puede ser usada más fiablemente para estimar la capa de la vía,  $Z_{ESWL}$  (m) como:

$$Z_{ESWL} = Z_{CBR} + \left[ 0.184 + \left( 0.086CBR + \frac{17.76CBR}{t_w} \right) \right]^{-1}$$

Fuente: RJ Thompson preng, meaut. (2012).

Se debe tener en cuenta, que cuando se apliquen las fórmulas anteriores para la determinación de un diseño, debido a las características de estimación de las fórmulas, un espesor final de la capa más realista se determina por la substracción de la suma de las capas precedentes de los requerimientos totales de recubrimiento.

Utilizando esta técnica, se consideró la capa requerida para un **camión de acarreo de 320t**, con una carga de **55t por rueda**. Usando la aproximación ESWL de 1.2Xcarga de rueda, si el CBR del sub rasante es 5%, el espesor requerido de pavimento es 1400mm. Si una sub-base de CBR=15% fue colocada por encima de ésta, la capa de pavimento ahora es 500mm por lo tanto  $(1400-500) = 900$ mm de espesor de capa es requerido.

Colocando una base de CBR=35% resulta en una capa de 375mm de espesor, siguiendo una capa de rodado de 125mm y CRB80%. Idealmente, un material aún más duro es requerido,

pero una capa de rodado de CBR80% es adecuada y seria para fines de diseño especificada a una profundidad de 200mm de la superficie.

Utilizando las ecuaciones presentadas previamente para un ZESWL da una cubierta de 1790mm, y un espesor de capa de 840mm, 410mm y 150mm para cada capa respectivamente.

**Espesores de sub base vs California Bearing Ratio**

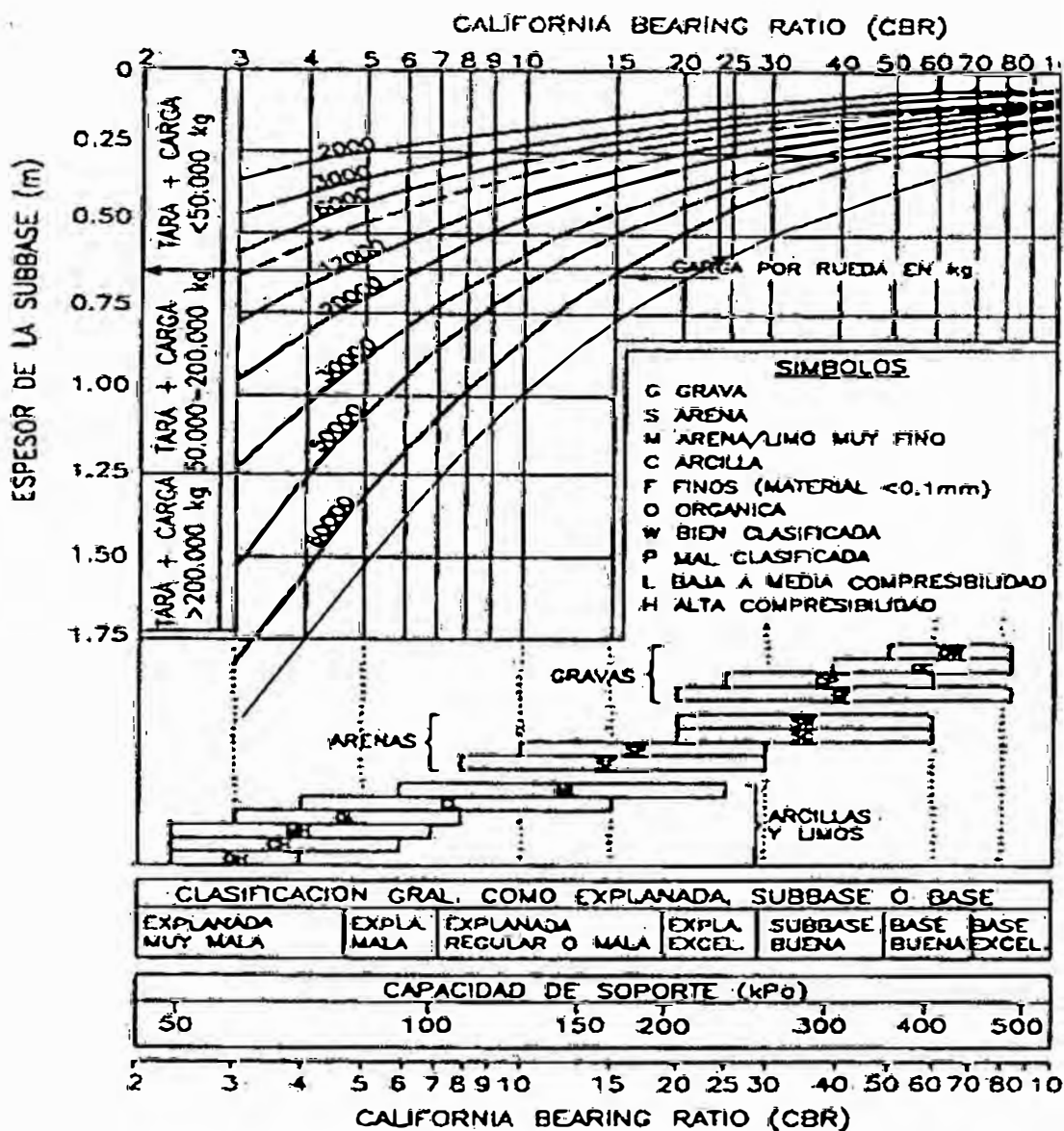


Figura N° 27: Tabla actualizada de California Bearing Ratio (CBR).

Fuente: RJ Thompson preng, meaut. (2012).

### Diseño recomendado para las vías del tajo Ferrobamba

Para el diseño tenemos que tener en cuenta 4 capas principales que debemos de construir para asegurar que las vías ofrezcan buena resistencia estructural.

- ✓ Sub-rasante
- ✓ Base inferior
- ✓ Capa de base
- ✓ Capa superficial o Capa de rodadura

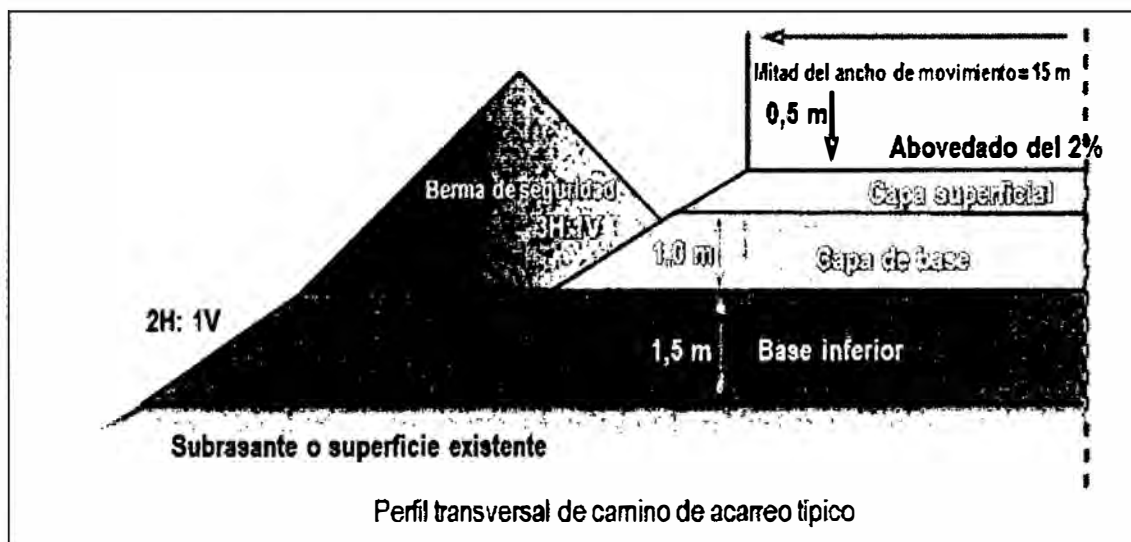


Figura N° 28: Capas básicas planteadas para el diseño de las vías en las Bambas.

Fuente: Área de planeamiento mina. Las Bambas.

#### Sub- rasante.

Hecha de roca dura y firme o grava densa y compacta, y es posible que no requiera relleno dado que los camiones pueden desplazarse sobre la superficie de sub-rasante. Si la sub-rasante carece de la capacidad de carga necesaria, entonces se necesita adoptar medidas adecuadas como la compactación.

#### Base inferior.

La roca tal como sale de la mina y roca gruesa generalmente compone esta capa. Esta capa provee la resistencia estructural para el camino y puede también prevenir la invasión del suelo de sub- rasante en la Capa de base, o viceversa. Esto minimiza el efecto de la escarcha y la acumulación de agua en la superficie vial.

### Base.

Generalmente se utiliza material de alta calidad con fracciones de tamaño suficiente para la construcción de esta capa. La Capa de base es la fuente principal de la resistencia estructural del camino, y las especificaciones de resistencia, plasticidad y nivelación son generalmente más rigurosas que las otras capas.

### Superficie.

Generalmente construida con grava de tamaño apropiado para controlar la nivelación y evitar los problemas del polvo, mientras se mantienen las características de consolidación del material. Aparte de proporcionar una superficie lisa de desplazamiento, se distribuye la carga sobre un área grande reduciendo de este modo los esfuerzos.

Bien ahora que conocemos estos conceptos básicos procedemos al diseño estructural de las vías para los caminos de las bambas, el peso máximo de un neumático cargado es de 84,91t  $\approx$  85t y tomando en cuenta el criterio CBR obtenemos el siguiente diseño.

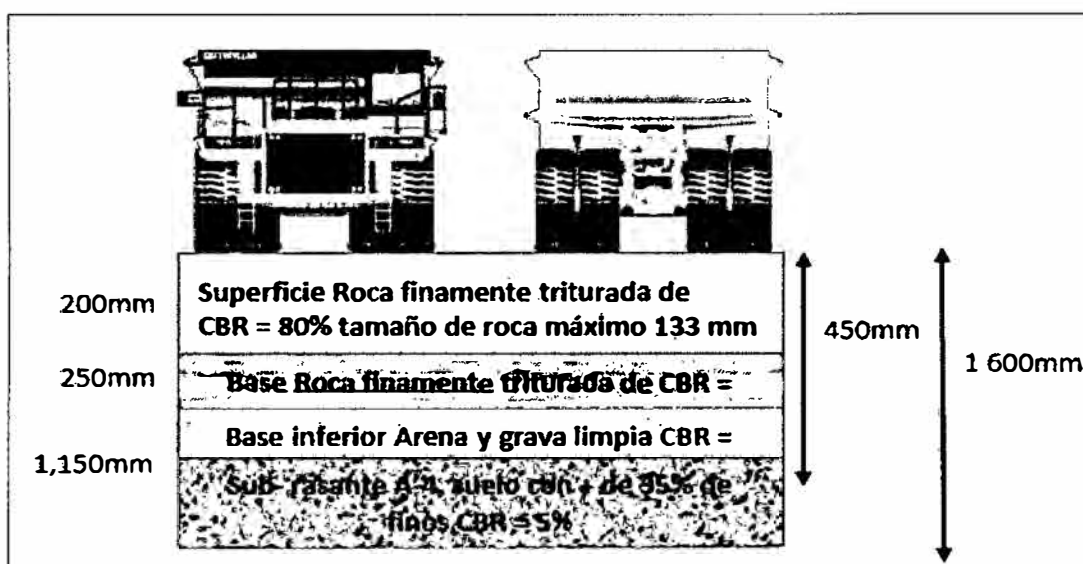


Figura N° 29: Diseño geométrico con las capas adecuadas para la vía.

Fuente: Área de planeamiento mina. Las Bambas.

### 3.2.3. Diseño de mantenimiento

Los costos de diseño y construcción para la mayoría de las vías de acarreo representan sólo una pequeña porción de los costos totales de operación y mantenimiento de las vías. El uso de una apropiada estrategia de mantenimiento y administración tiene el potencial de generar

ahorros significativos particularmente a la luz del incremento en la resistencia al rodado debido a los efectos de interacción del volumen de tráfico y la deterioración de la carpeta de rodamiento. Con el uso de camiones grandes, es inevitable que ocurra alguna deterioración o daño a la vía, y estos daños deben ser arreglados regularmente. Mientras mejor sea construida la vía, el deterioro de este será más lento y en consecuencia requerirá menor mantenimiento.



*Fotografía N° 40: Hundimientos y baches en la vía.*

La figura muestra los defectos en un área bastante grande de hundimientos o de baches en la vía. Ninguna cantidad de raspado y clasificación “arreglará” esta vía debido, como se explicó anteriormente, estos problemas indican que la falla se encuentra a más profundidad en las capas base de la carpeta de rodadura y simplemente cortar-arrastrar-dejar el material en la depresión no erradicará el problema de raíz. Una vez que se ha reconocido la causa raíz (fallo estructural), se puede planear como arreglar el problema correctamente, retirar las capas suaves y rellenar la capa base con material seleccionado compactado, re-establecer la carpeta de rodamiento y compactar.

### 3.3. Cálculo de fuerzas que actúan sobre camión

#### 3.3.1. Resistencia a la rodadura

Tabla N° 10: Resistencia a la rodadura.

RESISTENCIA A LA RODADURA (RR)		
TIPOS DE VÍAS	RESISTENCIA	
	KG/TN	%
1. Superficie dura, lisa, estabilizada con humedad y mantenimiento y sin penetración inferior de las llantas	20	2
2. Superficie firme, lisa sin estabilizar, con polvo, que se flexiona ligeramente bajo la carga o esta ondulado con mantenimiento regular o algo humedecida	30	3
3. Superficie lodosa con carriles de baches, sin mantenimiento ni estabilización		
a. Penetración de las llantas entre 1" y 2"	50	5
b. Penetración de las llantas entre 4" y 6"	75	7.5
4. Arena suelta o grava	100	10
5. Vía en pésimas condiciones de mantenimiento (blando, fangoso con lodo)	100-200	10-20

La resistencia total en porcentaje de pendiente de ida (cargado) sera:

$$RT = 5\% + 10\% = 15\%$$

Peso máximo del camión cargado incluye, lubricantes, líquido de refrigeración, tanque lleno de combustible y carga útil, con llantas grandes instaladas, que es de **505, 755 Kg.**

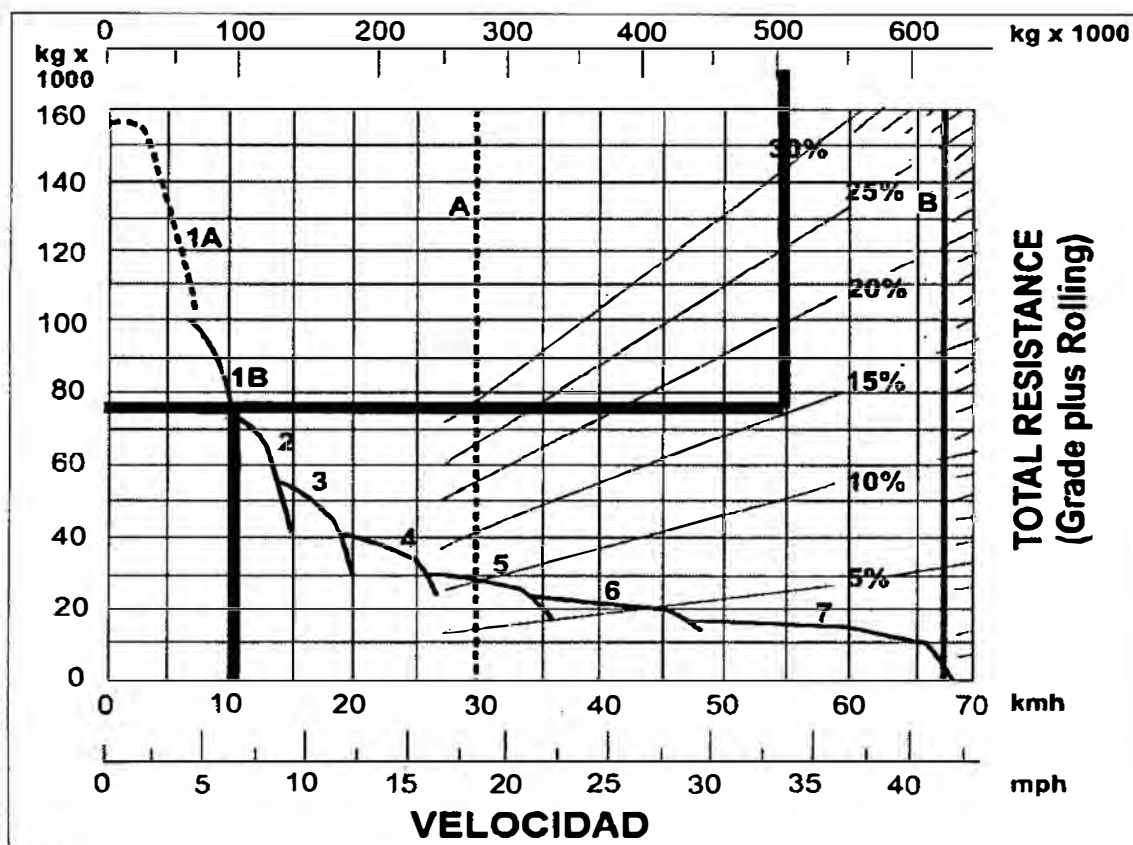


Figura N° 30. Cálculo de la resistencia a la rodadura.

Por lo tanto de acuerdo a la gráfica obtenemos una velocidad de 11 km/hr. Y la fuerza de tracción de 75000 kg.

Para obtener el coeficiente de fricción nos basamos en la siguiente tabla.

Tabla N° 11: Coeficiente de fricción para las llantas.

MATERIAL	COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA LLANTAS
Concreto	0.99
Arcilla seca	0.55
Arcilla húmeda	0.45
Arena seca	0.40
Arena húmeda	0.40
Tierra firme	0.55
Tierra suelta	0.45

Con el coeficiente de fricción aplicamos la siguiente formula:

$$\text{FUERZA DE TRACCION} = \text{PESO SOBRE EJE DE TRACCION} * \text{COEFICIENTE DE FRICCION}$$

En el caso de estar cargado, el eje trasero, que es el de tracción soporta el 66% de la carga, el coeficiente aplicable es el de arcilla húmeda 0.45 pero como se trata de lodosa tomaremos el factor de 0.40.

$$\text{Peso sobre las ruedas motrices: } 505,755 \text{ Kg} * 0.66 = 333,798 \text{ kg}$$

$$\text{Fuerza de tracción utilizable: } 333,798 * 0.40 = 133,519 \text{ kg.}$$

Comparando con la fuerza de tracción obtenida en la gráfica anterior (75000 kg), Se concluye que el camión se puede mover.

**La resistencia total en porcentaje de pendiente de regreso (vacío) sera:**

Para el regreso (vacío) tenemos pendientes descendente por lo que usaremos la gráfica que el fabricante propone para asegurar que el equipo no sufra sobrecalentamiento en frenos o algún desperfecto.

Por lo tanto la resistencia total en este Caso para el camión de regreso vacío será:

$$\text{RT} = 5\% - 10 = -5\%$$

El peso total del camión vacío incluye, el peso de lubricantes, líquido de refrigeración, tanque lleno de combustible y cuerpo estándar que es de **215,307 Kg.**

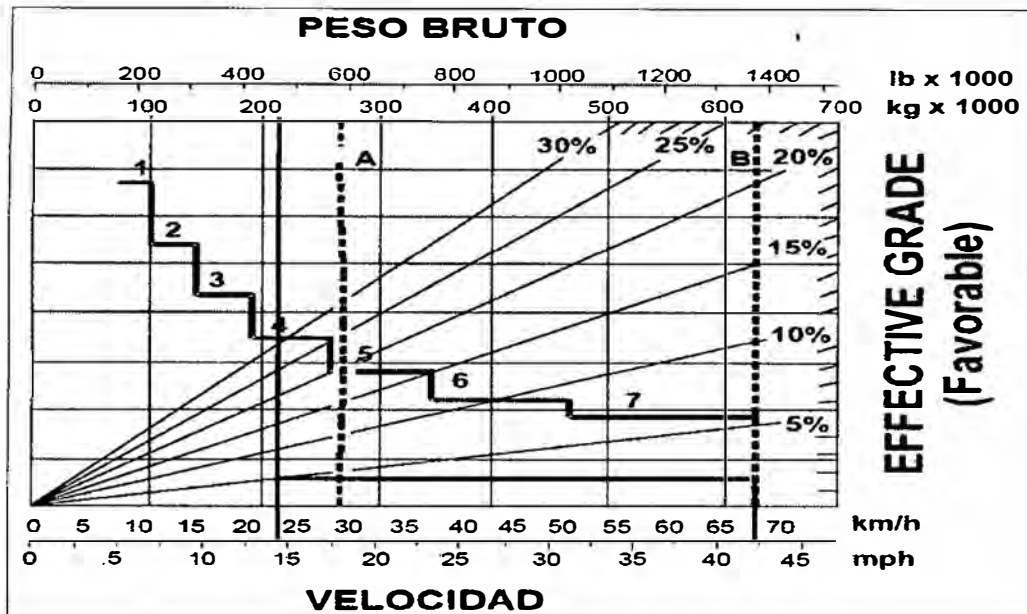


Figura N° 31: Cálculo de la RR en vacío.

Por lo tanto de la gráfica obtenemos la velocidad máxima de regreso vacío de 70km/hr, y una velocidad media de 35km/hr.

### 3.3.2. Resistencia a la tracción (Rimpull)

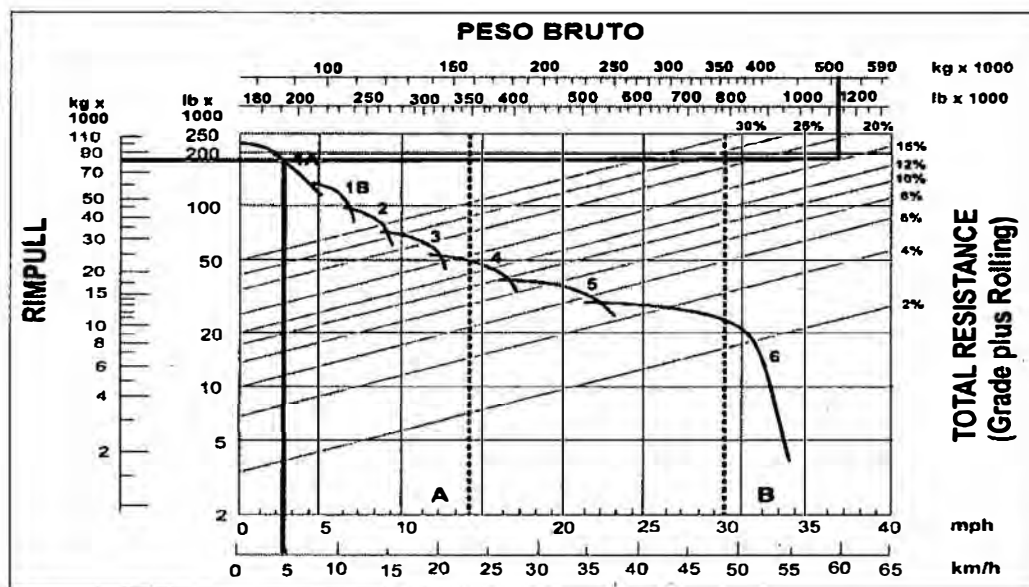


Figura N° 32: Cálculo de la fuerza de tracción (Rimpull).

Por lo tanto de acuerdo al gráfico obtenemos el Rimpull que es de 75000 kg. Circulado a una pendiente

### 3.4. Estudio de tiempos

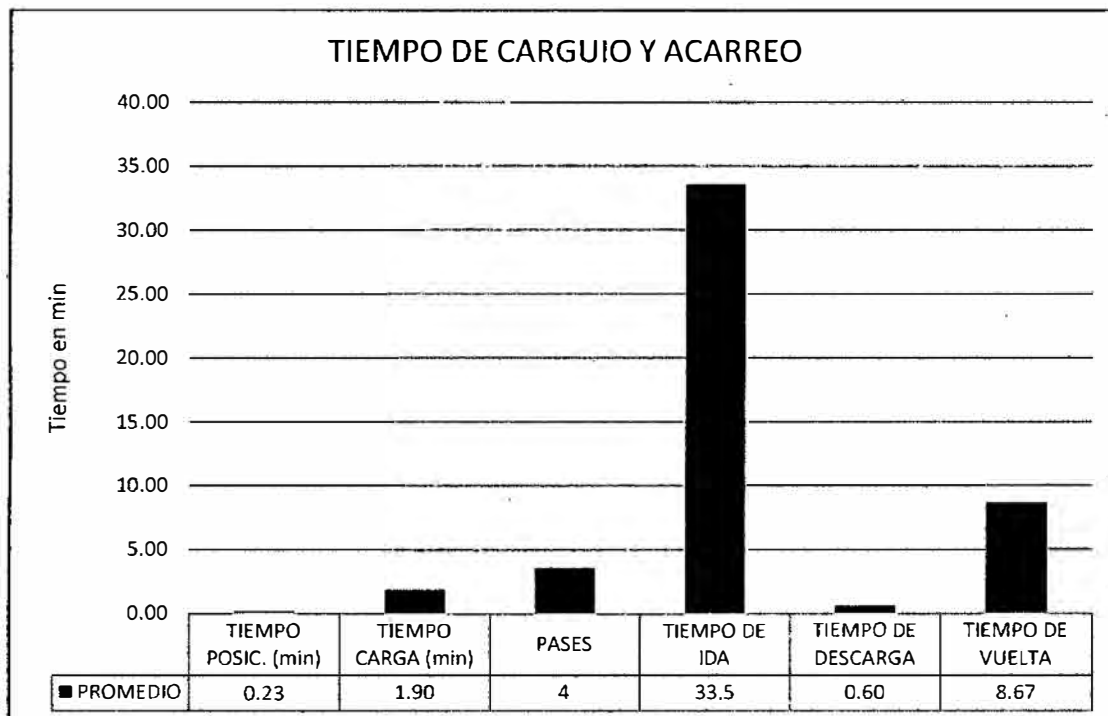
Esta técnica es una de las más utilizadas para realizar mediciones, la cual nos permita establecer rangos de tiempo que se requerirán para mejorar cada elemento de la operación y perfeccionar el ciclo entero. A partir de este punto, la supervisión se esfuerza en disminuir el tiempo del ciclo con la eliminación o reducción máxima de las demoras operacionales que se presentan en el tajo.

Para un mejor análisis se ha estudiado el ciclo de la pala eléctrica P&H 4100XPC, con el objetivo de obtener un resultado estadísticamente correcto y real.

Tabla N° 12: Tiempos obtenidos de carguío y acarreo.

TIEMPO DE CARGUIO Y ACARREO							
N° CAMION	TIEMPO POSIC. (min)	TIEMPO CARGA (min)	N° PASES	TIEMPO DE IDA (min)	TONELADAS (tn)	TIEMPO DE DESCARGA (min)	TIEMPO DE VUELTA (min)
1	0.15	1.8	4	30.25	300	0.5	8.5
2	0.2	1.5	4	30.1	310	1	9.5
3	0.3	2.1	4	31.24	305	0.34	8.3
4	0.2	1.8	3	30.23	298	0.52	8.9
5	0.25	2.2	4	34	305	0.52	8.5
6	0.15	2.3	3	33.5	290	0.54	8.4
7	0.23	1.8	4	32.7	310	1	8.6
8	0.25	1.8	3	31.6	290	0.58	9.5
9	0.3	2.3	4	35.9	315	0.56	8.4
10	0.21	1.8	4	39.7	310	0.45	8.3
11	0.3	1.5	3	39.2	289	0.58	8.5
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.23</b>	<b>1.90</b>	<b>4</b>	<b>33.5</b>	<b>302.00</b>	<b>0.60</b>	<b>8.67</b>

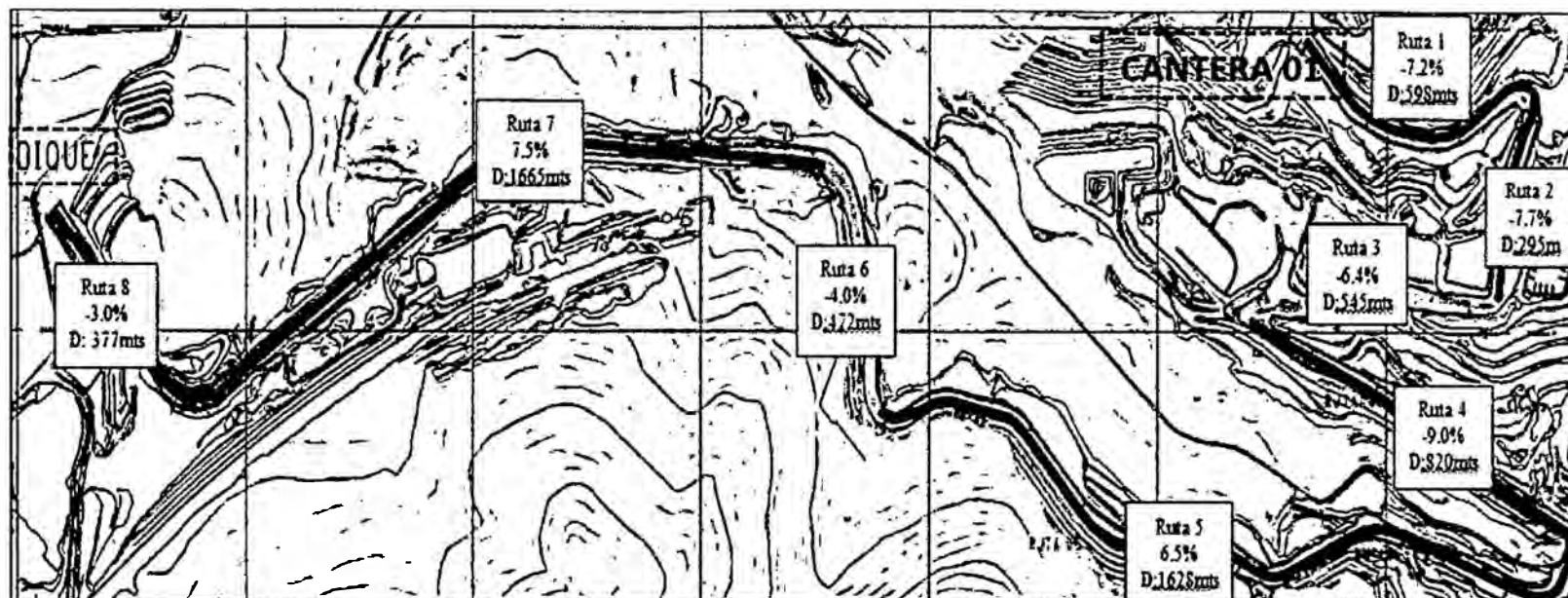
En el cuadro se puede apreciar los tiempos totales del ciclo que un camión recorre. Se conoce muy bien que estos tiempos pueden variar conforme las exploraciones en la mina, pero para el presente trabajo se tomará como referencia estos tiempos aproximados para el cálculo de la flota de camiones.



*Figura N° 3.5: Tiempos promedio de carguío y acarreo.*

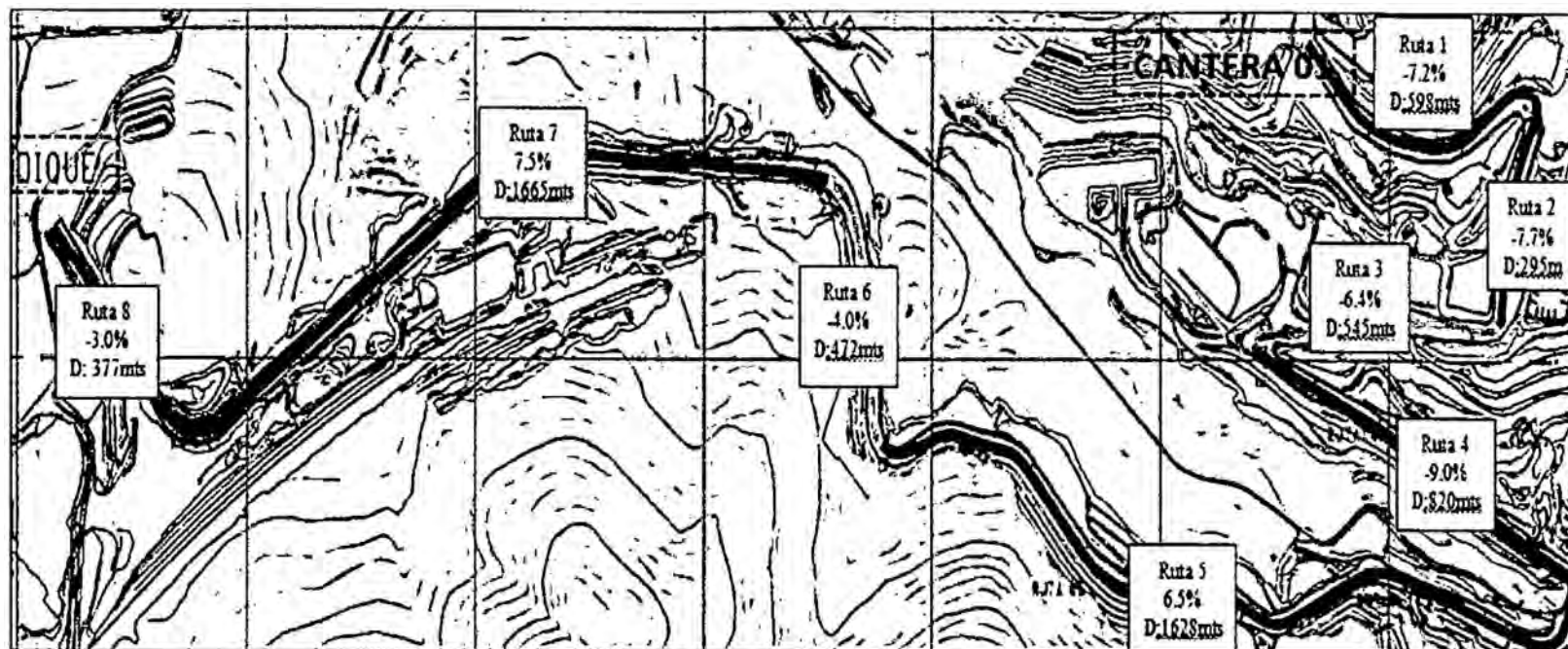
El primer paso es hacer el cálculo de los tiempos de ciclo para los camiones, para este fin se trabaja con la información de la tabla N° 12, en el siguiente grafico se calcula los tiempos de ciclo como se ve a continuación:

## ACARREO DE MATERIAL MINA - DIQUE



AÑO	2014								2015							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
RUTA																
DISTANCIA (m)	598	295	545	820	1628	472	1665	377	598	295	545	820	1628	472	1665	377
PENDIENTE %	-7.2	-7.7	-6.4	-9	6.5	-4	7.5	-3	-7.2	-7.7	-6.4	-9	6.5	-4	7.5	-3
VELOCIDAD (km/h)	10	10	10	10	40	20	40	20	37	37	37	30	30	40	20	40
TIEMPO DE ACARREO (min)	3.59	1.77	3.27	4.92	2.44	1.42	2.50	1.13	0.97	0.48	0.88	1.64	3.26	0.71	5.00	0.57
TIEMPO DE CARGA Y DESCARGA (min)	2.50								2.50							
TIEMPO CICLO-IDA (min)	6.09	4.27	5.77	7.42	4.94	3.92	5.00	3.63	3.47	2.98	3.38	4.14	5.76	3.21	7.50	3.07
TIMPO TOTAL CICLO-IDA (min)	41.03								33.50							

### RETORNO DEL CAMIÓN VACÍO DIQUE - MINA



AÑO	2014								2015							
	8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1
RUTA																
DISTANCIA (m)	377	1665	472	1628	820	545	295	598	377	1665	472	1628	820	545	295	598
PENDIENTE %	-3	7.5	-4	6.5	-9	-6.4	-7.7	-7.2	-3	7.5	-4	6.5	-9	-6.4	-7.7	-7.2
VELOCIDAD (km/h)	30	40	30	40	30	30	30	30	50	50	40	50	40	37	37	37
TIEMPO DE ACARREO (min)	0.75	2.50	0.94	2.44	1.64	1.09	0.59	1.20	0.45	2.00	0.71	1.95	1.23	0.88	0.48	0.97
TIEMPO CICLO-VUELTA (min)	0.75	2.50	0.94	2.44	1.64	1.09	0.59	1.20	0.45	2.00	0.71	1.95	1.23	0.88	0.48	0.97
TIMPO TOTAL CICLO-VUELTA (min)	11.15								8.67							



Con estos tiempos de ciclo calculados para el material que se está acarreado hacia el Dique de relaves, se puede hacer el cálculo del número de camiones para la operación, una vez que se tienen los ciclos de acarreo se calcula el tiempo de carguío de la pala a los camiones, también obtener el número de pases utilizados. Para obtener el cálculo del tiempo de carguío, se ha estimado el ciclo de trabajo de la pala P&H 4100 XPC.

*Tabla N° 13: Tiempo de carguío con la pala 003 P&H.*

<b>TIEMPO DE CARGUIO CON LA PALA SH 003 P&amp;H 4100XPC</b>				
<b>N° CAMION</b>	<b>TIEMPO POSIC. (min)</b>	<b>TIEMPO CARGA (min)</b>	<b>NÚMERO DE PASES</b>	<b>TONELADAS CARGADAS</b>
1	0.15	1.8	4	300
2	0.2	1.5	4	310
3	0.3	2.1	4	305
4	0.2	1.8	3	298
5	0.25	2.2	4	305
6	0.15	2.3	3	290
7	0.23	1.8	4	310
8	0.25	1.8	3	290
9	0.3	2.3	4	315
10	0.21	1.8	4	310
11	0.3	1.5	3	289

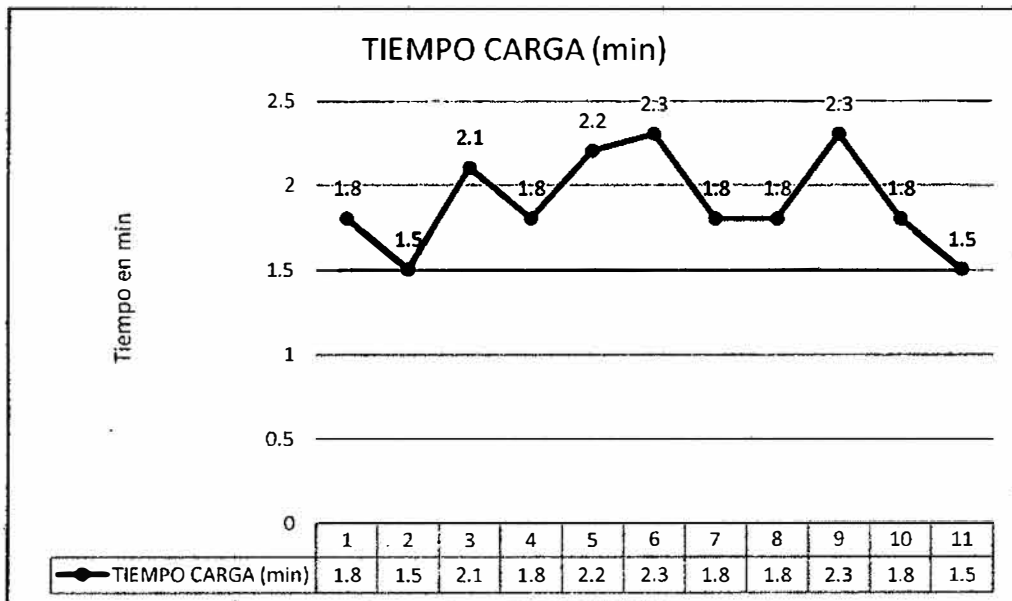


Figura N° 33: Tiempo de carguío promedio por pala.

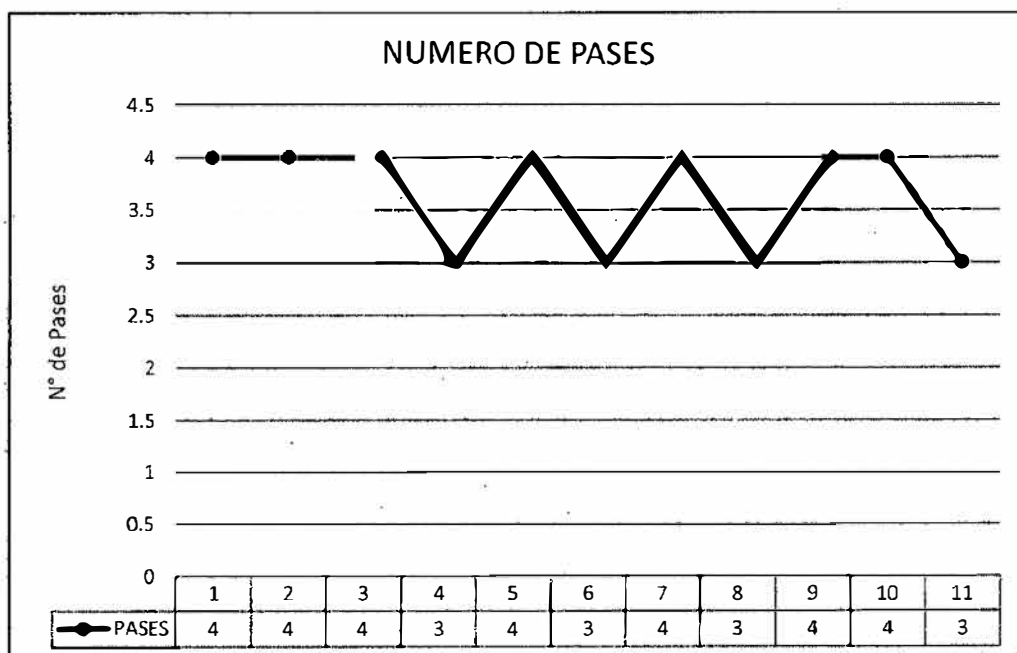


Figura N° 34: Número de pases por equipos de carguío.

### 3.5. Análisis del costo total de carguío y acarreo en la operación minera

#### Planeamiento

Es el proceso que permite reconocer y pronosticar qué hacer para lograr los objetivos de la producción, junto con los presupuestos, los planes de ventas, los programas de inversión, la estimación de recursos y otros.

Los cálculos siguientes de costos están basados de acuerdo al CAPEX y OPEX.

#### 3.5.1. Costos en la operación minera de carguío

##### 3.5.1.1. Calculo de los costos de capital de carguío

PALAS			
A.-	DATOS		
Tasa Interés efectiva anual (TEA)	12.00%		
Maquina	P&H 4100 XPC		
Potencia de Motor			
VALOR DE LA MAQUINA (V)	45,000,000	US\$	
Valor residual - término de vida útil (10%)	4,500,000	US\$	
Precio Base de Depreciación	40,500,000	US\$	
Tiempo de Depreciación	146,000	Vida útil Hrs (ve)	
	20	Años (N)	
	2	Guardias/día	
	10	Hrs efect./Gdia.	
Horas de operación por año	7,300.00	Horas	
Inversión Anual Promedio =	$(N+1)/2N \times V$		
Inversión Anual Promedio =	23,625,000.00	US\$	
B.-	COSTO DE POSESIÓN		
US \$/ Hr.			
Depreciación por Hora	Precio Base Depreciación	=	2,025,000.00
	Tiempo Depreciación		
Costo Financiero	$(N+1/2N) \times V \times i \times N$	=	56,700,000.00
	Vida útil		
Costo de Posesión por Hora		=	58,725,000.00

## 3.5.1.2. Costo de capital, depreciación e interés

P&H 4100 XPC	Costo Unitario Anual	Total de Maquinas	costos por una máquina por su vida útil (pala 20 años)	Costo Total de las maquinas por su vida útil (palas 20 años)
<b>Numero de Palas</b>		<b>2</b>		
<b>Precio puesto en Mina</b>	45,000,000	90,000,000		
Depreciación anual	675,000	1,350,000	1,350,000	27,000,000
Interés y seguro	945,000	1,890,000	1,890,000	37,800,000
<b>Costo Posesión total</b>	<b>1,620,000</b>	<b>3,240,000</b>	<b>3,240,000</b>	<b>64,800,000</b>

## 3.5.1.3. Costos operativos

<b>Cálculo del costo total de Palas</b>				
P&H 4100 XPC	Costo Unitario Anual	Total de Maquinas	costos por una máquina por su vida útil (pala 20 años)	Costo Total de las maquinas por su vida útil (palas 20 años)
<b>Numero de Palas</b>		<b>2</b>		
Salarios, beneficios sociales	365,000	730,000	7,300,000	14,600,000
Costo electricidad	405,150	810,300	8,103,000	16,206,000
Costo lubricantes	202,575	405,150	4,051,500	8,103,000
Mantenimiento	375,000	750,000	7,500,000	15,000,000
<b>Costo operacional total</b>	<b>1,347,725</b>	<b>2,695,450</b>	<b>26,954,500</b>	<b>53,909,000</b>
Reparaciones accesorios	730,000	1,460,000	14,600,000	29,200,000
Costo total reparaciones	730,000	1,460,000	14,600,000	29,200,000

## 3.5.1.4. Costo total de carguío

<b>Cálculo del costo total de Palas</b>				
<b>P&amp;H 4100 XPC</b>	<b>Costo Unitario Anual</b>	<b>Total de Maquinas</b>	<b>costos por una máquina por su vida útil (pala 20 años)</b>	<b>Costo Total de las maquinas por su vida útil (palas 20 años)</b>
<b>Numero de Palas</b>		<b>2</b>		
Precio puesto en Mina	45,000,000	90,000,000		
Depreciación anual	675,000	1,350,000	13,500,000	27,000,000
Interés y seguro	945,000	1,890,000	18,900,000	37,800,000
<b>Costo Posesión total</b>	<b>1,620,000</b>	<b>3,240,000</b>	<b>32,400,000</b>	<b>64,800,000</b>
Salarios, beneficios sociales	365,000	730,000	7,300,000	14,600,000
Costo combustible	405,150	810,300	8,103,000	16,206,000
Costo lubricantes	202,575	405,150	4,051,500	8,103,000
Mantenimiento	375,000	750,000	7,500,000	15,000,000
<b>Costo operacional total</b>	<b>1,347,725</b>	<b>2,695,450</b>	<b>26,954,500</b>	<b>53,909,000</b>
Reparaciones accesorios	730,000	1,460,000	14,600,000	29,200,000
Costo total reparaciones	730,000	1,460,000	14,600,000	29,200,000
<b>Costo Total</b>	<b>3,697,725</b>	<b>7,395,450</b>	<b>73,954,500</b>	<b>147,909,000</b>

## 3.5.1.5. Determinación del costo unitario de capital

PALAS							
<b>A.-</b>	<b>DATOS</b>						
	Tasa Interés efectiva anual (TEA)	12.00%					
	Maquina	P&H 4100 XPC					
	Potencia de Motor						
	VALOR DE LA MAQUINA (V)	45,000,000			US\$		
	Valor residual - término de vida útil (10%)	4,500,000			US\$		
	Precio Base de Depreciación	40,500,000			US\$		
	Tiempo de Depreciación	146,000			Vida útil Hrs (ve)		
		20			Años (N)		
		2			Guardias/día		
		10			Hrs efect./Gdia.		
	Horas de operación por año	7,300.00			Horas		
	Inversión Anua l Promedio =	$(N+1)/2N \times V$					
	Inversión Anual Promedio =	23,625,000			US\$		
<b>B.-</b>	<b>COSTO DE POSESIÓN</b>					<b>US \$/ Hr.</b>	
	Depreciación por Hora			=		277.40	
	Costo Financiero	$(N+1/2N) \times V \times i \times N$			=	388.36	
		Vida útil Hrs					
	Costo de Posesión por Hora			=		665.76	
<b>C.-</b>	<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>					<b>US \$/ Hr.</b>	
	Consumo Electricidad	2,500.00	Kw	0.03	\$ Kw /hr	75.00	
	Consumo de aceite, grasas, filtros, etc.					27.75	
	Mantenimiento y reparación $MR=\%MR*(V/ve)$					51.37	
	<b>Costo de Operación por Hora</b>					<b>154.12</b>	
<b>E.-</b>	<b>Mano de Obra directa (Salario+ Beneficios sociales + Bonos)</b>					<b>50.00</b>	
<b>F.-</b>	Accesorios		Vida útil Hrs. Efect.		Precio USD \$	<b>US \$/ Hr.</b>	
	reparaciones , cuchara, cables		100		10000	100	
	<b>Costo Accesorios</b>					<b>100</b>	
<b>G.-</b>	<b>COSTO TOTAL HORARIO</b>					<b>969.88</b>	

Por lo tanto el costo unitario de operación es de 969.88 \$/hr.

### 3.5.1.6. Cálculo del rendimiento de la pala

$$\text{Rend. Eq. Carguío} = \left( \frac{(60 * Cc * E * F * H * A) * (1 - \% \text{Esponj.})}{Tc} \right) * (\text{Dens. Mat.})$$

Donde:

Rend. Eq. Carguío = Rendimiento del equipo de carguío (TM/Hora)

Cc = Capacidad de la cuchara

E = Factor de utilización (tanto por uno)

F = Factor de llenado (tanto por uno)

H = Factor de corrección por la altura del banco

Tc = Ciclo de cuchareo (minutos)

% Esponj. = Porcentaje de esponjamiento

A = Factor de corrección por el ángulo de giro

Dens. Mat. = Densidad del material

Rendimiento de la pala		
Cc	61.2	m <sup>3</sup>
E	0.90	%
F	0.90	%
H	1	
A	1.1	
% Esponj.	0.81	%
Dens. Min.	1.83	TM / m <sup>3</sup>
Tc	30	Segundos
	0.5	Minutos

Por lo tanto el rendimiento del equipo de carguío = 2275.18 TM/hr

### 3.5.1.7. Calculo del costo unitario de producción en carguío

$$COSTO DE PRODUCCION UNITARIO = \frac{COSTO HORARIO DE MAQUINA}{PRODUCCION HORARIA}$$

$$COSTO DE PRODUCCION UNITARIO = \frac{969.88}{2275.18} = 0.43 \$/TM$$

### 3.5.1.8. Calculo del costo total de carguío

**Palas:**

$$CT: PRODUCCION TOTAL * COSTO UNITARIO$$

**Costo total de carguío 2014.**

$$CT: 166822000 TM * 0.63 \frac{\$}{TM} = \$ 105097860$$

**Costo total de carguío 2015.**

$$CT: 190595000 TM * 0.43 \frac{\$}{TM} = \$ 81955850$$

### 3.5.2. Costos en la operación minera de acarreo

#### 3.5.2.1. Calculo de costos de capital de acarreo

<b>CAMIONES</b>			
<b>A.- DATOS</b>			
Tasa Interés efectiva anual (TEA)	12.00%		
Maquina	KOMATSU 930E-4SE		
Potencia de Motor			
VALOR DE LA MAQUINA (V)	3,500,000	US\$	
Valor residual - término de vida útil (10%)	350,000	US\$	
Precio Base de Depreciación	3,150,000	US\$	
Tiempo de Depreciación	73000	Vida útil Hrs (ve)	
	10	Años (N)	
	2	Guardias/día	
	10	Hrs efect./Gdia.	
Horas de operación por año	7,300.00	Horas	
Inversión Anual Promedio =	$(N+1)/2N \times V$		
Inversión Anual Promedio =	1,925,000	US\$	
<b>B.- COSTO DE POSESIÓN</b>			<b>US \$</b>
Depreciación por Hora	$\frac{\text{Precio Base Depreciación}}{\text{Tiempo Depreciación}}$	=	350,000.00
Costo Financiero	$\frac{(N+1/2N) \times V \times i \times N}{\text{Vida útil}}$	=	231,000.00
Costo de Posesión por Hora		=	581,000.00

## 3.5.2.2. Costo de capital, depreciación e interés

KOMATSU 930E-4SE	Costo Unitario Anual	Total de Maquinas	costos por una máquina por su vida (camión 10 años)	Costo Total de las maquinas por su vida útil mina
<b>Número de Camiones</b>		<b>52</b>		
Precio puesto en Mina	3,500,000	182,000,000		
Depreciación anual	189,000	9,828,000	1,890,000	98,280,000
Interés y seguro	138,600	7,207,200	1,386,000	72,072,000
<b>Costo Posesión total</b>	<b>327,600</b>	<b>17,035,200</b>	<b>3,276,000</b>	<b>170,352,000</b>

## 3.5.2.3. Costos operativos

KOMATSU 930E-4SE	Costo Unitario Anual	Total de Maquinas	costos por una máquina por su vida (camión 10 años)	Costo Total de las maquinas por su vida útil mina
<b>Número de Camiones</b>		<b>52</b>		
Salarios, beneficios sociales	219,000	11,388,000	2,190,000	113,880,000
Costo combustible	459,900	23,914,800	4,599,000	239,148,000
Costo lubricantes	229,950	11,957,400	2,299,500	119,574,000
Mantenimiento	105,000	5,460,000	1,050,000	54,600,000
<b>Costo operacional total</b>	<b>1,013,850</b>	<b>52,720,200</b>	<b>10,138,500</b>	<b>527,202,000</b>
Reparaciones accesorios	0	0	0	0
Llantas	60,833	3,163,316	608,330	31,633,160
Costo total reparaciones	60,833	3,163,316	608,330	31,633,160

## 3.5.2.4. Costo total de acarreo

<b>Cálculo del costo total de Camión</b>				
<b>KOMATSU 930E-4SE</b>	<b>Costo Unitario Anual</b>	<b>Total de Maquinas</b>	<b>costos por una máquina por su vida (camión 10 años)</b>	<b>Costo Total de las maquinas por su vida útil mina</b>
<b>Número de Camiones</b>		<b>52</b>		
Precio puesto en Mina	3,500,000	182,000,000		
Depreciación anual	189,000	9,828,000	1,890,000	98,280,000
Interés y seguro	138,600	7,207,200	1,386,000	72,072,000
<b>Costo Posesión total</b>	<b>327,600</b>	<b>17,035,200</b>	<b>3,276,000</b>	<b>170,352,000</b>
Salarios, beneficios sociales	219,000	11,388,000	2,190,000	113,880,000
Costo combustible	459,900	23,914,800	4,599,000	239,148,000
Costo lubricantes	229,950	11,957,400	2,299,500	119,574,000
mantenimiento	105,000	5,460,000	1,050,000	54,600,000
<b>Costo operacional total</b>	<b>1,013,850</b>	<b>52,720,200</b>	<b>10,138,500</b>	<b>527,202,000</b>
Reparaciones accesorios	0	0	0	0
Llantas	60,833	3,163,316	608,330	31,633,160
Costo total reparaciones	60,833	3,163,316	608,330	31,633,160
<b>Costo Total</b>	<b>121,666</b>	<b>6,326,632</b>	<b>1,216,660</b>	<b>63,266,320</b>

## 3.5.2.5. Determinación del costo unitario de capital

CAMIONES						
<b>A.- DATOS</b>						
Tasa Interés efectiva anual (TEA)	12.00%					
Maquina	KOMATSU 930E-4SE					
Potencia de Motor						
VALOR DE LA MAQUINA (V)	3,500,000				US\$	
Valor residual - término de vida útil (10%)	350,000				US\$	
Precio Base de Depreciación	3,150,000				US\$	
Tiempo de Depreciación	73,000				Vida útil Hrs (ve)	
	10				Años (N)	
	2				Guardias/día	
	10				Hrs efect./Gdia.	
Horas de operación por año	7,300.00				Horas	
Inversión Anual Promedio =	$(N+1)/2N \times V$					
Inversión Anual Promedio =	1,925,000				US\$	
<b>B.- COSTO DE POSESIÓN</b>						
						US \$/ Hr.
Depreciación por Hora	Precio Base Depreciación		=	43.15		
	Tiempo Depreciación (hrs)					
Costo Financiero	$(N+1/2N) \times V \times i \times N$		=	31.64		
	Vida útil hrs					
Costo de Posesión por Hora				=	74.79	
<b>C.- COSTOS DE OPERACIÓN</b>						
						US \$/ Hr.
Consumo Diésel	25	Gln/hr	3.50	\$/gln	87.5	
Consumo de aceite, grasas, filtros, etc. (% consumo combustible según tabla)					31.5	
Mantenimiento y Reparación $MR = \%MR \times (V/ve)$					14.38	
Costo de Operación por Hora					133.38	
<b>E.- Mano de Obra directa (Salario+ Beneficios sociales + Bonos)</b>					30	
<b>F.- Accesorios</b>						
		Vida útil Hrs. Efect.	Precio USD \$		US \$/ Hr.	
Llantas		6000	144000		24	
Costo Accesorios					24	
<b>G.- COSTO TOTAL HORARIO</b>						262.17

Por lo tanto el costo unitario de operación es de 262.17 \$/hr.

### 3.5.2.6. Cálculo del rendimiento del camión

$$\text{Rend. Eq. acarreo} = \left( \frac{(60 * C_v * E * F.LL * DM) * (1 - \%INCREM.VOL.)}{T_c} \right) * (\text{Dens. Mat.})$$

Donde:

Rend.Eq.Acarreo	=	Rendimiento del equipo de acarreo (TM/Hora)
Cv	=	Capacidad de tolva
E	=	Factor de eficiencia (tanto por uno)
F.LL	=	Factor de llenado (tanto por uno)
AV	=	Incremento del volumen %
Tc	=	Tiempo del ciclo (minutos)
DM	=	Disponibilidad mecánica
Dens. Mat.	=	Densidad del material

Rendimiento del camión		
Cv	211	m <sup>3</sup>
E	0.85	%
F.LL	0.90	%
% Esponj.	17.00	%
Disp.Mec	0.88	
Dens. Min.	2.70	TM / m <sup>3</sup>
TC	44.90	Minutos

Por lo tanto el rendimiento del equipo de acarreo = 426.91 TM/hr

### 3.5.2.7. Cálculo del costo unitario de producción en el acarreo

$$\text{COSTO DE PRODUCCION UNITARIO} = \frac{\text{COSTO HORARIO DE MAQUINA}}{\text{PRODUCCION HORARIA}}$$

$$\text{COSTO DE PRODUCCION UNITARIO} = \frac{262.17}{426.91} = 0.61 \$/\text{TM}$$

### 3.5.2.8. Cálculo del costo total de acarreo

Camiones:

$$CT: PRODUCCION TOTAL * COSTO UNITARIO$$

Costo total de acarreo 2014.

$$CT: 166822000 TM * 1.23 \frac{\$}{TM} = \$ 205191060$$

Costo total de acarreo 2015.

$$CT: 190595000 TM * 0.61 \frac{\$}{TM} = \$ 116262950$$

### 3.6. Cálculo de número de camiones requeridos

Una vez que se ha calculado los tiempos de acarreo para la operación en mina se debe calcular los tiempos totales de ciclo. Para esto, se tiene como información los números de hora a trabajar durante el día, la producción diaria, los tiempos de carguío, acarreo y retorno cumpliendo el ciclo para cada camión como se puede apreciar en el cuadro.

Tabla N° 14: Ciclo de acarreo de los camiones mineros Komatsu.

CICLO DE TRABAJO DE LOS CAMIONES PARA EL ACARREO DE MATERIAL		
N°	Descripción	Tiempo (min)
1	Tiempo de posicionamiento	0.23
2	Tiempo de carguío al camión	1.90
3	Tiempo de acarreo	33.50
4	Tiempo de descarga	0.60
5	Tiempo de retorno (vacío)	8.67
<b>TOTAL</b>		<b>44.9</b>

Luego que tenemos toda la información procedemos a calcular el número óptimo de camiones para la pala. El tiempo de ciclo para el desmante es de 44.9 min por cada camión esto significa que por hora se tiene:

$$CT: \text{Numero de Ciclos} = \frac{60 \text{ min}}{44.9 \text{ min}} = 1.34 \text{ ciclos /hr}$$

- ✓ Cada camión komatsu 930E-4SE, de 300tn.
- ✓ Producción de 505 000 toneladas/día.

$$1.34 \text{ ciclos} * 320 \text{ toneladas} * 22 \text{ horas} * 54 \text{ camiones} = 508009 \text{ toneladas/día}$$

Por lo tanto el número de camiones requerido para esta distancia de 6.4km con dirección al Dique de relaves es de 54.

Este número inicial de camiones se reducirá conforme que entre en operación la chancadora primaria, ya que se reducirán las distancias de acarreo, y por lo tanto se reducirán la flota de camiones en la operación.



*Fotografía N° 41: Vista panorámica del Tajo Ferrobamba.*

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente tesis denominada Productividad en el ciclo de carguío y acarreo, es desarrollada de forma resumida, precisa y concisa el análisis de los tiempos mediante gráficos estadísticos que nos permiten entender de forma clara y rápida el comportamiento de las variables que influyen principalmente en la productividad.

La importancia del estudio de tiempos de carguío y acarreo, es muy indispensable ya que gracias a ella se busca crear técnicas, métodos y estrategias que permitan obtener, analizar y tomar acciones rápidas de mejora para maximizar los tiempos operativos de los equipos en operación, así como minimizar los tiempos muertos, demoras operativas que impliquen negativamente en la productividad.

#### **4.1. Mantenimiento de vías**

En el Tajo Ferrobamba, lo fundamental para contrarrestar la baja productividad, es primordialmente realizar el adecuado mantenimiento de las vías, por lo tanto es realizar varias acciones, para obtener primordialmente que la vía este en las condiciones adecuadas para que por ellas los equipos de acarreo puedan transitar con las mejores condiciones de seguridad, por ello sin causar ningún tipo de incidentes, y sobre todo que no se vea comprometido la baja de la productividad

Para ello lo más importante es la construcción de cunetas y sangrías, nos permite tener las vías en buenas condiciones de trabajo durante las inclemencias de la naturaleza en la operación.

Estas son construidas de forma temporal por la cuchilla de una motoniveladora, el criterio para su construcción es crearla hacia el lado del peralte, logrando así que si hay una corriente de agua en la vía, esta sea rápidamente canalizada hacia las cunetas evitando el desgaste prematuro de las vías.

Las sangrías son el complemento de las cunetas, ya que estas son transversales a la vía, las cuales conectan a las cunetas.

La creación tanto de las cunetas como las sangrías en el Tajo Ferrobamba se realizan en forma empírica por la misma necesidad de tomar acciones rápidas cuando las lluvias son torrenciales; sin embargo, este diseño empírico debe mantener relación con el diseño

geométrico dado por el área de planeamiento mina.

Según el diseño geométrico de planeamiento mina, las secciones transversales en las vías de acarreo se muestran en la siguiente figura:

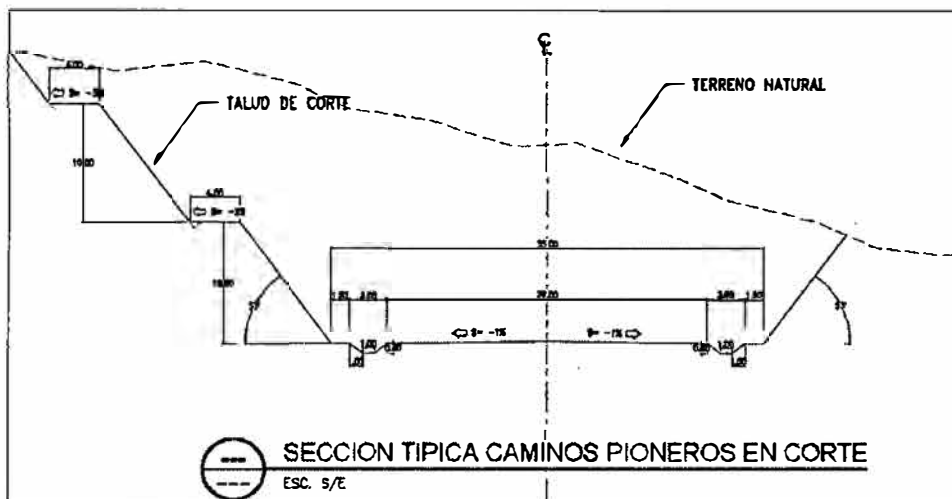


Figura N° 35: Sección transversal de caminos pioneros en corte.

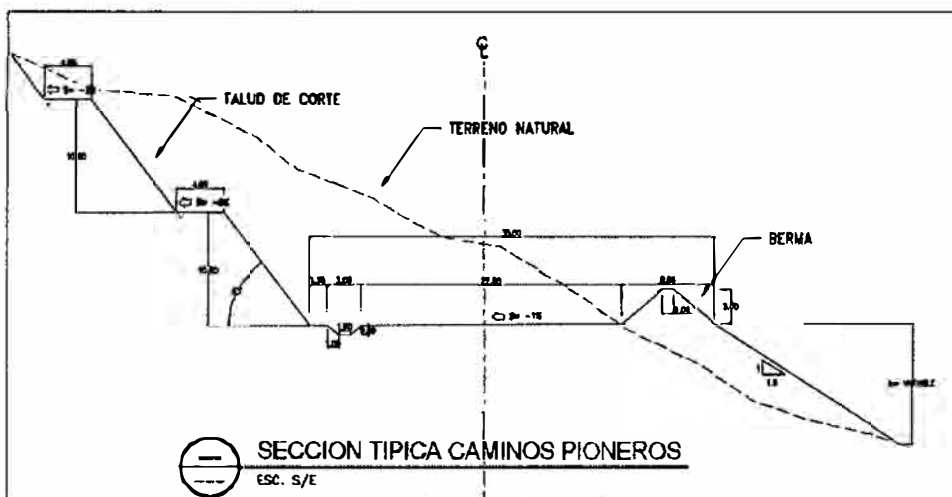


Figura N° 36: Sección transversal de caminos pioneros en corte y relleno.

#### 4.1.1. La limpieza del material regado en las vías del Tajo.

Los camiones mineros komatsu 930E-4SE, que acarrear el material hacia sus destinos en pendientes mayores a 10% generalmente el 30% de camiones derrama el material en las vías de acarreo esto implica que la vía este obstruida por el material derramado. Por lo tanto es importante que las vías este administrada por los equipos auxiliares como son las motoniveladoras, tractores de rueda, este paso es sumamente importante para evitar el deterioro de las vías y la dificultad de transitabilidad del camión de esta manera no se está interrumpido la producción y por ello no se reduce la productividad.



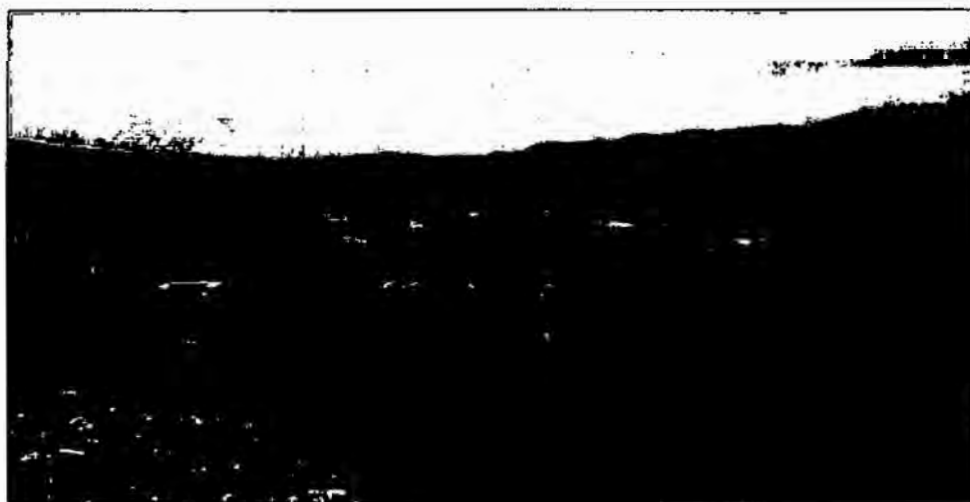
*Fotografía N° 42: Metodología de limpieza de vía con lomo de corvina.*

#### 4.1.2. Control de curvas verticales y horizontales

En la operación el control de curvas es sumamente importante ya que estas reducen considerablemente de productividad, para ello en coordinación con el área de planeamiento mina y el área de operaciones se está tomando un plan de modificación de curvas verticales, que ala actualizad se corrigieron considerablemente las curvas verticales y esto hace que haya un aumento en la productividad, reduciendo el desgaste prematuro de los neumáticos a consecuencia del frenado en las curvas.

#### 4.1.3. Control estricto a los operadores de equipos de carguío

El operador de las palas eléctricas e hidráulicas deben de tener el criterio de que la carga debe ir centrada en la tolva del camión, por tal motivo no se da la posibilidad de caídas de material en las curvas de las vías y la caída de rocas en la descarga en botaderos y sobre todo el desgaste prematuro del neumático. Por ello se da una charla de concientización a los operadores



*Fotografía N° 43: Mal carguío por parte del operador de la pala.*



*Fotografía N° 44: Carga del camión no centrada.*

#### 4.1.4. Control de altura de banco

En toda operación como es el caso del tajo Ferrobamba el control de altura de banco es sumamente importante, ya que este control nos apoya en el óptimo y selectivo carguío, la altura de los bancos deben de ser 15m.

La desventaja de la altura de bancos es:

- ✓ Reducción de la eficiencia de carguío
- ✓ Reducida producción y aumento de los costos, apoyándose de un tractor de orugas para el descreste del banco.
- ✓ Se reduce considerablemente la productividad



*Fotografía N° 45: Altura de banco mayor a 15m y descreste por un tractor de orugas.*

#### 4.1.5. Control de polvo

El polvo intenso en el tajo es resultado de una condición natural puesto que con el continuo y constante acarreo se generan la polución permanente de todo el recorrido de la vía, este control se hace mediante una correcta administración de tanques cisterna para así evitar que el polvo genere alguna condición subestándar y haga parar por falta de visibilidad y baje la productividad.

Por ello hacemos una buena administración de estos 04 tanques cisterna de una capacidad 35000 galones de agua, lo cual son asignados en diferentes tramos para dar condiciones a carguío y acarreo.



*Fotografía N° 46: Regado de vías en patrón de ajedrez.*

#### **4.1.6. Control de pisos de palas y botaderos**

El mal diseño del piso de pala influirá en el tiempo de cuadrado y retroceso de un camión a la pala. Además, al hablar de malos pisos en los botaderos, el tiempo de cuadrado, retroceso y descarga aumentará pronunciadamente y esto generará una menor productividad en los equipos de acarreo, lo cual tenemos actualizados los pisos de pala y botaderos por el área de planeamiento constantemente. Gracias a este control adecuado y llevando un piso a nivel del frente de carguío por parte de la pala, se redujo los tiempos de carguío y los tiempos de cuadrado del camión, llegando a resultados óptimos en la productividad tanto en el equipo de carguío y acarreo.



*Fotografía N° 47: Descarga óptima y fluida de material en el botadero Jahuapaylla.*

#### 4.1.7. Control de frentes de carguío

En el tajo Ferrobamba los problemas con respecto a los frentes de carguío son diversos y lo podemos mencionar de la siguiente manera:

- ✓ Frentes de material duro que llegan a desgastar las uñas
- ✓ Frentes de carguío estrechos que obliguen a la pala a cargar por un solo lado
- ✓ Frentes de minado a cresta de diseño incomodos para el carguío
- ✓ Frentes de minado en rampa con altura subestándar
- ✓ Frentes de material con mala voladura

Todo el problema descrito se resolvió para lograr la mayor productividad efectiva en los equipos de carguío, los tiempos de carguío y de cuadrado de los camiones mejoraron significativamente. Por otro lado en el frente de carguío aumento el factor de llenado del balde y con ello se maximizó la productividad.



*Fotografía N° 48: Óptimo factor de llenado de pala en el ciclo de carguío.*

#### 4.1.8. Buen trato laboral

El buen trato se refiere a establecer relaciones interpersonales y organizacionales basadas en la consideración por los demás y, por sobre todas las cosas, implica reconocer a quien tenemos al frente como “un legítimo otro”, como un semejante. El desempeño organizacional del buen trato promueve la salud emocional del personal de la guardia.

En la guardia 3 el éxito que tiene el equipo a la hora de realizar una tarea, así como también el agrado y el interés de los trabajadores por su trabajo tiene estrecha relación. Es por ello que se puede mencionar los factores que determinan el buen trato laboral:

- ✓ Motivación
- ✓ Compromiso
- ✓ expectativas
- ✓ Actitud
- ✓ Falta de compromiso
- ✓ Falta de liderazgo
- ✓ Incentivos económicos, etc.

También no olvidar que el personal con el cual se trabaja en la minera Las Bambas, hay dependencia directa e indirectamente para la realización de las labores diarias, por ello debemos de darle la importancia y el trato que se merecen para que el trato laboral mejore y con ello también la productividad de la operación minera.

## **4.2. Resultados operativos**

### **4.2.1. Demoras operativas**

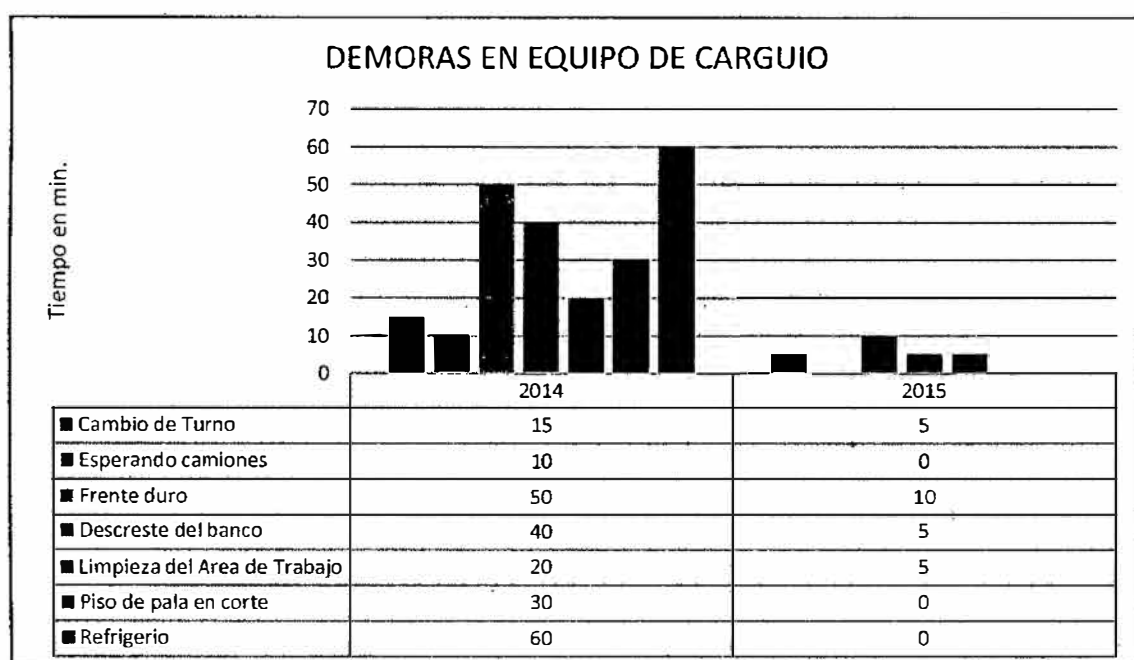
Esta reducción de esperas es fruto del mejor manejo que se tiene en los equipos y el mejor control de las demoras que inciden en la productividad.

- ✓ La causa más común y significativa por demoras en palas esta relaciona con el cambio de turno, frente duro, frentes altos y por lo tanto descreste del banco. Todas estas demoras operativas, se lograron resolver considerablemente.
- ✓ Se halló tiempos de 40 minutos en el acumulado de un turno por espera de combustible, y vías en malas condiciones, lo cual todas estas demoras que inciden en la operación, fueron resueltos y de manera más rápida para lograr la mayor productividad.
- ✓ la demora más común y significada está relacionado al traslado del personal, también se resolvió llegando a no tener demoras por traslado de personal a los equipos de carguío.

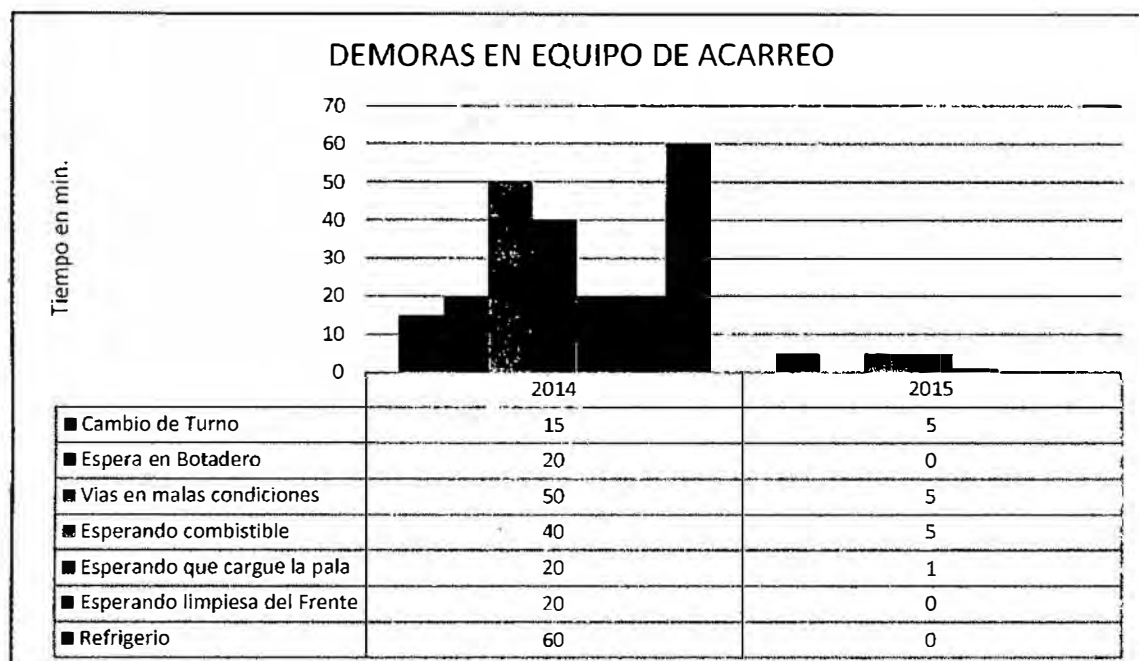
En consecuencia se recomienda:

- ✓ Priorizar el traslado de personal a equipos de carguío y equipos auxiliares de prioridad.

- ✓ Realizar una buena administración de equipos auxiliares en las vías de acarreo.
- ✓ Realizar un seguimiento más exhaustivo y riguroso al correcto llenado de Tablet y tarjetas de control.
- ✓ Evitar la falta de camiones en los distintos equipos de carguío.
- ✓ Realizar una adecuada distribución de equipos de acarreo.



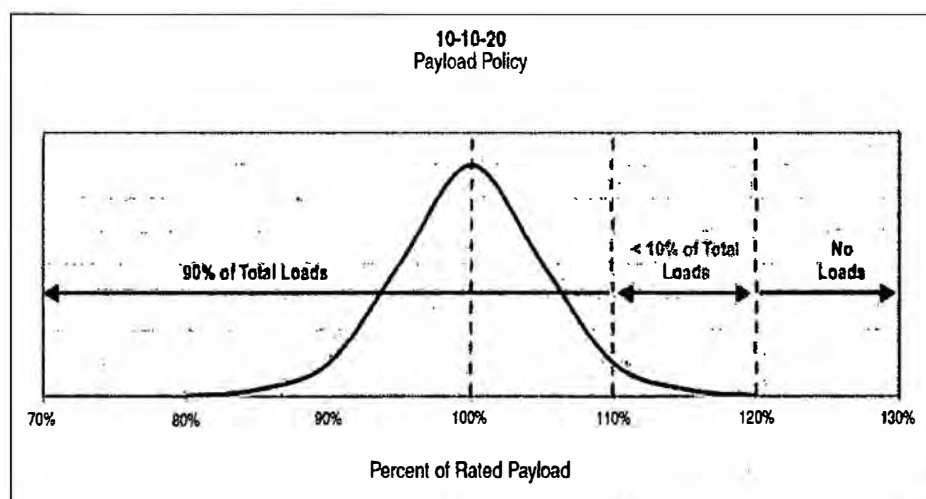
*Figura N° 37: Se demuestra una gran reducción de demoras en los equipos de carguío, con respecto al año 2014.*



*Figura N° 38: Se demuestra una gran reducción de demoras en los equipos de acarreo, con respecto al año 2014.*

#### 4.2.2. Sobrecarga

Diariamente se viene realizando el seguimiento a la cantidad de carga transportada por cada camión en cada viaje, evitando así las posibles sobrecargas que disminuyen la vida útil de los neumáticos y los componentes ocasionados por la sobrecarga.



*Figura N° 39: Diagrama del Payload.*

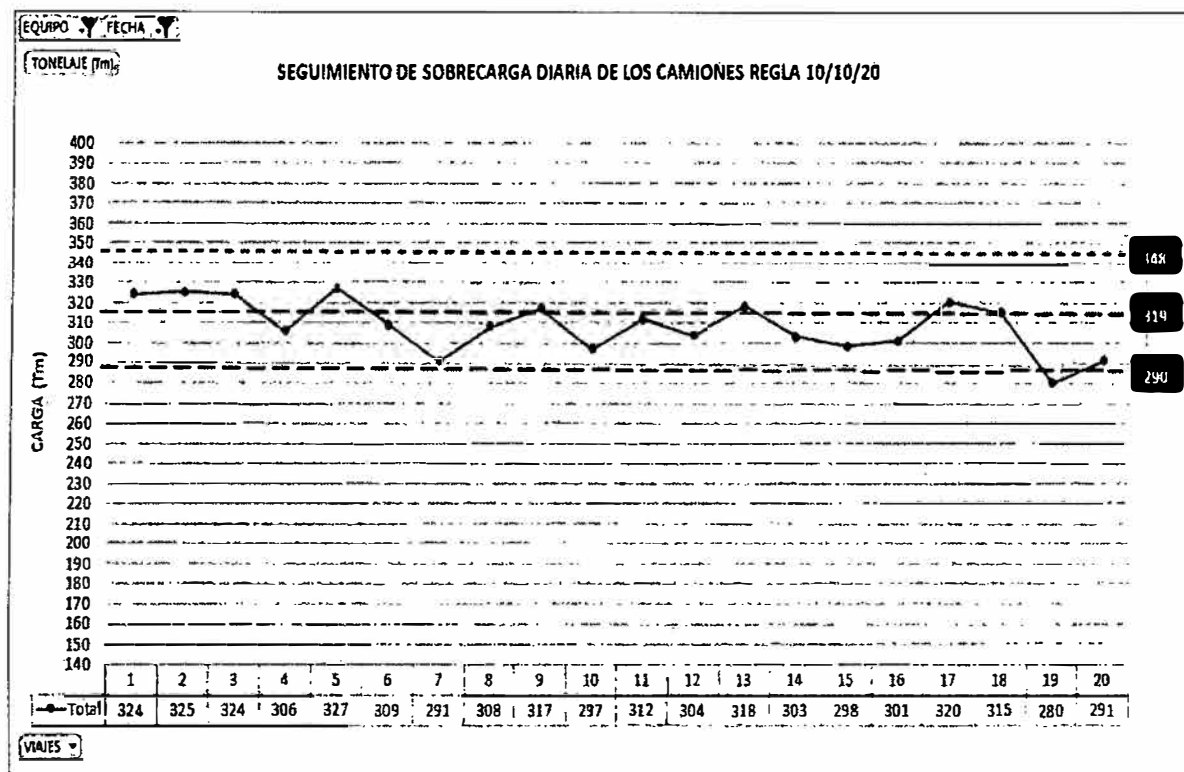


Figura N° 40: Seguimiento de sobrecarga a los camiones.

#### 4.2.3. Producción

En el tajo Ferrobamba gracias a la adecuada administración, mantenimiento de vías y una mejor asignación a la flota y mejor control de las demoras, se obtuvo una mejora en la producción diaria. En el 2014 se tuvo una producción total de 160'462,000 toneladas de material movido, esto da un promedio de producción de 435 000 ton de material movido por día. Desde enero 2015 se ha tenido un incremento en la producción. Entre enero y Mayo se tiene un promedio de producción diaria que asciende a 505 000 toneladas diarias.

En el siguiente cuadro se muestra la producción desde el 2014 hasta el 2015. En el 2015 se estima la producción anual con el producido entre los meses de enero y mayo.

Tabla N° 15: Producción de material movido en los años 2014 y 2015.

PRODUCCION AÑO	PRODUCCION 2014 (Tnx1000)		PRODUCCION 2015 (Tnx1000)	
	DIQUE	BOTADERO	DIQUE	BOTADERO
ENERO	8126	5585	9206	6458
FEBRERO	8024	6256	8956	5598
MARZO	7926	6589	9865	6895
ABRIL	9845	4365	9965	6245
MAYO	7564	5876	8753	6985
JUNIO	9963	6532	9599	5478
JULIO	5896	4365	8965	7854
AGOSTO	7658	4853	9865	7501
SEPTIEMBRE	5053	7024	9089	6418
OCTUBRE	9969	4853	8856	6321
NOVIEMBRE	9856	4670	9798	7510
DICIEMBRE	8989	6985	9095	5320
<b>TOTAL</b>	<b>98869</b>	<b>67953</b>	<b>112012</b>	<b>78583</b>
<b>ACUMULADO TOTAL</b>	<b>166822</b>		<b>190595</b>	
<b>TOTAL PLAN</b>	<b>160462</b>		<b>184595</b>	

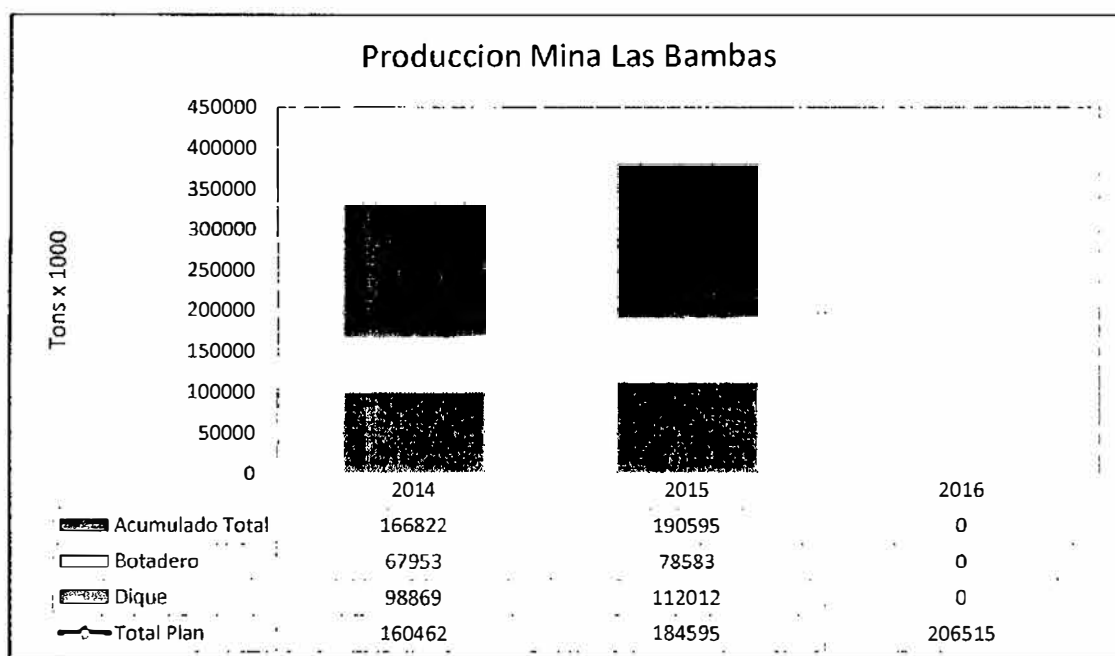


Figura N° 41: Producción del Tajo Ferrobamba.

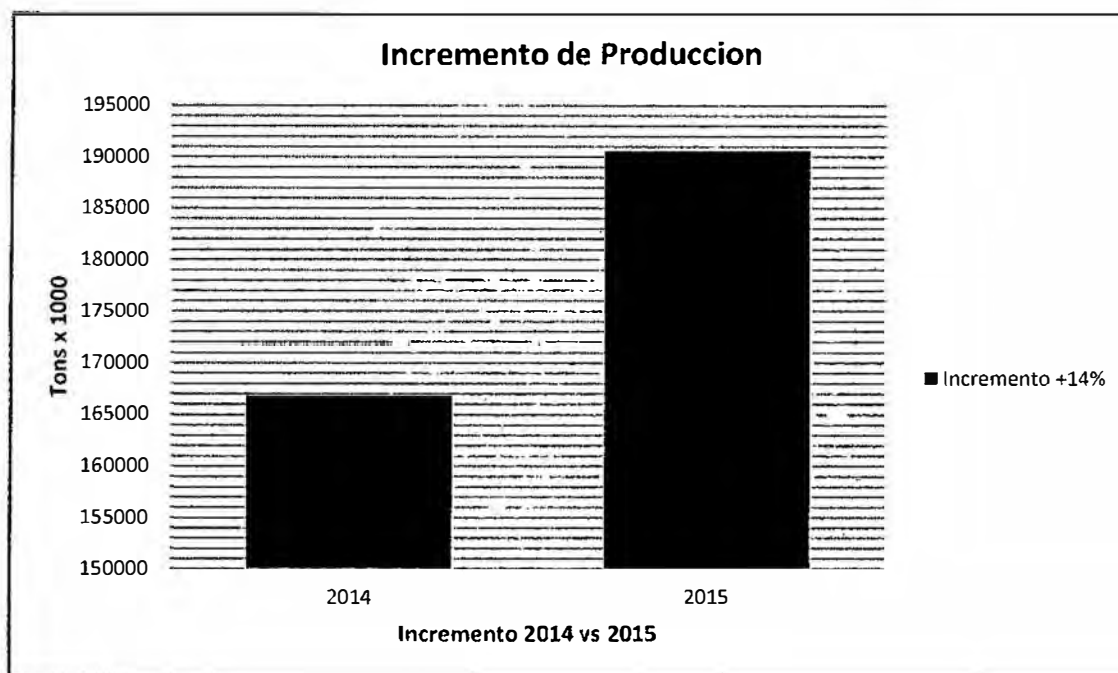


Figura N° 42: Incremento de la Producción del Tajo Ferrobamba con respecto al 2014.

#### 4.2.4. Productividad

El mejor control de frentes de carguío, altura de bancos, control de piso del frente de minado, el mantenimiento de vías y mejor asignación de camiones hacia las palas hizo disminuir los tiempos de espera, tanto de la pala como del camión, estos factores que inciden directamente en el aumento de la productividad efectiva del equipo.

En función que se entienda que la correcta administración de los factores que inciden en la productividad es básicamente para disminuir las esperas de los equipos como producto de una buena asignación dinámica en los diferentes equipos de carguío.

La mejora de la performance conlleva a aumentar la productividad afectiva de los equipos de carguío y acarreo.

La productividad también llamado rendimiento, expresa las toneladas removidas por hora del equipo en mención. Este índice es el más importante, porque demuestra que los equipos son mejor distribuidos logrando un mejor rendimiento.

En resumen se puede apreciar un crecimiento en los rendimientos de los equipos de carguío y acarreo, logrando como consecuencia una mejor producción.

Tabla N° 16: Rendimiento de equipos de carguío y acarreo.

RENDIMIENTO DE EQUIPOS (tn/hr)			
Equipo	2014	2015	Crecimiento
P&H 4100 XPC	2090	2275	8.9%
Cat 7495 HR	2025	2180	7.7%
Cat 6060 FS	2030	2170	6.9%
LT 2350	2010	2150	7.0%
Komatsu 930E-4SE	360	426.91	18.6%

#### 4.2.4.1. Rendimiento de palas

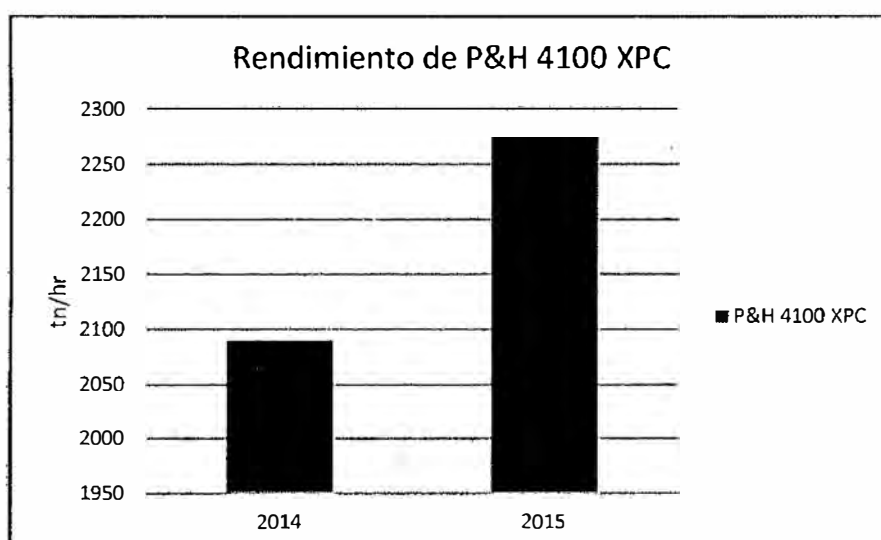
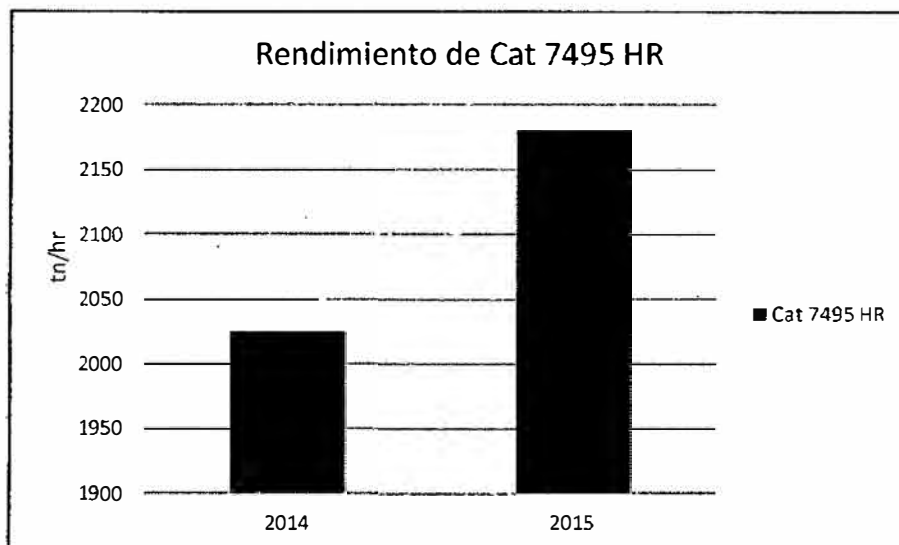
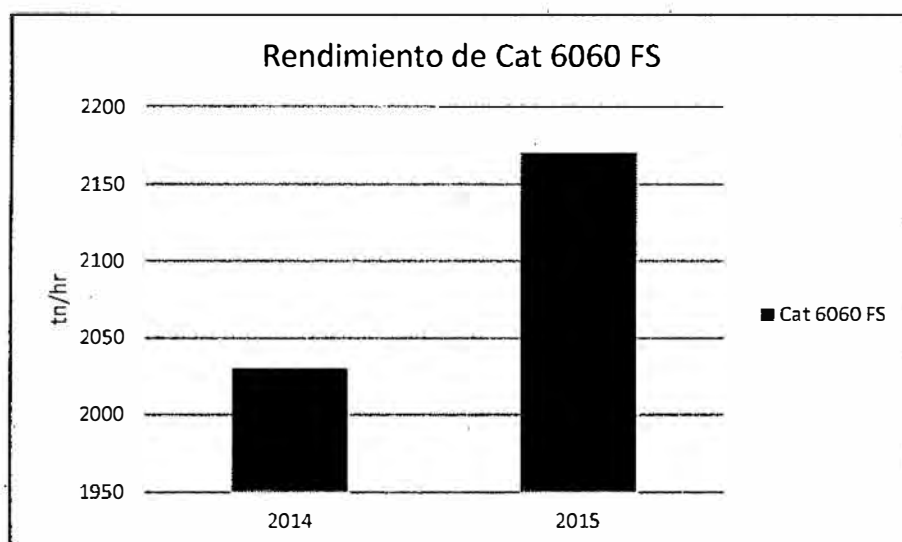


Figura N° 43: Incremento en el rendimiento de la Pala P&H 4100.



*Figura N° 44: Incremento en el rendimiento de la Pala CAT 7495 HR.*



*Figura N° 45: Incremento en el rendimiento de la pala CAT 6060FS.*

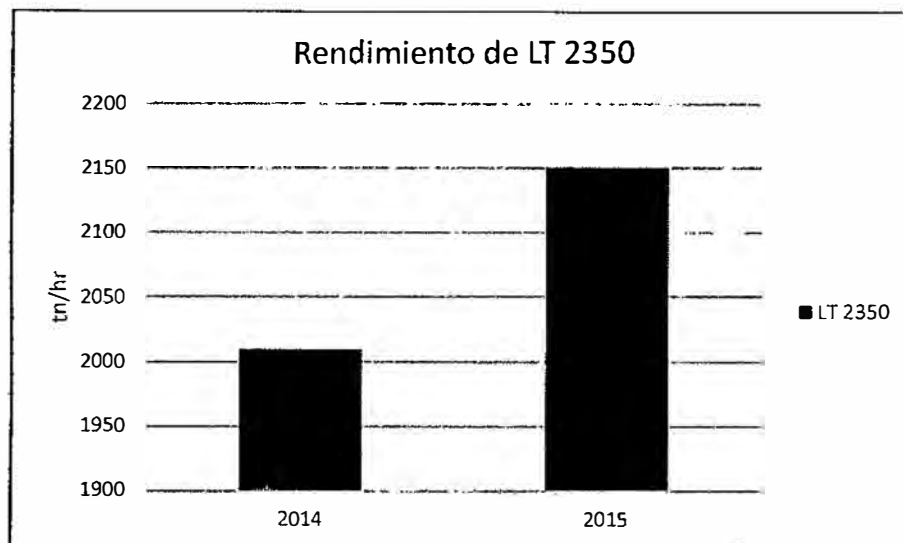


Figura N° 46: Incremento en el rendimiento del Cargador LT 2350.

#### 4.2.4.2. Rendimiento de Camiones

En el siguiente grafico se muestra un aumento en el rendimiento del camión Komatsu 930E-4SE.

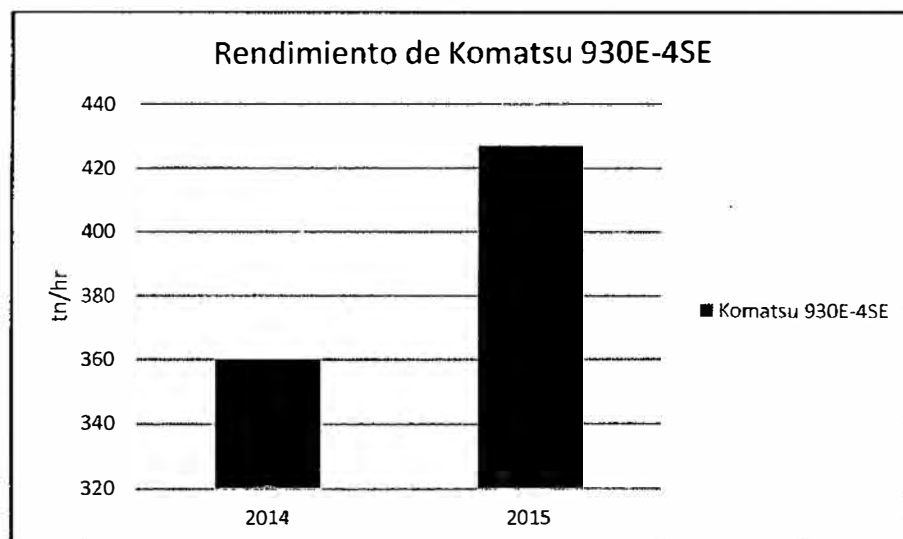


Figura N° 47: Incremento en el rendimiento del camión Komatsu 930E-4SE.

#### 4.2.5. Disponibilidad operativa

Este índice de rendimiento es importante porque es clave para determinar la causa de una baja en la producción, ya sea porque algún equipo de carguío que dejó de funcionar, y se tuvo que parar parte de la producción.

En resumen se puede apreciar un crecimiento en la Disponibilidad Operativa de los equipos de carguío y acarreo, logrando como consecuencia una mejora en la productividad.

Tabla N° 17: Disponibilidad de equipos de carguío y acarreo.

<b>DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS (%)</b>			
<b>Equipo</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>Crecimiento</b>
<b>P&amp;H 4100 XPC</b>	89.56%	95.00%	6.1%
<b>Cat 7495 HR</b>	87.23%	91.36%	4.7%
<b>Cat 6060 FS</b>	86.25%	90.86%	5.3%
<b>LT 2350</b>	88.63%	94.09%	6.2%
<b>Komatsu 930E-4SE</b>	88.63%	93.55%	5.5%

Figura N° 48: Sistema de control mina de demoras operativas rendimiento, disponibilidad.

#### 4.2.5.1. Disponibilidad operativa de palas

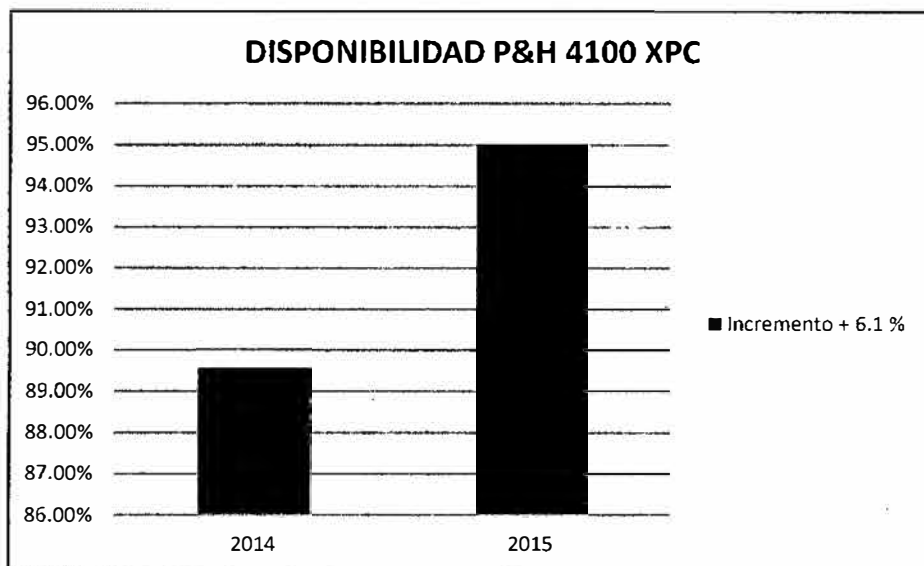


Figura N° 49: Incremento en la Disponibilidad Operativa de la Pala P&H 4100.

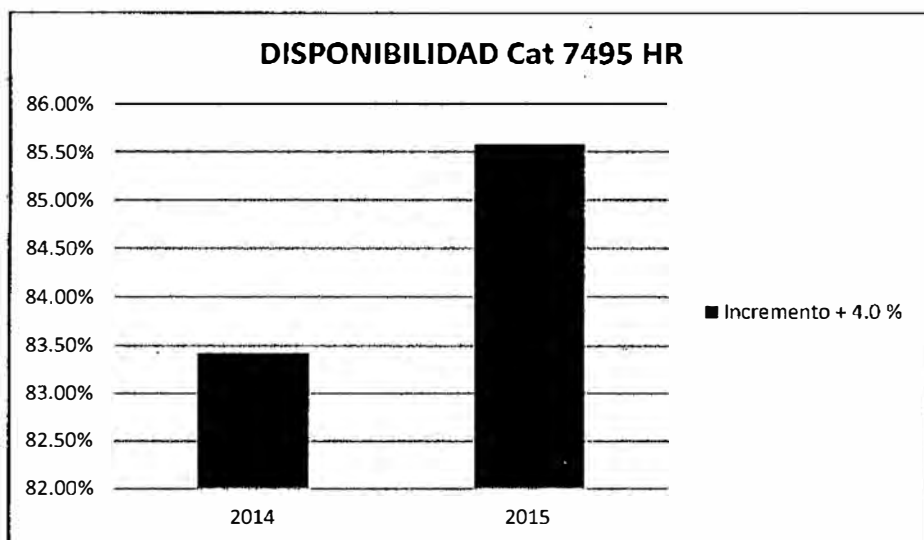
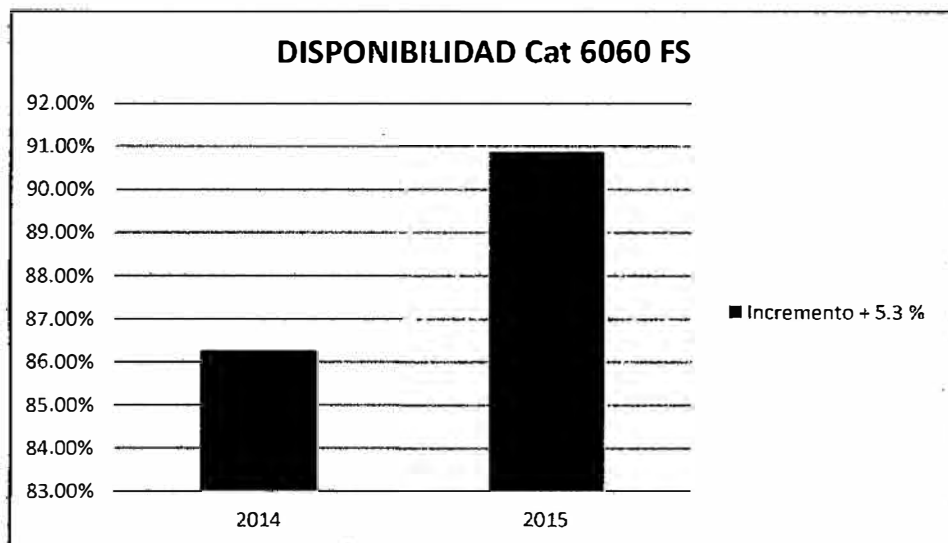
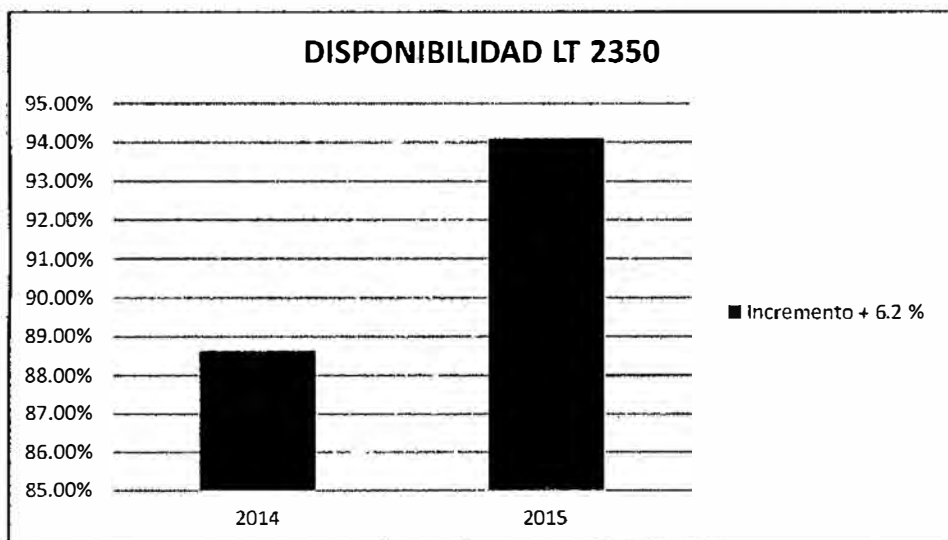


Figura N° 50: Incremento en la Disponibilidad Operativa de la Pala CAT 7495 HR.



*Figura N° 51: Incremento en la Disponibilidad Operativa de la Pala CAT 6060FS.*



*Figura N° 52: Incremento en la Disponibilidad Operativa del cargador LT 2350.*

#### 4.2.5.2. Disponibilidad operativa de Camiones

En el siguiente gráfico se muestra un aumento en la Disponibilidad Operativa del camión Komatsu 830E-4SE.

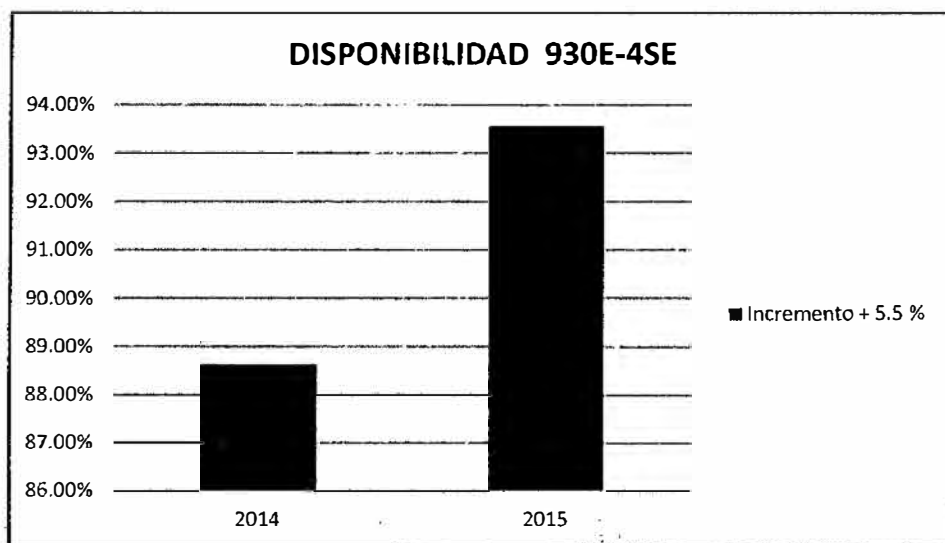


Figura N° 53: Incremento en la Disponibilidad Operativa del camión Komatsu 930E-4SE.

#### 4.2.6. Utilización efectiva

La utilización efectiva explica como los equipos de carguío incrementan su rendimiento, obteniendo más toneladas/hora.

Los tiempos que componen el porcentaje de utilización efectiva dentro de las tareas de producción son las siguientes:

**Equipo de carguío:** Básicamente son las cargas a los equipos de acarreo, movimiento por cambio de frente o algún trabajo en el frente.

**Equipo de acarreo:** Carga de equipo, acarreo, maniobra para descarga, descarga de material, retorno a equipo de carguío y maniobra para ingreso a carga en el equipo de carguío.

Todos los demás tiempos no pertenecen al ciclo de carguío y acarreo, que se dan al realizar el movimiento del material, son los tiempos no productivos como las esperas en el equipo de carguío o cuando el equipo de carguío no tiene equipo de acarreo.

Tabla N° 18: Utilización del equipo.

UTILIZACIÓN DE EQUIPOS (%)			
Equipo	2014	2015	Crecimiento
P&H 4100 XPC	81.50%	89.58%	9.9%
Cat 7495 HR	80.53%	83.33%	3.5%
Cat 6060 FS	85.20%	87.50%	2.7%
LT 2350	86.48%	89.58%	3.6%
Komatsu 930E-4SE	88.63%	91.67%	3.4%

#### 4.2.6.1. Utilización efectiva de palas

En los siguientes gráficos se muestran un aumento en la utilización efectiva en equipos de carguío.

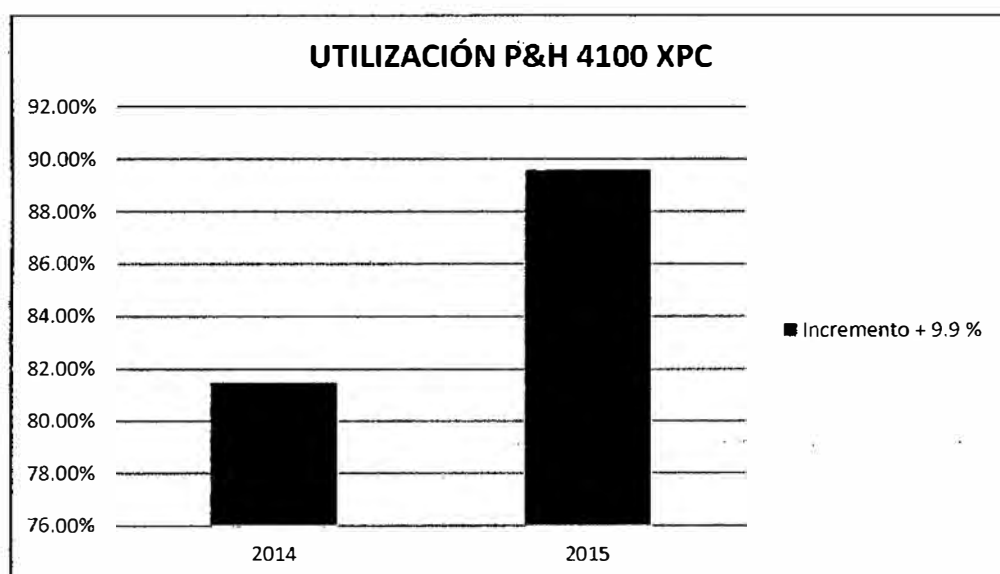


Figura N° 54: Incremento en la utilización efectiva de la Pala P&H 4100.

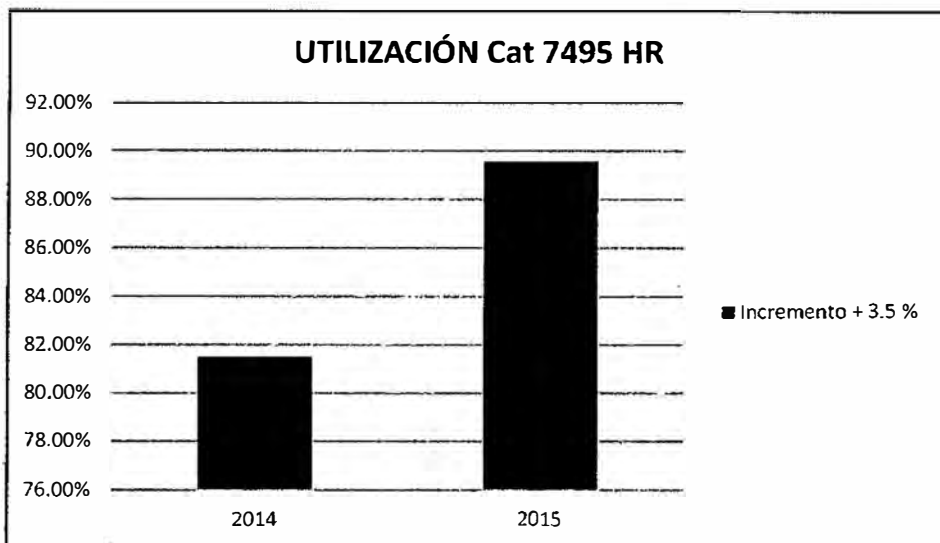


Figura N° 55: Incremento en la utilización efectiva de la Pala Cat 7495 HR.

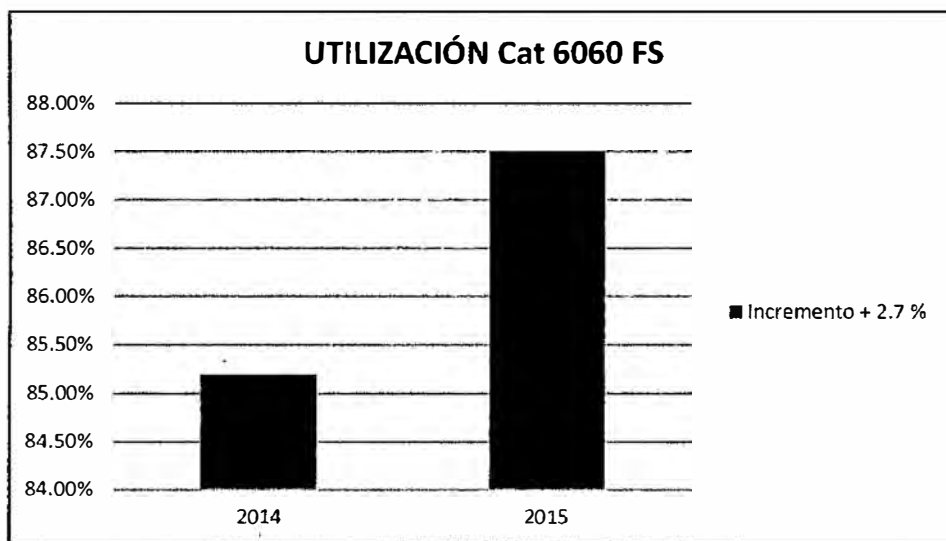
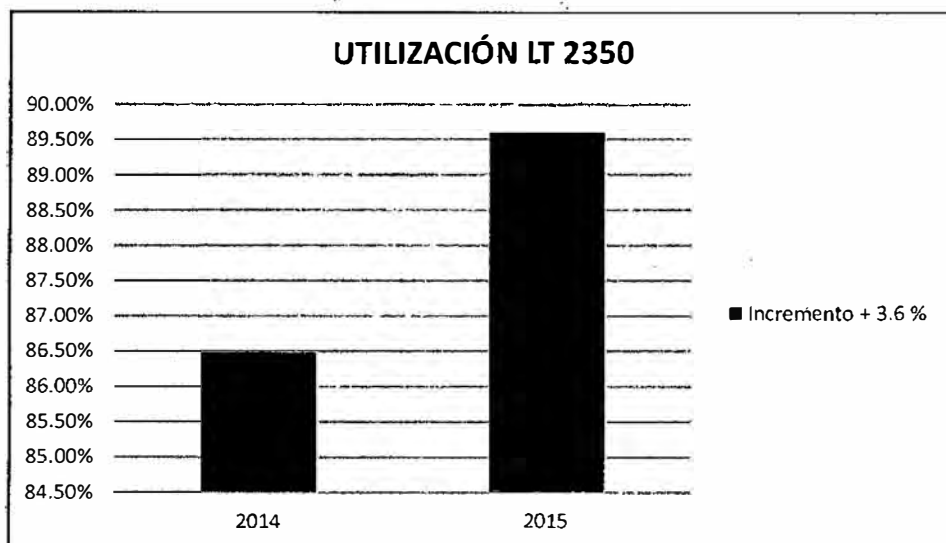


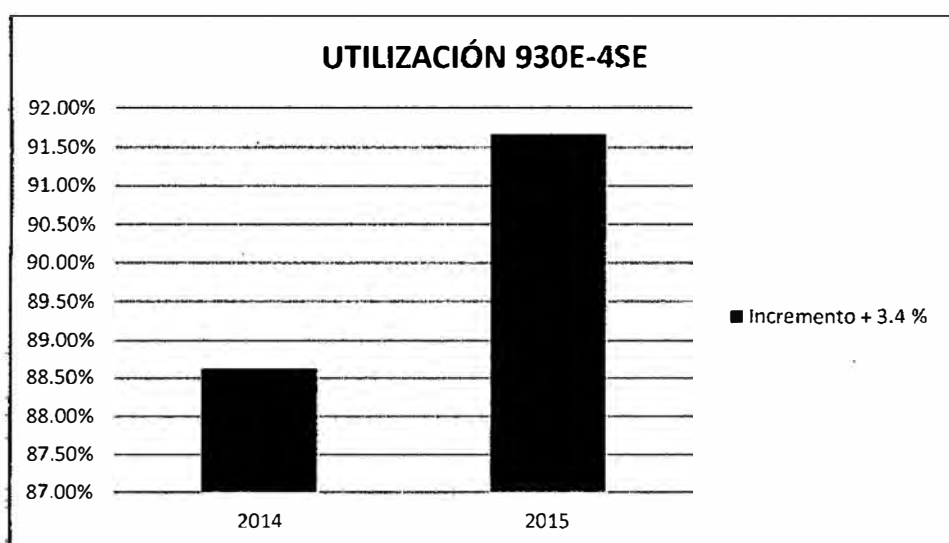
Figura N° 56: Incremento en la utilización efectiva de la Pala Cat 6060FS.



*Figura N° 57: Incremento en la utilización efectiva del cargador LT 2350.*

#### 4.2.6.2. Utilización efectiva de camiones

En el siguiente grafico se muestra un incremento en la utilización del equipo de acarreo.



*Figura N° 58: Incremento en la utilización efectiva del camión komatsu 930E-4SE.*

#### 4.2.7. Justificación económica por tonelada



Figura N° 59: Costo de capital.

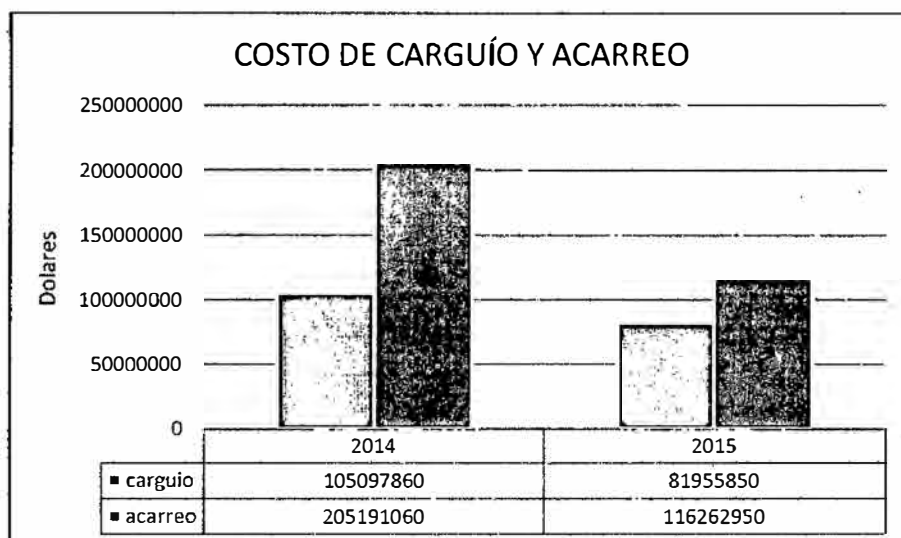


Figura N° 60: Comparación de costo de carguío y acarreo.

Tabla N° 19: Costo de mina por tonelada.

Costo de mina por tonelada		
	2014	2015
<b>Real</b>	1.51	1.42
<b>Plan</b>	1.38	1.89
<b>Incremento</b>	-0.13	0.47

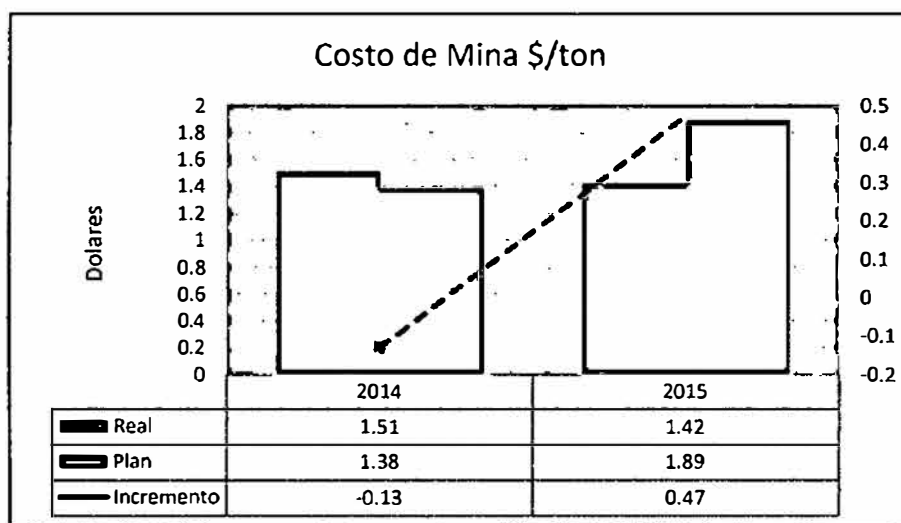


Figura N° 61: Costo total de mina por tonelada en dólares del material.

Como resultados se tiene que la producción se vio incrementada en 14%. Estos resultados nos arrojan una reducción en el costo de minado planificado para el año 2015. El costo planificado por tonelada minada fue de 1.89 \$/tn y debido a estos resultados tenemos un nuevo costo de minado que es de 1.42 \$/tn el cual significa una reducción en los costos de minado de casi 648 569 mil dólares.

En conclusión se ve la diferencia de productividad en el ciclo de carguío y acarreo, mediante el control de factores que inciden en la operación del tajo Ferrobamba, Las Bambas 2015.

Finalmente gracias a un adecuado control de equipos, frentes de carguío, descarga en botaderos y corrigiendo las demoras operativas que inciden en la productividad, y analizando las pérdidas de productividad en años anteriores logramos el objetivo final de la presente tesis denominada **productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas 2015**, lo cual lo detallamos en los gráficos anteriores.

## CONCLUSIONES

1. Gracias a un adecuado y estricto control en las demoras operativas que inciden en la operación se obtuvo una mejora en la disponibilidad, rendimiento y utilización de los equipos de carguío y acarreo. Con respecto a Palas se mejoró en 5% la disponibilidad operativa, en 4% la utilización efectiva y 2.6% en rendimiento promedio. En camiones mejoró en 9% la disponibilidad operativa, en 3% la utilización efectiva y 4.2% el rendimiento en promedio con respecto año anterior.
2. El correcto mantenimiento de vías resulto beneficioso para la mina Las Bambas debido a que mejoro este año, se tiene que la producción se vio incrementada en 14% y esto se refleja en una reducción del costo de minado por tonelada planificado para el 2015 de 1.89 \$/tn a un coto total de 1.42\$/tn hasta fines de diciembre.
3. Con respecto a los riesgos presentes en la operación se tomaron medidas altamente estrictas y correctivas, determinando que un operador tiene la facultad de no realizar el trabajo asignado por el supervisor del área si no tiene las condiciones de seguridad.

## RECOMENDACIONES

1. El área de perforación y voladura es responsable de la mala fragmentación del frente de minado, es por ello las paradas y demoras por frente duro, se recomienda al área respectiva de verificar sus parámetros de perforación y voladura.
2. Se recomienda darles mayor importancia al mantenimiento de vías, ya que este proceso en la operación es de suma importancia e incentivar a los operadores de equipos auxiliares ya de ellos depende la mayor productividad de la operación.
3. Para mejorar el tiempo de carguío de las palas eléctricas P&H 4100XPC, a los camiones 930E-4SE se debe realizar un control exhaustivo del piso de las palas y ser administrado correctamente con un tractor de ruedas para la limpieza del piso de pala.
4. En cuanto al área de mantenimiento, cumplir con el cronograma establecido ya que las paradas por “esperando mantenimiento” son cada vez más consecutivas, y eso conlleva una baja productividad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson T. (1983). Control de polvo en caminos. Institute of Mining and Metallurgy Surface Mining Symposium
- Austroads. (1994). Road safety audit. National Association of Road Transport and Transport Authorities of Australia. Editorial Sydney. Australia
- Baldeon Z. (2011). Gestión en las Operaciones de Transporte y Acarreo. Tesis de pregrado. UNI. Lima
- Caterpillar Global Mining Haul Road Design and Management. (2010)
- CATERPILLAR. (2009). A Reference Guide to Mining Machine Applications. Field III Guide. AEXQ0030-02. Peoria, Ill., USA
- Chepillo N. & Chepillo J. (2001). Mejoramiento de caminos y accesos. Escondida. USACH. Chile
- Cruzat A. (2006). Diseño de flotas-carguío y transporte. Chile. Universidad la serena
- Hustrulid & Hutcha. (1987). Construcción de caminos, planificación y diseño de tajo abierto.
- Madariaga P. (2010). Ejercicios de carguío y transporte. Chile. Universidad la serena
- Maruri D. (2015). Informe de práctica pre profesional. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Apurímac
- Minera Las Bambas. (2015). PETS carguío y acarreo. Ferrobamba. Operaciones mina
- Navarro R. (2013). Diseño de una controlador neurodifuso para la conducción autónoma de un camión minero de dos cuerpos. Lima. Universidad católica del Perú
- RJ Thompson preng, meaut. (2012). El diseño, construcción y mantenimiento de los caminos de la mina. Chile. Versión 5.
- Saldaña D.(2013). En minerías superficiales. Lima. UNI
- Tamaya consulting. (2012). Diseño y planificación proyecto mina macumba. Chile.

# ANEXOS



### Distancias de frenado del camión

Tiempo de reacción del conductor y activación del freno (s)

Tabla N° 20. Tiempo de reacción del frenado.

Peso del vehículo, (Kg)	Tiempo de reacción del freno T1 (Seg.)
Menor a 45,359.24	0.5
45,359.24 – 90,718.48	1.5
90,718.48 – 181,436.96	2.75
Mayor a 181,436.96	4.5

Tabla N° 21: Tiempo de frenado del camión.

Pendiente (%)	Angulo de inclinación (°)	velocidad (km/h)	velocidad (m/s)	Distancia de frenado SD(m)
6.0	3.43	20	5.56	45.22
6.0	3.43	30	8.33	69.03
6.0	3.43	40	11.11	96.11
6.0	3.43	45	12.50	110.88
6.5	3.72	20	5.56	46.81
6.5	3.72	30	8.33	71.12
6.5	3.72	40	11.11	98.77
6.5	3.72	45	12.50	113.86
7.0	4.00	20	5.56	48.46
7.0	4.00	30	8.33	73.29
7.0	4.00	40	11.11	101.55
7.0	4.00	45	12.50	116.95
7.5	4.29	20	5.56	50.18
7.5	4.29	30	8.33	75.57
7.5	4.29	40	11.11	104.44
7.5	4.29	45	12.50	120.19
8.0	4.57	20	5.56	51.98
8.0	4.57	30	8.33	77.94
8.0	4.57	40	11.11	107.46
8.0	4.57	45	12.50	123.56
8.5	4.86	20	5.56	53.86
8.5	4.86	30	8.33	80.41
8.5	4.86	40	11.11	110.62
8.5	4.86	45	12.50	127.09
9.0	5.14	20	5.56	55.83
9.0	5.14	30	8.33	83.00
9.0	5.14	40	11.11	113.91
9.0	5.14	45	12.50	130.77
9.5	5.43	20	5.56	57.89
9.5	5.43	30	8.33	85.71
9.5	5.43	40	11.11	117.37
9.5	5.43	45	12.50	134.63

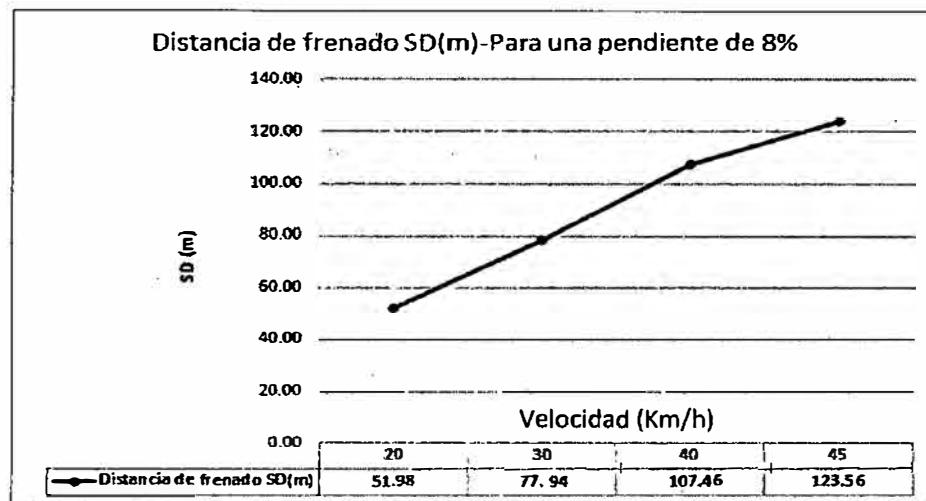


Figura N° 62: Distancia de frenado en función a la velocidad para una pendiente de 8% aplicado en las vías de acarreo de las Bambas.

### Diseño de alineamiento verticales de la vía

Este diseño de alineamiento de curvas verticales es muy importantes ya que depende de estos la fluidez de los equipos de acarreo

Las pendientes deben oscilar entre 0.5% a 10% para mantener la fluidez del ciclo de producción. De esta manera la eficiencia mecánica de los camiones de carguío considerablemente mayor.

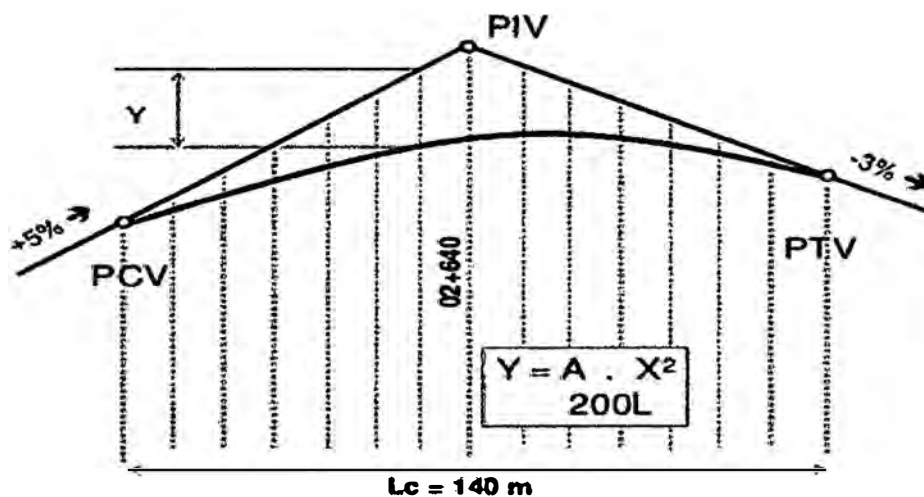


Figura N° 63: Alineamiento de curvas verticales.

### Peralte de la curvas

Tabla N° 22: Rangos típicos de peralte.

RANGOS TÍPICOS DE PERALTE BASADOS EN LA VELOCIDAD Y EL RADIO DE CURVATURA									
Radio de curva (m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
50	0.035	0.06	0.09						
75	0.025	0.045	0.07	0.09					
10	0.02	0.035	0.05	0.075	0.09				
150	0.02	0.025	0.035	0.05	0.065	0.085			
200	0.02	0.02	0.025	0.035	0.05	0.065	0.08		
300	0.02	0.02	0.02	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065	0.08
400	0.02	0.02	0.02	0.02	0.025	0.035	0.04	0.05	0.06
500	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.025	0.03	0.04	0.05

### DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS EN LA MINA LAS BAMBAS, TAJO FERROBAMBA

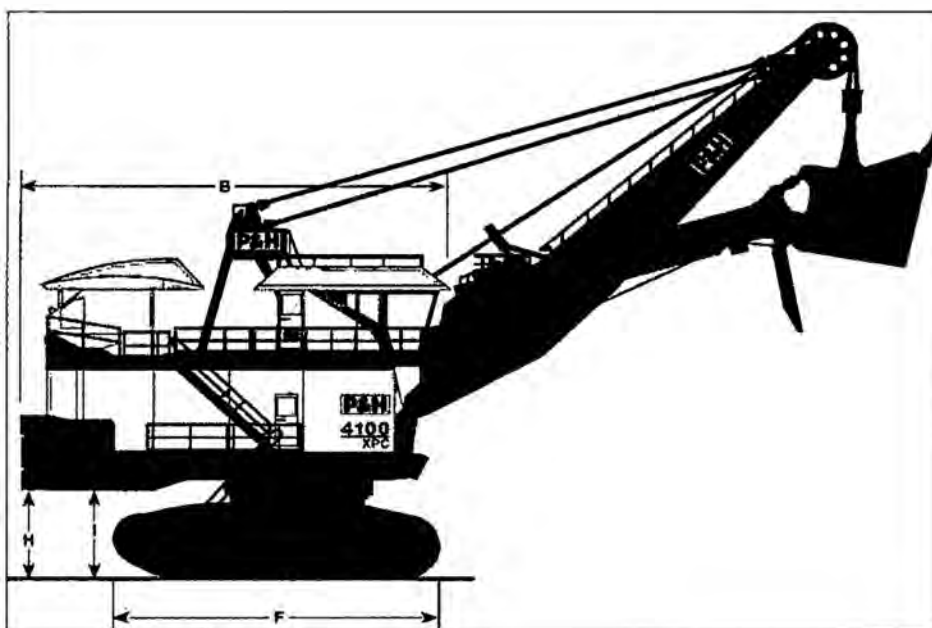


Figura N° 64: Pala eléctrica P&H 4100XPC.

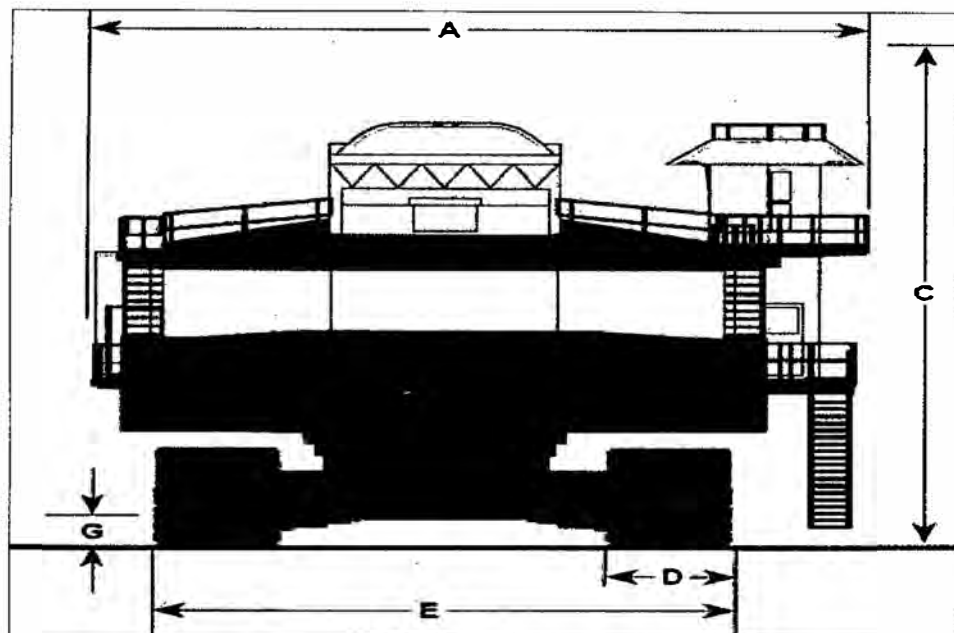


Figura N° 65: Ancho y altura de la sala de máquinas y contrapeso.

Tabla N° 23: Dimensiones de la pala eléctrica P&H 4100XPC.

NUMERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DISTANCIA (M)
A	Ancho	14.4
B	longitud	15.0
C	Altura de la pala	14.7
D	Ancho de las zapatas de la oruga	22.10
E	Distancia entre ejes	10.5
F	Longitud de zapata	11.7
G	Altura del contrapeso lateral	0.7
H	Altura del contrapeso trasero	3.6
I	Altura del contrapeso trasero	3.6

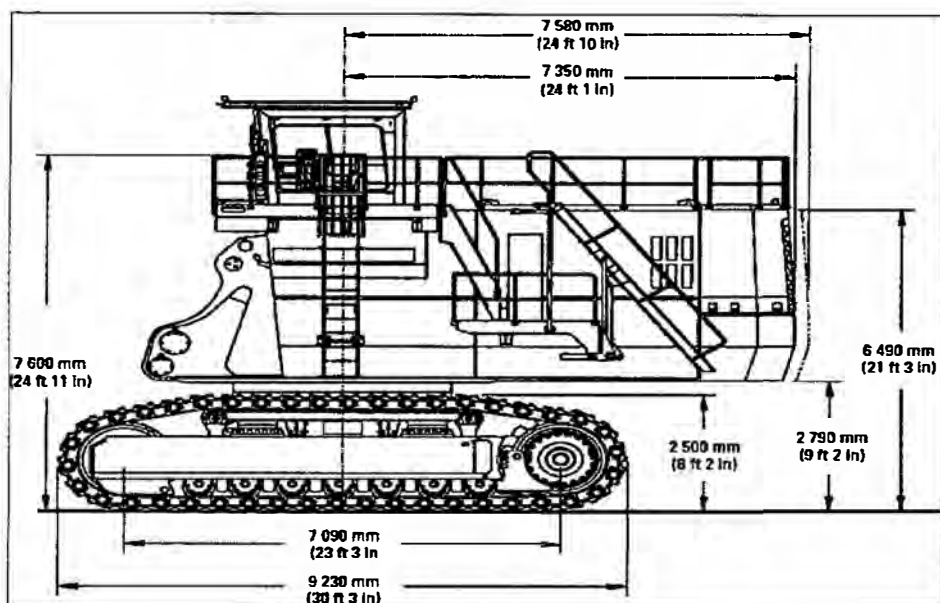


Figura N° 66: Pala hidráulica CAT 6060FS.

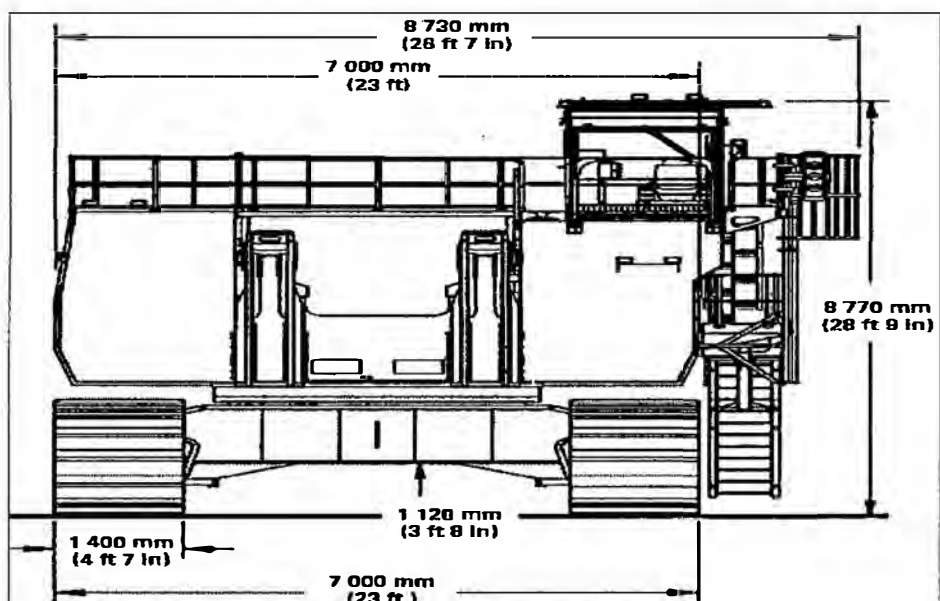
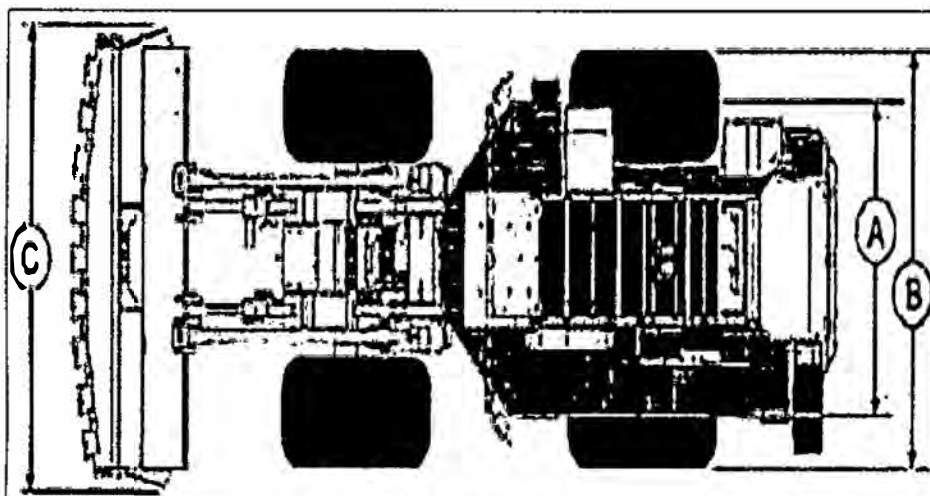
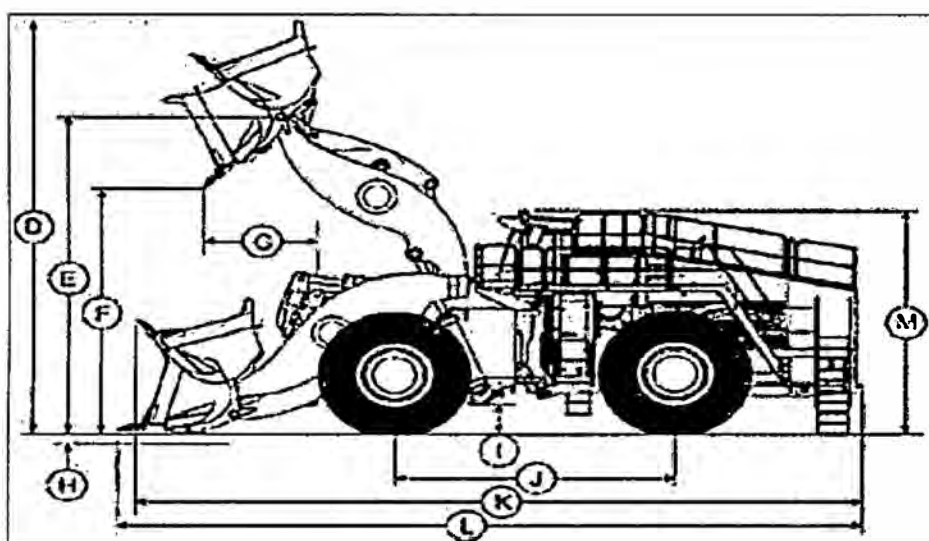


Figura N° 67: Ancho y altura de la sala de máquinas y contrapeso.



*Figura N° 68: Cargador frontal Letourneau LT2350.*



*Figura N° 69: Vista frontal del cargador LT 2350.*

Tabla N° 24: Dimensiones del LT 2350.

NUMERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DISTANCIA (M)
A	Ancho del contrapeso	4.45
B	Ancho desde afuera de las llantas	5.77
C	Ancho de la cuchara	7.44
D	Altura total de levante del cucharón	11.73
E	Altura del pin de levante	9.14
F	Altura de descarga	7.06
G	Distancia de alcance de descarga	2.79
H	Profundidad de excavación	0.25
I	Distancia del piso con cucharón cargado	0.62
J	Distancia entre ejes	6.48
K	Longitud del cargador con el cucharón levantado	17.27
L	Longitud con el cucharón en el piso	17.45
M	Altura de la cabina desde el piso	6.05

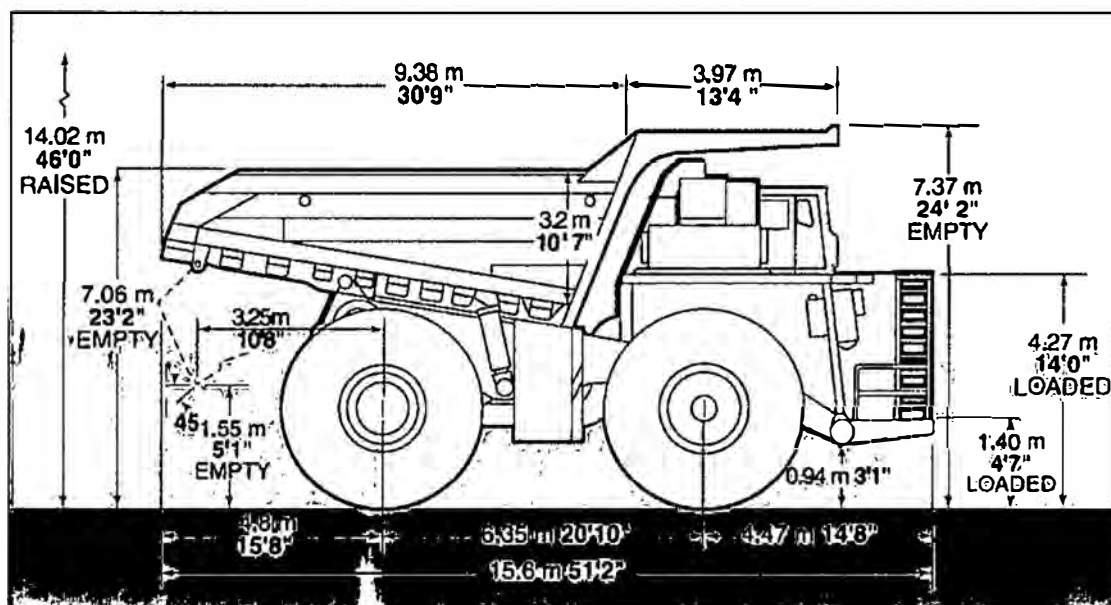


Figura N° 70: Camión minero Komatsu 930E-4SE.