

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



“CÁLCULO DE FLOTA DE CAMIONES PARA EL TRANSPORTE DE RELAVE EN CORICANCHA”

**INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR
EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO DE MINAS

**ELABORADO POR:
SEGUNDO EMILIO TIRADO QUIROZ**

**ASESOR:
ING. ENRIQUE RUIZ GONZALES**

**LIMA - PERÚ
2014**

AGRADECIMIENTO

A los profesores de la Facultad de Ingeniería
Geológica Minera y Metalúrgica de la Universidad
Nacional de Ingeniería por sus enseñanzas teóricas y
al personal obrero de las diferentes unidades mineras
quienes me brindaron sus valiosas enseñanzas
prácticas

DEDICATORIA

A mis padres por su incansable apoyo

RESUMEN

La relavera de Tamboraque de Nyrstar Coricancha S.A se reubicará porque está sobrecargada y se encuentra en la zona sísmica 3 de alto riesgo, presenta vibración al paso del ferrocarril, la presencia de lluvias en la temporada de invierno desestabilizan la relavera, además se ubica a cien metros del caudal del río Rímac y un deslizamiento de la relavera causaría un gran impacto ambiental contaminando el río con los metales arsénico, hierro, azufre, plomo, zinc y cobre, Por estas razones es necesario trasladar 550 000 toneladas de relave con un plazo máximo dado por Osinergmin de 28 meses contados a partir de Abril del 2013. El presente trabajo tiene como objetivo calcular la cantidad de camiones para el traslado de relave desde Tamboraque hasta la nueva relavera de Chinchán que se encuentra ubicada a 30 kilómetros al norte vía la carretera central.

Como la planta continua sus operaciones generará otras 500 000 toneladas de relave que serán trasladadas directamente hacia Chinchán. Actualmente el traslado de relave se realiza en camiones de 15 m³ y en vagones de 50 toneladas de capacidad de Ferrovías Central Andina.

Para cumplir con el requerimiento de Osinergmin se calculó que se necesitan siete camiones para el transporte de relave, y en el caso de que prescindamos de los vagones de ferrovías necesitaríamos nueve camiones y a menor costo.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I : GEOGRAFÍA	14
1.1 UBICACIÓN	14
1.2 ACCESO	18
1.2.1 Vía terrestre	18
1.2.2 Vía férrea	18
1.3 GEOGRAFÍA	18
CAPÍTULO II : IMPACTO AMBIENTAL	19
2.1 TAMBORAQUE	19
2.1.1 Planta de Tamboraque	20
2.1.2 Relavera de Tamboraque	24
2.1.3 Transporte de relave en camiones	27
2.1.4 Transporte de relave en vagones	27
2.2 RELAVERA DE CHINCHAN	27
CAPÍTULO III : PLANTA	29
3.1 PLANTA TAMBORAQUE	29
3.2 BIOX®	31
3.3 EL PROCESO BIOX®	32
3.4 PROCESO DE BIO-LIXIVIACIÓN EN CORICANCHA	35
3.4.1 Ventajas del proceso Biox	¡Error! Marcador no definido.
3.5 RELAVE DE FILTROS	37
CAPÍTULO IV : RELAVERA DE TAMBORAQUE	38
4.1 DESCRIPCIÓN	38
4.2 DESESTABILIZACIÓN DE LA RELAVERA	38
4.3 CAUSAS DE UN PROBABLE DESLIZAMIENTO	40
4.4 CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MATUCANA (PABLO BONER)	44

4.5	MEDIDAS TOMADAS POR EL GOBIERNO	44
CAPÍTULO V : RELAVERA DE CHINCHAN		47
5.1	DESCRIPCIÓN	47
5.2	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL UTILIZADO	48
5.3	COMPACTACIÓN DEL RELAVE	48
CAPÍTULO VI : PLAN DE TRANSPORTE DE RELAVE DESDE TAMBORAQUE HACIA CHINCHAN		50
6.1	PLAZO	50
6.2	CANTIDAD DE RELAVE A TRANSPORTAR	51
6.2.1	Relavera de Tamboraque	51
6.2.2	Planta de Tamboraque	54
6.3	CÁLCULO DE TONELADAS DIARIAS A TRANSPORTAR	54
CAPÍTULO VII : SISTEMA DE TRANSPORTE DE RELAVE		56
7.1	CARRETERA CENTRAL	57
7.1.1	Camiones	57
7.1.2	Ruta de recorrido de los camiones	58
7.1.3	Capacidad de los camiones	60
7.2	FERROCARRIL CENTRAL	61
7.2.1	Carguío de vagones	61
7.2.2	Transporte por ferrocarril Tamboraque - Chinchan	62
7.2.3	Tonelaje transportado por ferrovías	63
7.3	ESTUDIO DE LOS CICLOS DE LOS CAMIONES	64
7.3.1	Rango de horario de los ciclos	64
7.3.2	Ciclos por día	65
CAPÍTULO VIII : RELAVE TRANSPORTADO DURANTE LOS MESES DE ABRIL Y MAYO DEL 2013		68
8.1	RELAVE TRANSPORTADO EN CAMIONES	68
8.2	RELAVE TRANSPORTADO EN VAGONES	68
8.3	RESUMEN DEL RELAVE TRANSPORTADO	71
CAPÍTULO IX : SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE RELAVE EN CAMIONES		72
9.1	ESTUDIO DE TIEMPOS DE LOS CAMIONES POR CICLO	72
9.1.1	Salida de camiones del estacionamiento	72

9.1.2 Carguío de camiones	73
9.1.3 Tramo de Tamboraque hacia Chinchán	74
9.1.4 Descarga de camiones	74
9.1.5 Tramo de Chinchán hacia Tamboraque	76
9.2 SIMULACIÓN	76
9.2.1 Lenguaje de programación GPSS	76
9.2.2 Modelo del sistema de transporte de relave	76
9.2.3 Algoritmo del sistema de transporte	78
9.2.4 Código en el programa GPSS	81
9.2.5 Resultados y análisis	81
CAPÍTULO X : RELAVE TRANSPORTADO EN JUNIO DEL 2013	86
10.1 RELAVE TRANSPORTADO EN CAMIONES	86
10.2 RELAVE TRANSPORTADO EN VAGONES	86
10.3 RESUMEN DEL RELAVE TRANSPORTADO	89
CAPÍTULO XI : COSTOS DE TRANSPORTE DE RELAVE	90
11.1 PRIMER CASO	90
11.2 SEGUNDO CASO	91
CONCLUSIONES	92
BIBLIOGRAFIA	93
ANEXOS	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Parámetros de operación del proceso BIOX®	34
Tabla 3.2 Proceso BIOX® en el mundo	34
Tabla 6.1 Ingreso y salida de relave de la relavera de Tamboraque	52
Tabla 6.2 Relave total a transportar	54
Tabla 6.3 Plan mensual de transporte de relave	55
Tabla 7.1 Lista de camiones	57
Tabla 7.2 Peso de los camiones	60
Tabla 7.3 Rango de horario	64
Tabla 8.1 Resumen del relave transportado	71
Tabla 9.1 Tiempos de inicio de guardia	73
Tabla 9.2 Tiempos de carguío de camiones	73
Tabla 9.3 Tiempos de descarga de camiones	75
Tabla 9.4 Tiempos de las actividades	77
Tabla 9.5 Simulación de camiones	85
Tabla 10.1 Resumen del relave transportado	89
Tabla 11.1 Primer caso	90
Tabla 11.2 Segundo caso	91
Tabla 11.3 Transporte con nueve camiones	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación Nyrstar Coricancha	15
Figura 1.2 Vista en planta Nyrstar Coricancha	16
Figura 1.3 Vista en planta de la Relavera Tamboraque	17
Figura 2.1 Tanques de neutralización en serie	21
Figura 2.2 Sistema de destrucción de cianuro	23
Figura 2.3 Relave cubierto	26
Figura 2.4 Canal de coronación	26
Figura 2.5 Personal descubriendo la zona de compactación	28
Figura 3.1 Planta Tamboraque	30
Figura 3.2 Microfotografía de la bacteria Thiobacillus ferrooxidans	33
Figura 3.3 Diagrama del proceso BIOX®	33
Figura 3.4 Diagrama de procesos de la planta Tamboraque	35
Figura 3.5 Relave de los filtros	37
Figura 4.1 Vista de planta de la relavera	41
Figura 4.2 Vista general de la relavera	41
Figura 4.3 Mapa de zonificación sísmica del Perú	42
Figura 4.4 Vista del cerro Tamboraque	43
Figura 4.5 Vista transversal del cerro Tamboraque	43
Figura 4.6 Alternativa de solución 1	46
Figura 4.7 Alternativa de solución 2	46
Figura 5.1 Vista de planta de la relavera de Chinchán	49
Figura 5.2 Equipos nivelando y compactando el relave	49
Figura 6.1 Salida de relave de Tamboraque hacia Chinchán	53
Figura.7.1 Camiones de la contrata	58
Figura 7.2 Ruta en la carretera central de los camiones	59
Figura 7.3 Faja transportadora de carguío	62

Figura 7.4 Vagones cargados	63
Figura 7.5 Ciclos por rango de hora del camión B3W 814	66
Figura 7.6 Ciclos por rango de hora del camión D3J 898	66
Figura 7.7 Ciclos por día del camión B3W 814	67
Figura 7.8 Ciclos por día del camión D3J 898	67
Figura 8.1 Toneladas de relave transportado en camiones	69
Figura 8.2 Ciclos de la flota de camiones	69
Figura 8.3 Toneladas de relave transportado en vagones	70
Figura 8.4 Cantidad de vagones	70
Figura 9.1 Excavadora cargando camión	74
Figura 9.2 Descarga de camión en Chinchán	75
Figura 9.3 Sistema de transporte de relave	77
Figura 9.4 Diagrama de flujo del sistema de transporte de relave	80
Figura 10.1 Toneladas de relave transportado en camiones	87
Figura 10.2 Ciclos de la flota de camiones	87
Figura 10.3 Toneladas de relave transportado en vagones	88
Figura 10.4 Cantidad de vagones	88

LISTA DE SÍMBOLOS

hectárea	ha
kilómetro	km
día	d
tonelada	ton
megawatt	MW
metro	m
metro cúbico	m ³
metro cuadrado	m ²
caballo fuerza	HP
centímetro	cm
minuto	min
segundo	s
gramo	g
hora	h
kilogramo	kg
kilogramo por metro cuadrado	kg/m ²
kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
kilómetro por hora	km/h
metro por segundo	m/s

LISTA DE ABREVIATURAS

OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
GPSS	General Purpose Simulation System
UTM	Universal Transverse Mercator
msnm	Metros sobre el nivel del mar
°C	Grados centígrados
ppm	partes por millón
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INGEMMET	Instituto Geológico Minero Metalúrgico
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos
CL	Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad
ASTM	American Society for Testing and Materials

INTRODUCCIÓN

En Julio del 2008 diversos estudios determinaron que la relavera de Tamboraque está sobrecargada y puede deslizarse lo cual afectaría gravemente el medio ambiente porque contaminaría al río Rímac con arsénico, hierro, azufre, plomo, zinc y cobre porque se encuentra cercano a la relavera, el relave necesita ser reubicado hacia la nueva relavera de Chinchán que se encuentra a 30 kilómetros al norte por vía terrestre.

El relave se empezó a transportar desde Julio del 2010 tanto por vía férrea como vía terrestre, este transporte no se realizó de manera uniforme mensualmente. Con el plazo máximo dado por Osinergmin que es julio del 2015, se planeó el transporte de 1 000 000 de toneladas de relave que provienen 50 % de la relavera de Tamboraque y 50 % de los relaves frescos de la planta.

Se realizó un estudio el sistema actual de transporte de relave por camiones con el fin de determinar las causas de los retrasos en las operaciones, se compararon los volúmenes de relave trasladado versus lo planeado y se detectó que mediante vía férrea no se está cumpliendo el programa porque ferrovías no envía la cantidad suficiente de vagones.

Con los tiempos obtenidos y los parámetros del transporte de relave por camiones se utilizó el programa GPSS para simular el sistema de transporte por camiones, variando su cantidad de camiones con el fin de hallar la flota que nos hará cumplir con el programa planeado.

CAPÍTULO I

GEOGRAFÍA

1.1 UBICACIÓN

La Unidad de Producción de Compañía minera Nyrstar Coricancha S.A se encuentra en el distrito minero llamado Viso-Aruri por los nombres de los ríos que lo cruzan. Este distrito minero pertenece a la jurisdicción política del distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí y departamento de Lima.

El área total de la concesión minera de la Mina Coricancha es de 1 330 ha, la concesión de beneficio de la concentradora Tamboraque 28 ha, cabe mencionar que en esta zona estuvo operando la Fundición de Tamboraque desde 1908 hasta 1934.

La relavera de Tamboraque se encuentra tiene coordenadas UTM 8 697 656 N y 357 946 E (ver figura 1.3), a una altitud media de 2 990 msnm y al sur de las instalaciones de la planta de beneficio. El acceso es posible mediante un camino afirmado desde la planta de beneficio, la cual a su vez está ubicada a escasos metros de la Carretera Central.

Ubicación Política del Perú



Ubicación Departamental: Lima



Ubicación Provincial: Huarochiri



Ubicación Distrital: San Mateo



Figura 1.1 Ubicación Nyrstar Coricancha



Figura 1.2 Vista en planta Nyrstar Coricancha

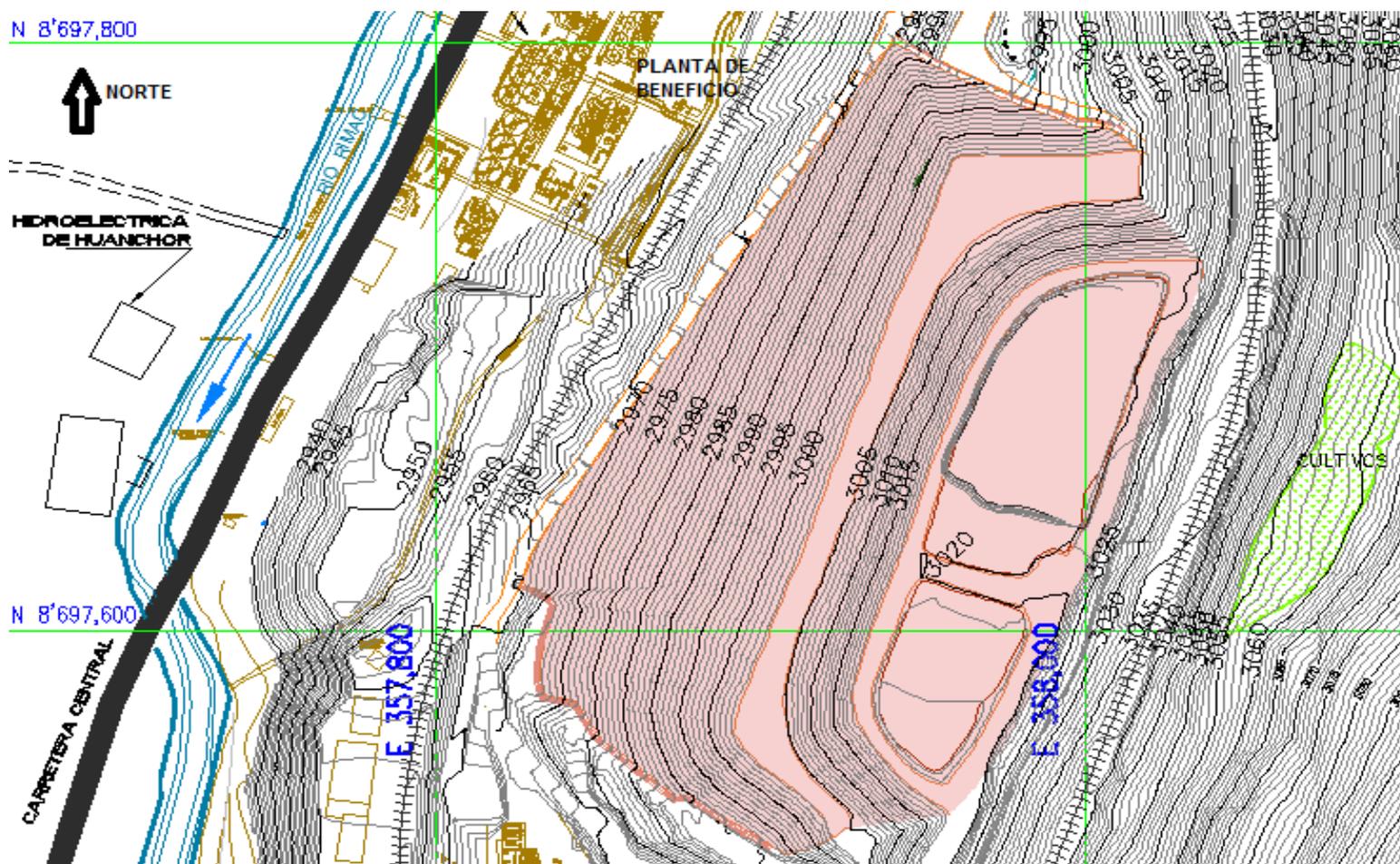


Figura 1.3 Vista en planta de la relavera Tamboraque

1.2 ACCESO

Existen 2 formas de acceso, mediante vía terrestre y vía férrea.

1.2.1 Vía terrestre

El acceso desde Lima es por la Carretera Central pavimentada que llega a Planta Tamboraque en el kilómetro 90, ubicado 5 km antes de la ciudad de San Mateo. Desde esta ciudad, se accede a la mina por medio de una trocha de 20 Km que asciende hasta alcanzar el campamento minero por las laderas de un valle abrupto modelado por el Río Aruri.

1.2.2 Vía férrea

Ferrovías Central Andina cuya estación de Planta Tamboraque dista 120 km del puerto del Callao. La fundición de La Oroya está conectada mediante el Ferrocarril Central y dista 111 km de la estación de Tamboraque.

1.3 GEOGRAFÍA

El distrito minero está emplazado en la vertiente occidental del ramal occidental de los Andes Centrales en la cuenca hidrográfica del río Rímac. Este distrito presenta una topografía muy abrupta, en donde el valle del Río Rímac forma una quebrada profunda que va desde los 2 900 hasta los 4 450 msnm de la cumbre de la veta Constancia.

CAPÍTULO II

IMPACTO AMBIENTAL

Las medidas que se han tomado, tanto en Tamboraque como en Chinchán, para que los procesos no generen ningún daño al medioambiente han sido contemplados en el estudio de Impacto Ambiental en las distintas fases que se muestran a continuación.

2.1 TAMBORAQUE

En Tamboraque son neutralizados los efluentes ácidos provenientes tanto de interior mina como lo que produce la planta de beneficio.

Como producto del proceso Biox se realiza la destrucción del cianuro, no hay emisión considerable de gases, lo que produce un impacto ambiental varias veces inferior a las tecnologías clásicas.

La relavera de Tamboraque tiene implementado un sistema de drenaje subterráneo de aguas, pozas y canales de coronación, también geomembranas para que las aguas de lluvia no laven el relave que contiene elementos contaminantes, además de un sistema de control de piezómetros subterráneos tanto en la parte superior del cerro, en la misma relavera y en la parte inferior del cerro para revisar las lecturas y determinar los desplazamientos semanalmente.

El transporte de relave tanto por vía terrestre y férrea generan dispersión de partículas finas de relave a lo largo de su desplazamiento hacia la relavera de Chinchán, para eso se implementó tapar la carga de relave con mantas cobertoras y al inicio y final del transporte el lavado de llantas de los camiones.

2.1.1 Planta de Tamboraque

El producto lavado de BIOX® es tratado en una planta cianuración convencional en el cual el oro es finalmente recuperado.

Después de la oxidación, el producto BIOX® es lavado en un circuito de decantación y la solución es neutralizada en un proceso de dos etapas controlados con piedra caliza y/o cal. Los precipitados formados reúnen estándares medioambientales en Estados Unidos y pueden ser depositados sin peligro en relaveras.

El proceso BIOX® es por tanto no contaminante, medioambientalmente limpias del tratamiento de mineral refractario. Para ahorrar agua, el efluente neutralizado puede ser mezclado con relave de flotación y es espesado. El exceso de líquido puede ser reciclado como agua de dilución en el molino, flotación y secciones BIOX® de la planta.

- Sistema de neutralización de efluentes

Se tratan los efluentes provenientes de BIOX y el agua ácida de mina con flujos promedio de 25 y 72 m³/h respectivamente. Dichos efluentes cuentan con un alto contenido de azufre (en forma de sulfatos), ión férrico y arsénico.

Los sistemas de neutralización de BIOX y agua de mina cuentan con 5 y 6 tanques de 28 m³ en serie respectivamente.

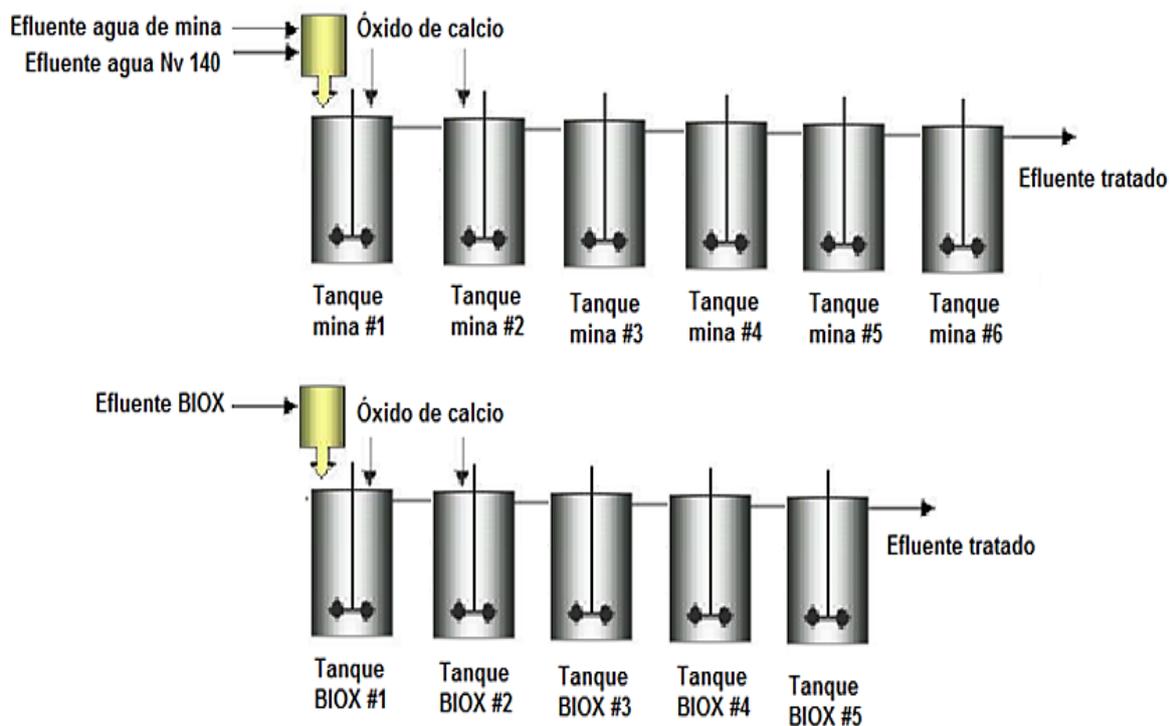


Figura 2.1 Tanques de neutralización en serie

- Eficiencia del proceso de neutralización

El sistema de neutralización cuenta con una eficiencia de precipitación de metales por encima del 99,5%.

Precipitación de metales durante el proceso de neutralización:

Zn 99,97%

Pb 99,94%

Cu 99,90%

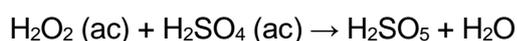
As 99,85%

Fe 99,98%

- Sistema de destrucción de cianuro

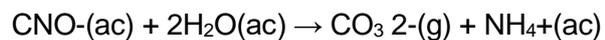
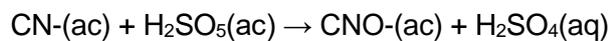
El ácido peroximonosulfúrico (Acido caro) es un conocido agente degradador de cianuro muy utilizado para el tratamiento de efluentes cianurados proveniente de los procesos de cianuración en la minería del oro y de la plata. Este es fabricado como producto de la reacción exotérmica entre el ácido sulfúrico y el peróxido de hidrógeno. Debido a su inestabilidad, el ácido de Caro no puede ser preparado previamente y por ende debe ser generado instantes antes de su contacto con la pulpa.

La reacción de formación del ácido caro es instantánea y exotérmica



El ácido caro degrada fácilmente los CN débiles y a los cianuros libres proveniente del proceso de cianuración debido a su poder oxidativo el cual se optimiza a un pH de 9.

Las reacciones de degradación de cianuro por ácido caro son las siguientes:



El flujo de ingreso al sistema es aproximadamente 1,8 m³/h. El sistema de destrucción de cianuro consta de 3 tanques gemelos de 23 m³ conectados en serie. En el primer tanque ocurre el contacto entre el ácido caro y el efluente de cianuración el cual a su ingreso tiene una concentración inicial de 150 a 200 ppm de cianuro total.

El efluente tratado deja el sistema con una concentración promedio de 0,3 ppm de cianuro total. Este efluente ingresa al decantador de 4,5 m

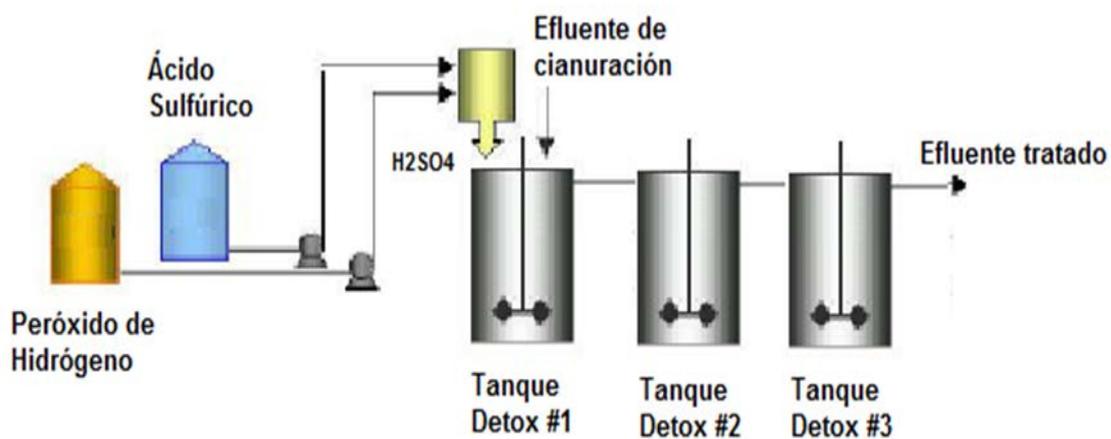


Figura 2.2 Sistema de destrucción de cianuro

- No hay emisión considerable de gases, lo que produce un impacto ambiental varias veces inferior a las tecnologías clásicas, que genera emisiones con altos contenidos de SO₂ y As, por el tratamiento de sulfuros en fundiciones.

2.1.2 Relavera de Tamboraque

El Depósito de Relaves tiene un sistema colector de las aguas de escorrentía; en caso de presentarse algún drenaje superficial o infiltración, este canal permite la evacuación de las aguas fuera de la instalación, se encuentra operativo y cuenta con mantenimiento permanente. También cuenta con un sub-dren al pie del depósito para el agua de infiltración.

La relavera tiene una cobertura superficial de HDPE sobre toda la berma intermedia y los taludes laterales, debido a las lluvias en los meses de Diciembre, Enero y Febrero en la parte superior se cubre con lona impermeable sólo cuando llueve y se descubre de inmediato cada vez que deja de llover para que las máquinas trabajen.

La infraestructura de drenaje existente evita el ingreso de agua al depósito, tanto a nivel superficial como subterráneo, y consta de las siguientes estructuras:

- Un sub-dren dispuesto en la ladera natural sobre la plataforma superior del depósito.
- Un canal de coronación dispuesto en la ladera natural sobre la plataforma superior de los depósitos.
- Una zanja colectora de infiltraciones dispuesta en el pie del talud del depósito.
- Una poza colectora del agua de infiltración y escorrentía dispuesta al pie del depósito, desde la cual se derivan dichos flujos a la planta de neutralización.

Dichas estructuras de drenaje se complementan con un sistema de control subterráneo conformado por cuatro piezómetros instalados en el año 2003, semanalmente se realiza las lecturas de los piezómetros y estos datos son enviados a Osinergmin.

El relave filtrado y seco de la relavera tiene una humedad que varía de 15% hasta 20%, cuando la humedad es mayor a 20 % se utiliza la excavadora para ventear el relave con el fin de bajar la humedad lo que garantiza que no generará polvos al ser removido que pudieran contaminar el ambiente.



Figura 2.3 Relave cubierto

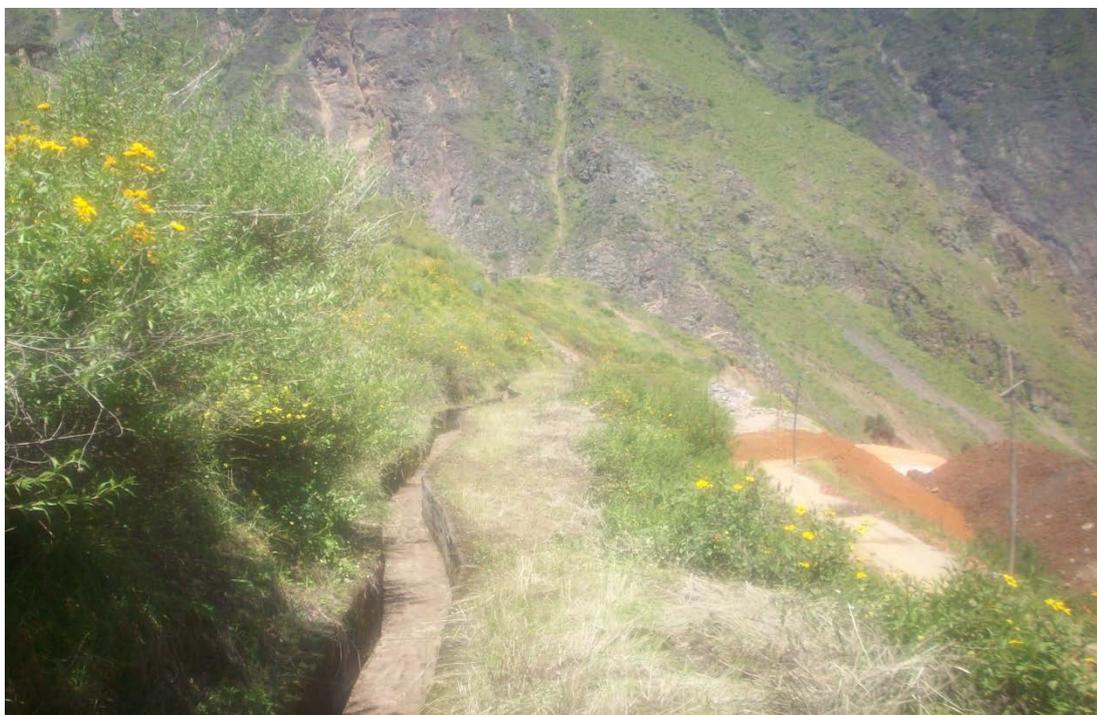


Figura 2.4 Canal de coronación

2.1.3 Transporte de relave en camiones

Cada camión está equipado con una manta cobertora para garantizar una adecuada cobertura del material y evitar así la dispersión de las partículas finas de relave contaminante a lo largo de la ruta de transporte.

También existe una zona de lavado de llantas y tolva de camiones.

2.1.4 Transporte de relave en vagones

Después de cargar los vagones, el relave es cubierto adecuadamente con una manta cobertora para evitar la dispersión del relave contaminante a lo largo de la vía férrea.

2.2 RELAVERA DE CHINCHAN

El estudio de impacto ambiental fue presentado por SVS ingenieros SAC en Diciembre del 2008, la relavera ocupa un área de 80 800 m² si se incluyen las áreas de los canales y pozas.

De lo analizado en el EIA se concluyó que la alternativa de transporte de relaves por ferrocarril es la más adecuada, entre otras cosas, porque minimiza los impactos y reduce los riesgos, la alternativa de transporte con camiones volquetes solo se considera como opción de contingencia en caso de suceder algún imprevisto que no permita el transporte por vía férrea.

Existe una zona de lavado de llantas y tolva de camiones, también en la zona de descarga de vagones luego de quedar vacío cada vagón es lavado completamente.

Se contrató un camión cisterna que riega la carretera de acceso a Chinchán permanentemente para evitar el polvo.

Debido a las lluvias y nevadas en los meses de Diciembre, Enero y Febrero en la zona de trabajos de compactación se cubre con lona impermeable sólo cuando llueve y se descubre de inmediato cada vez que deja de llover para que las máquinas trabajen en la compactación del relave.

Encima de la relavera se cavaron canales de coronación para que el agua de las lluvias no fluya a través de la relavera, y en la base de la relavera existen zanjas cubiertas con geomembrana que canalizan las aguas hacia dos pozas construidas cercanas a la base de la relavera.



Figura 2.5 Personal descubriendo la zona de compactación

CAPÍTULO III

PLANTA

3.1 PLANTA TAMBORAQUE

Compañía minera Nyrstar Coricancha S.A. es una compañía minera, cuya principal actividad es la producción de Oro, Plata y concentrados de zinc, plomo, cobre; viene operando desde el año 2010 como Nyrstar Coricancha.

A principios de siglo XX el principal producto comercial fue el oro; y posteriormente con la construcción de la planta de flotación, la empresa se orientó a la producción de concentrados de metales básicos, almacenando los relaves con contenido aurífero y tratar de encontrar otras técnicas para recuperar este metal precioso, el cual se encuentra finamente diseminado en la arsenopirita.

Después de más de once años de estudios por diversas técnicas como: Tostación, Lixiviación a presión y luego de haber desarrollado un exhaustivo trabajo de investigación y pruebas a nivel de Planta Piloto; por más de tres años en el proceso de Lixiviación bacteriana, neutralización de las soluciones biolixiviantes con resultados satisfactorios, y que además en la actualidad; Compañía Minera Nyrstar Coricancha S.A. cuenta con el apoyo técnico de Goldfield (patente del proceso de Lixiviación Bacteriana), quienes tienen más de cuarenta años de experiencia y manejan diversas plantas industriales en el mundo mediante esta

tecnología; se determinó que el proceso apropiado para el tratamiento y recuperación de oro es la Lixiviación Bacteriana.

La concepción integral está dividida en dos etapas y cada una de ellas involucra trabajos para su mejora:

- Producción de concentrados de plomo plata, zinc, cobre y arsenopirita.
- Producción de oro y plata refinados.



Figura 3.1 Planta Tamboraque

3.2 BIOX®

El cual pre-trata el sulfuro refractario de los minerales de oro como pirita, arsenopirita y pirrotita, fue desarrollado para incrementar los ratios de recuperación del oro durante el proceso de extracción metalúrgica. El proceso BIOX® destruye los minerales de sulfuro y exponen el oro para la posterior cianuración, incrementando los ratios de recuperación. El proceso BIOX® tiene muchas ventajas reales sobre los procesos refractarios convencionales como tostación, oxidación a presión y lixiviación con ácido nítrico. Esto incluye:

- Mejora los ratios de recuperación del oro
- Los costos de capital significativamente más bajos
- Bajos costos de mantenimiento
- Tecnologías robustas que se adaptan a zonas remotas
- Bajo nivel de conocimientos necesarios para el funcionamiento
- Protege el medio ambiente
- Desarrollo de procesos y mejora continua

Los derechos del proceso, que han sido disponibles comercialmente por más de 15 años, los tiene actualmente *Biomin Technologies SA*, una subsidiaria de *Gold Fields Limited*. Sin embargo, la investigación y desarrollo en el proceso fue conducido por *Gencor Process Research* (ahora *Billiton Process Research*).

3.3 EL PROCESO BIOX®

Este proceso utiliza una combinación de tres bacterias que producen de manera natural, *thiobacillus ferrooxidans*, *thiobacillus thiooxidans* y *leptospirillum ferrooxidans* para romper la matriz mineral en el mineral que está siendo tratado, liberando así el oro ocluido para la posterior cianuración. Las bacterias se adhieren a las superficies del sulfuro de metal en el mineral, lo que resulta en la oxidación acelerada de los sulfuros.

El proceso BIOX® implica la alimentación continua de la suspensión de concentrado de flotación a una serie de reactores agitados.

Los bajos niveles de pH y las altas temperaturas de suspensión mejoran la eficiencia del proceso y es importante que estos parámetros sean controlados dentro de los rangos reducidos a fin de mantener el equilibrio adecuado de la bacteria con el fin de mejorar el óptimo ratio de oxidación. Los reactores se airean y la temperatura de suspensión se mantiene en el nivel óptimo de 40-45 °C. Como las reacciones de los minerales de sulfuro son exotérmicas, se necesita refrescar los tanques así como mantener la temperatura de suspensión dentro del rango óptimo. Esto se hace por circulación de agua de refrigeración y eliminación de exceso de calor a través de una torre de refrigeración. El nivel de pH es controlado mediante la adición de piedra caliza o ácido sulfúrico a la suspensión. Ya que la oxidación de sulfuro directo requiere altos niveles de oxígeno, grandes volúmenes de aire tienen que ser inyectados y dispersados en la suspensión. Esto es uno de los grandes retos ingenieriles en el diseño de un bio-reactor a escala completa. Además, se requiere suficiente dióxido de carbono para mantener el crecimiento celular de la bacteria. Esto se obtiene de la inyección de aire así como minerales carbonatados. Si lo último no se tiene, se añade piedra caliza. La bacteria también requiere nutrientes para sostener el crecimiento. Nitrógeno, fósforo y potasio son

adicionados a los reactores primarios en varias formas y cantidades, dependiendo de la composición del concentrado que se está siendo tratada.



Figura 3.2 Microfotografía de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans*

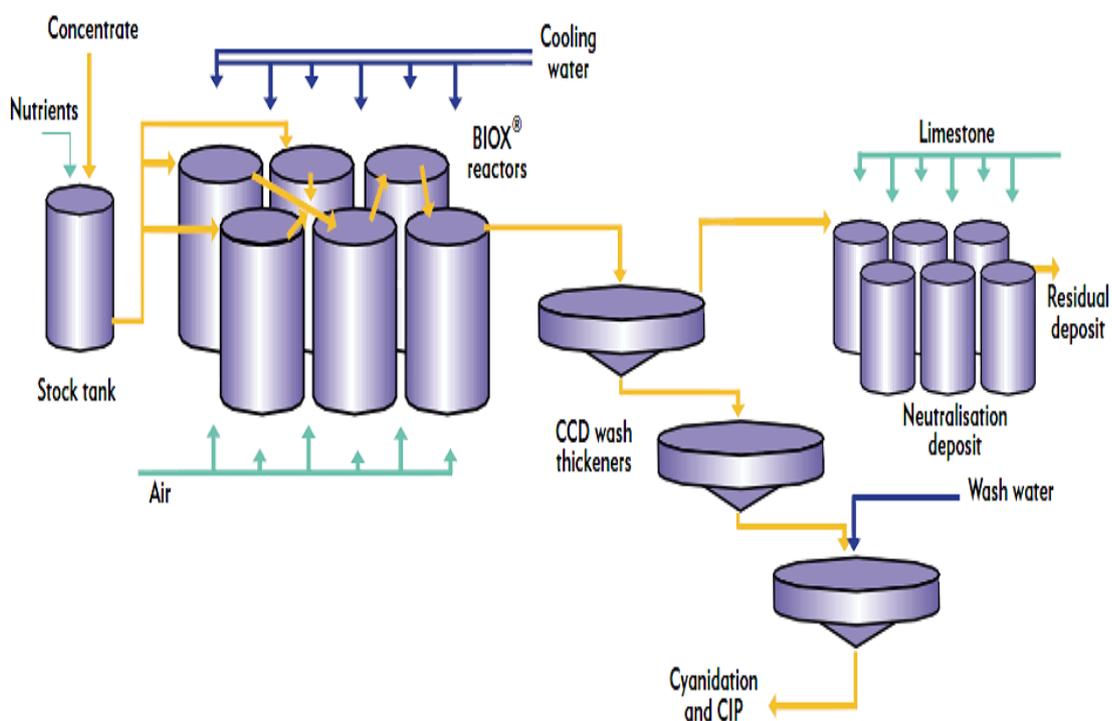


Figura 3.3 Diagrama de flujo del proceso BIOX®

El tiempo total de residencia en los reactores de la bio-oxidación, que es principalmente una función de la mineralogía, típicamente varía entre cuatro y seis días. Para un mineral donde el oro está bloqueado principalmente en arsenopirita, una residencia de tiempo corto se espera para mejorar la liberación de oro óptimo que con un mineral donde la mayor parte del oro es ocluida en pirita. Esto se debe a que el radio de oxidación de la arsenopirita es más rápido que el de la pirita. Algunos minerales requieren solo oxidación de sulfuro parcial para liberar el oro. El circuito puede ser simplificado para muchos minerales y el tiempo de residencia reducidos hasta dos o tres días menos. Durante el proceso de oxidación bacterial, elementos como fierro, sulfuro y arsénico son disueltos.

Tabla 3.1 Parámetros de operación del proceso BIOX®

Temperatura (°C)	pH	Alimentación de sólidos (%)	Oxígeno disuelto (ppm)	Tiempo de retención (d)
40 - 45	1,2 - 1,6	20	> 2	4 - 6

Tabla 3.2 Proceso BIOX® en el mundo

Mina	País
Fairview	Sudáfrica
Sao Bento	Brasil
Harbour Lights	Australia
Wiluna	Australia
Sansu	Ghana
Tamboraque	Perú
Fosterville	Australia
Suzdal	Kazajistán

3.4 PROCESO DE BIO-LIXIVIACIÓN EN CORICANCHA

La bio-lixiviación es un proceso en el cual se emplean microorganismos para disolver determinados minerales que mediante lixiviación directa no es posible realizar. En el caso de Tamboraque la bio-lixiviación solubiliza principalmente el hierro, azufre y arsénico liberando al oro desde su matriz inicial para luego hacerlo vulnerable a los métodos convencionales de extracción (cianuración en pulpa).

Ver en anexo 1 el desarrollo del proceso Biox.

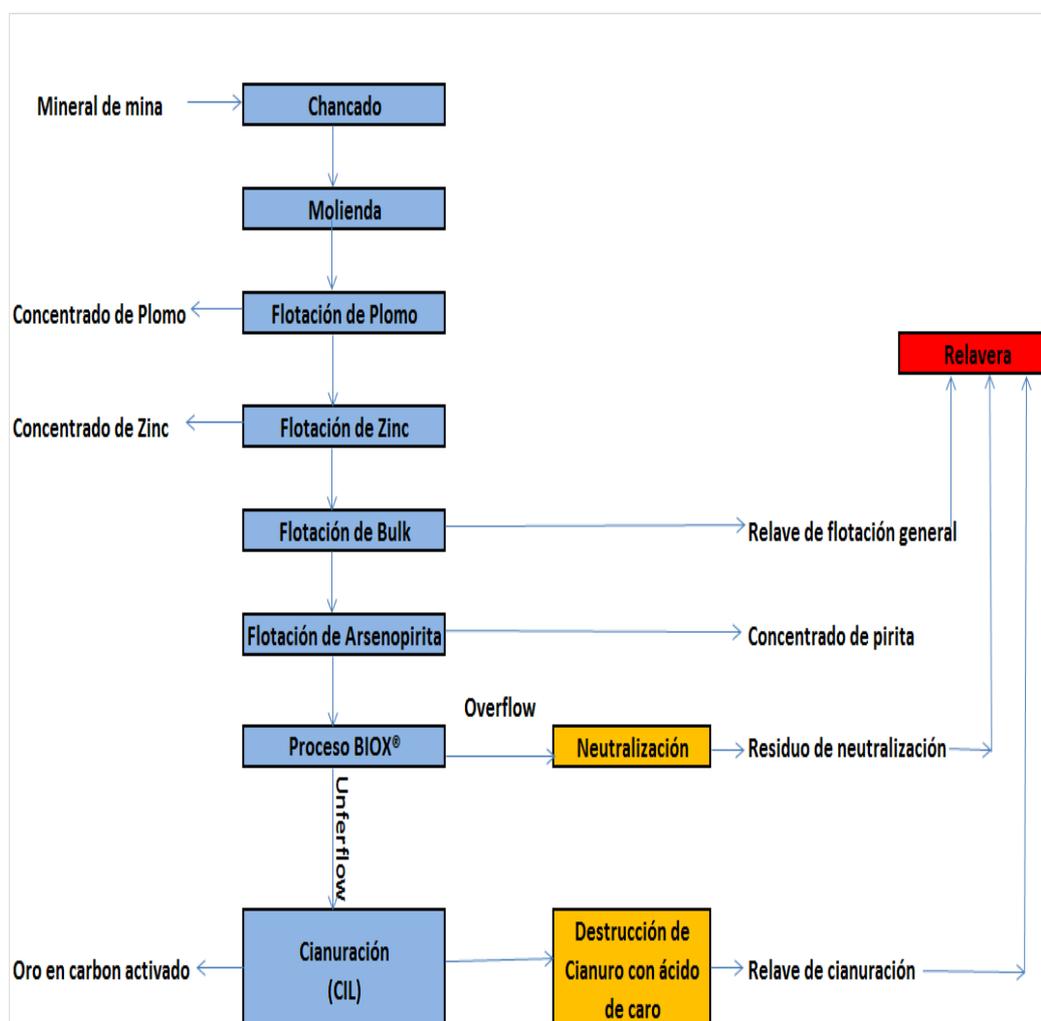


Figura 3.4 Diagrama de procesos de la planta Tamboraque

3.4.1 Ventajas del proceso Biox

- Requiere poca inversión de capital. La mayoría de esta se realiza en los tanques reactores y equipos de aireación
- Presenta bajos costos operacionales en comparación con los procesos convencionales (minerales sulfurados de arsenopirita)
- No hay emisión considerable de gases, lo que produce un impacto ambiental varias veces inferior a las tecnologías clásicas, que genera emisiones con altos contenidos de SO₂ y As, por el tratamiento de sulfuros en fundiciones.
- Permite el tratamiento de los recursos y reservas crecientes de minerales con baja ley de oro que no pueden ser económicamente procesadas por los métodos tradicionales.

3.5 RELAVE DE FILTROS

En la planta Tamboraque hay dos filtros de los cuales diariamente se obtiene relave fresco de granulometría fina que será transportado a la relavera de Chinchán en vagones de Ferrovías Central Andina S.A.



Figura 3.5 Relave de los filtros

CAPÍTULO IV

RELAVERA DE TAMBORAQUE

4.1 DESCRIPCIÓN

Se encuentra ubicada en el distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí y departamento de Lima a la altura del kilómetro 90 de la carretera central en las faldas del cerro Tamboraque, la relavera contiene 550 000 ton de relave.

4.2 DESESTABILIZACIÓN DE LA RELAVERA

En el informe N° 016-2008-OS/GFM del 26 de junio del 2008, Osinergmin señala que la relavera de la mina Coricancha “constituyen un peligro inminente de colapso que ocasionaría un impacto negativo a la cuenca del río Rímac”. Lo mismo se detalla en sendos documentos suscritos por el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) y la Defensoría del Pueblo. Sería un desastre de similares características al ocurrido en febrero de 1998, cuando un alud de piedras y lodo sepultó la central hidroeléctrica de Machu Picchu, Cusco, dejando pérdidas superiores a los US\$ 300 millones.

En el mismo informe del 26 de junio, la Gerencia de Fiscalización Minera de Osinergmin dispuso “el retiro inmediato del total de los relaves” y la paralización

de las operaciones en el socavón. La mina Coricancha en ese entonces era propiedad de la empresa San Juan, que pertenece a *Gold Hawk Resources*, minera junior canadiense cuya única operación fuera de su país era justamente ésta. Después de la suspensión de sus actividades, *Gold Hawk Resources* vendió 55 millones de acciones a 6 centavos de dólar, según información publicada en *Yahoo Finance*.

La mina fue propiedad de la familia Proaño desde 1906 hasta que en 1999 quebró y el control pasó a manos del Banco Wiese, que también terminó en bancarrota y, por último, el pasivo minero fue asumido por Scotia Bank. En marzo del 2006 la *Gold Hawk Resources* adquirió el 100% de las acciones. En febrero del 2007 los canadienses reanudaron las actividades de extracción en el vetusto yacimiento e, irresponsablemente, dispusieron la acumulación de los relaves sobre la vieja cancha. Con el paso del tiempo, el sobrepeso desestabilizó la descomunal masa de desechos mineros. El oficio N° 177-2008-DP/ASPMA de la Defensoría del Pueblo advierte que las grietas se descubrieron en abril del 2008 y que los relaves contienen metales pesados como hierro, arsénico, zinc, plomo y antimonio.

4.3 CAUSAS DE UN PROBABLE DESLIZAMIENTO

Son las siguientes:

- Sobrecarga de los depósitos de relaves
- Altos niveles sísmicos ya que según el instituto geofísico del Perú la relavera se encuentra en la zona 3 de alto riesgo.
- Saturación de agua de los terrenos de cultivo, regados por los campesinos, ubicados en la parte alta de la relavera.
- Infiltración natural de aguas de lluvia que caen de Diciembre a Febrero
- Vibración al paso del ferrocarril.
- Filtraciones de aguas subterráneas.
- Lecho arcilloso bajo la relavera.



Figura 4.1 Vista de planta de la relavera



Figura 4.2 Vista general de la relavera

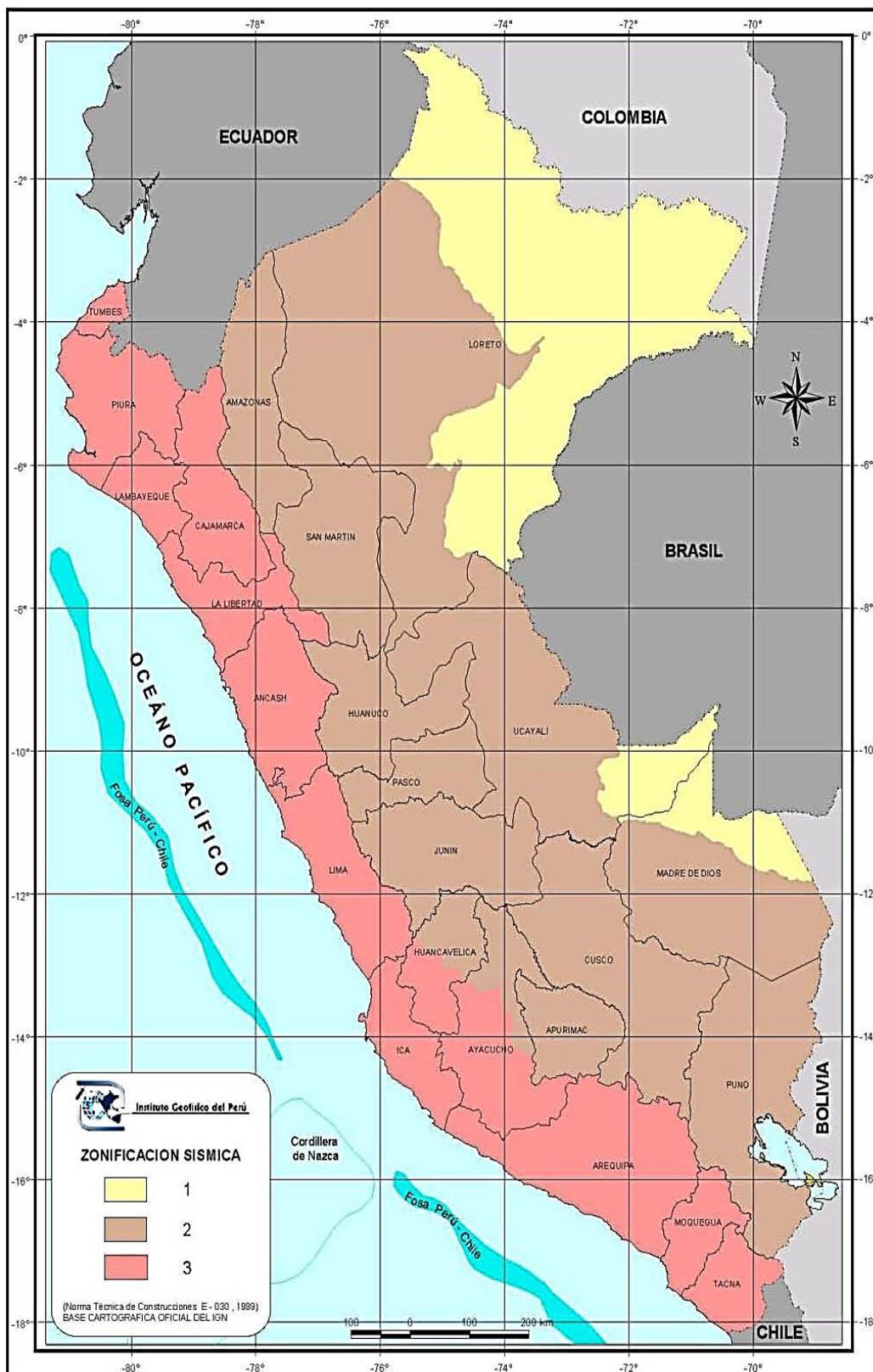


Figura 4.3 Mapa de zonificación sísmica del Perú

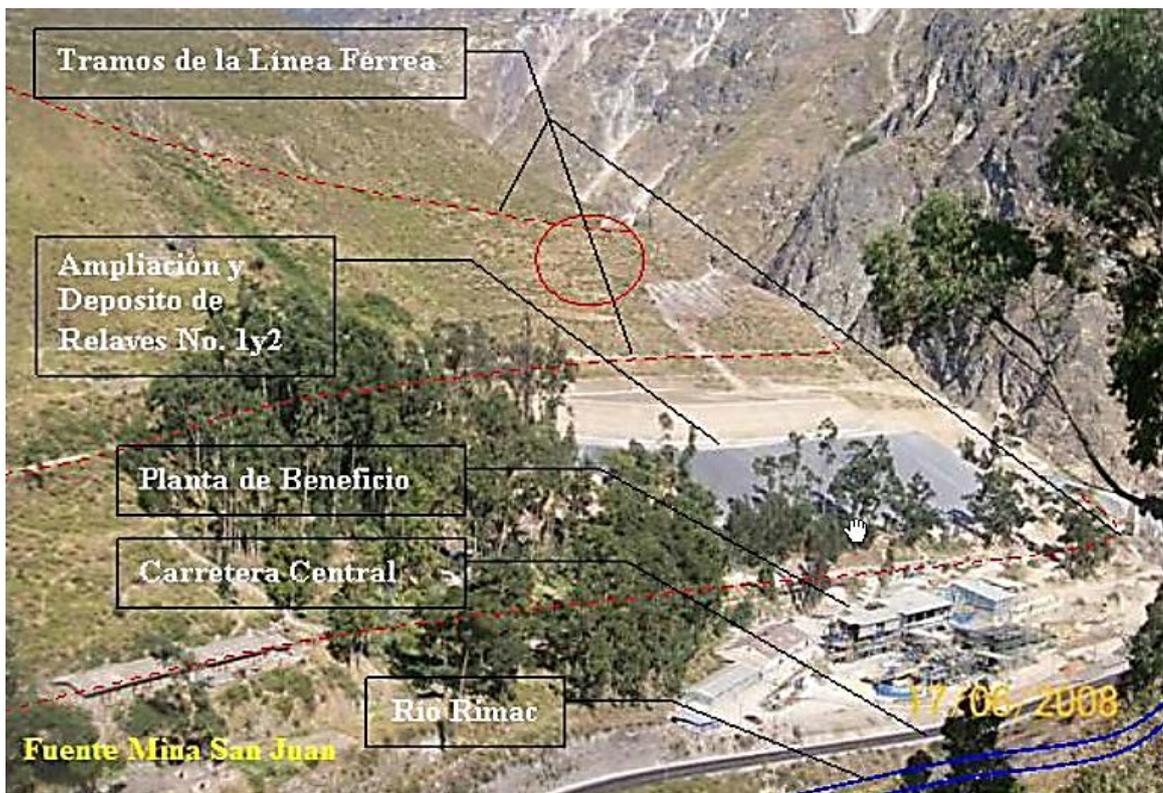


Figura 4.4 Vista del cerro Tamboraque

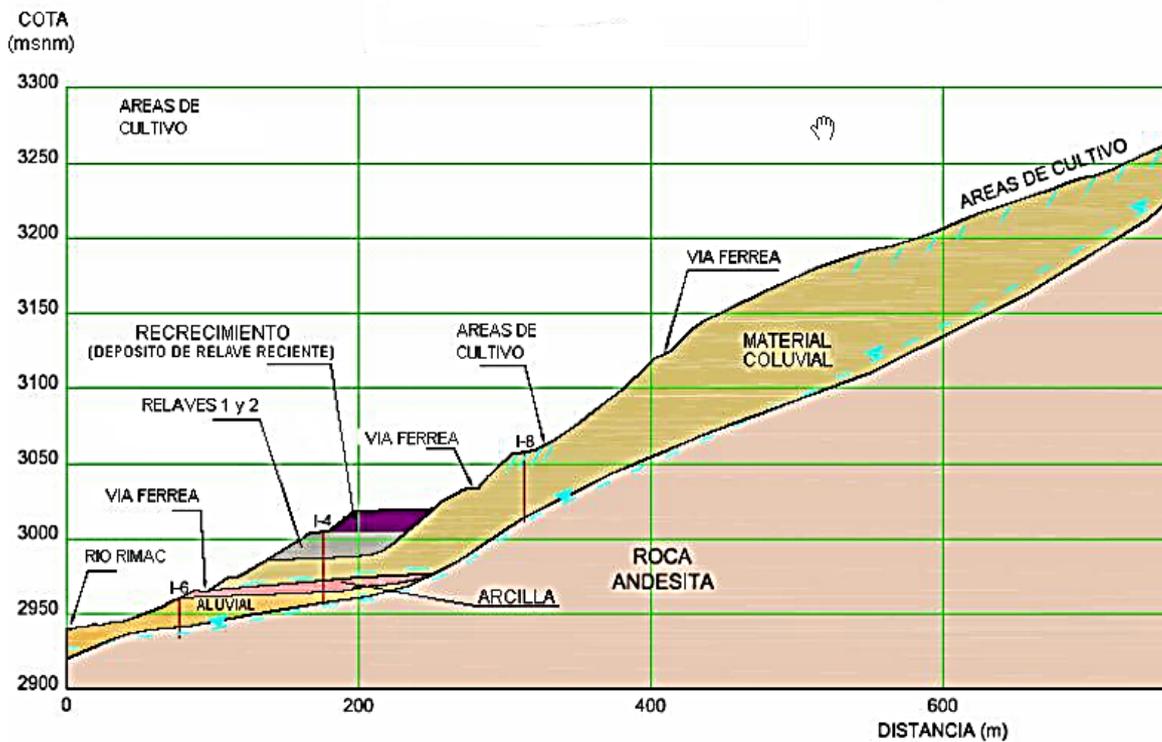


Figura 4.5 Vista transversal del cerro Tamboraque

4.4 CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MATUCANA (PABLO BONER)

Ante un probable deslizamiento esta hidroeléctrica que proporciona energía a la capital sería la más afectada ya que su bocatoma Pablo Boner se encuentra aguas abajo a menos de un kilómetro de la relavera.

Esta hidroeléctrica está situada en el distrito de San Jerónimo de Surco, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. Tiene una capacidad instalada de 120 MW. Funciona con las aguas del río Rímac, que son embalsadas en la represa de Yuracmayo, captadas en la toma de Tamboraque y conducidas mediante un túnel de 20 kilómetros de largo hasta un punto en el interior de la montaña, desde el cual caen, desde una altura de 987 m, por una galería empotrada, inclinada y blindada, hasta la casa de máquinas, en la que operan dos turbinas Pelton de eje horizontal. Poco antes de la caída, y también en el interior de la montaña, se hallan los denominados Pulmones, dos cámaras que almacenan agua, permitiendo regular la provisión de agua y mejorar la capacidad de producción de la central, que pertenece a la empresa Edegel

4.5 MEDIDAS TOMADAS POR EL GOBIERNO

El 18 de julio del 2008 el gobierno promulgó el D.S. 050-2008-PCM declarando en estado de emergencia el Cerro Tamboraque por 60 días. Con este D.S. se creó un Comité de Crisis en la PCM.

En diciembre del 2008, el Comité de Crisis Tamboraque por intermedio de su Secretaría Técnica INDECI elaboró el Plan General de Contingencia del Cerro Tamboraque.

Entre los organismos multisectoriales involucrados estuvo Ferrovías Central Andina S.A y también las siguientes entidades:

- Presidencia del Consejo de Ministros
- Ministerio de Energía y Minas
- Ministerio de Agricultura
- Ministerio del Ambiente
- Ministerio de Salud
- Ministerio de Transportes y Comunicación
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- Gobierno Regional de Lima
- Provías Nacional
- Dirección de Caminos y Ferrocarriles del MTO
- Instituto Geológico, Minero, Metalúrgico – INGEMMET
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería – OSINERGMIN
- SEDAPAL
- Ferrovial Central Andina S.A.
- Compañía Minera San Juan S.A.
- Administración Técnica de Riego
- Municipalidad Provincial de Huarochirí
- Municipalidad Provincial de San Mateo
- Representante de la Comunidad de Regantes en la zona del Cerro Tamboraque
- Instituto Nacional de Defensa Civil

Se presentaron dos alternativas de solución

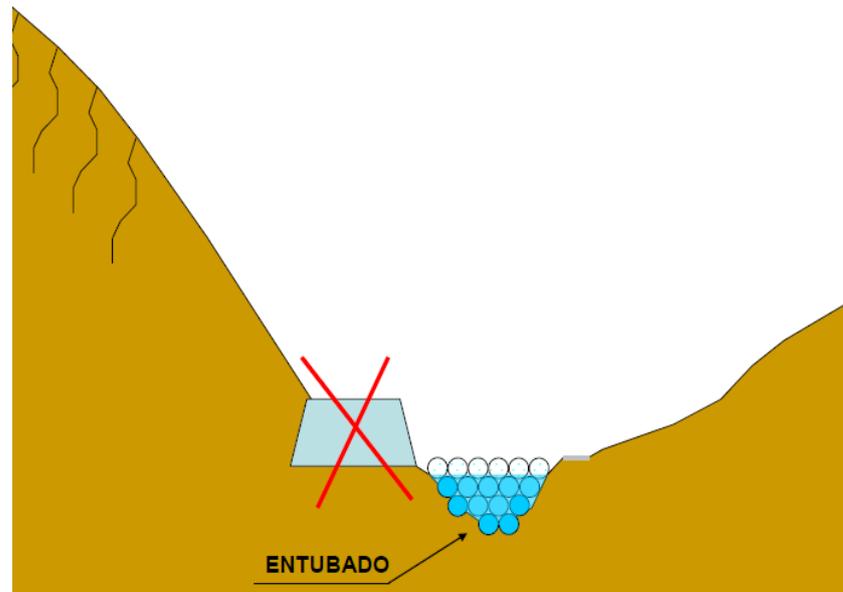


Figura 4.6 Alternativa de solución 1

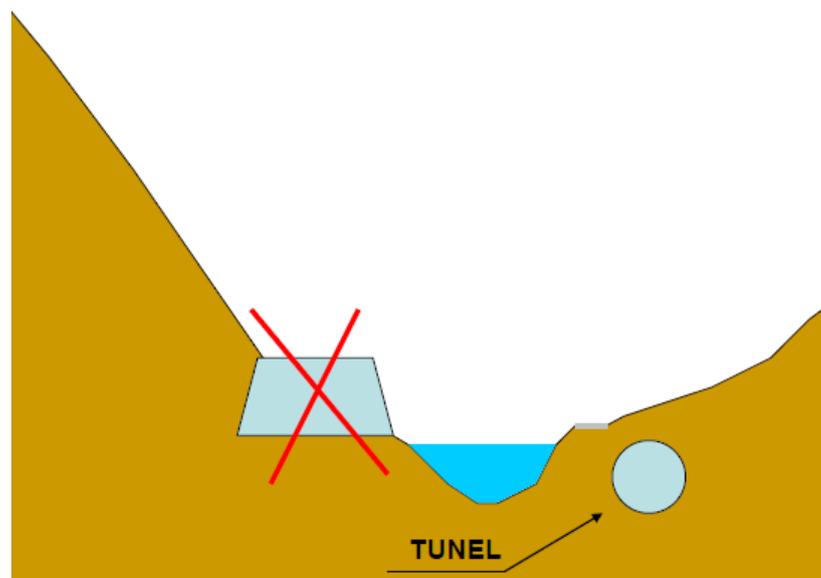


Figura 4.7 Alternativa de solución 2

CAPÍTULO V

RELAVERA DE CHINCHAN

5.1 DESCRIPCIÓN

Se encuentra a 4 300 msnm ubicado en el Paraje Chinchán, Distrito de Chicla, Provincia de Huarochirí en el Departamento de Lima a la altura del kilómetro 120 de la carretera central, la distancia en camino afirmado entre la relavera de Chinchán y la carretera central es de 2 Km.

El estudio de impacto ambiental fue presentado por SVS ingenieros SAC en Diciembre del 2008, el depósito se construyó sobre un área de 40 hectáreas.

El Depósito de relaves Chinchán tiene una capacidad de almacenamiento total de 430 000 m³ de relave filtrado y compactado. Para alcanzar un talud estable su recrecimiento se realizará mediante altura de bancos de 5 m y una altura final de 41 m, ocupará un área 73 000 m² aproximadamente. Una vez depositado todo el relave contenido en Tamboraque (315 320 m³ compactado) tendrá un volumen libre de almacenamiento de 114 680 m³, en el que se puede depositar la producción de relaves correspondiente cerca de un año de operación de la Planta de Beneficio Tamboraque, con un ritmo de producción de 600 ton/d o 18 698 ton/mes.

5.2 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL UTILIZADO

Corresponde a la mezcla de materiales finos y granulares, de acuerdo a los ensayos realizados, se conoce que la matriz del material (partículas menores a 1") es principalmente una arcilla con arena de baja plasticidad, según la clasificación SUCS corresponde a un CL, posee características granulométricas de 4 a 24 % de grava, 26 a 32 % de arena, y 48 % a 64 % de finos.

5.3 COMPACTACIÓN DEL RELAVE

Una vez que los camiones descargan el relave procedente de la relavera de Tamboraque sobre la plataforma de la relavera de Chinchán, se procederá a esparcir el material con una motoniveladora de 160 HP para luego compactarlo con un rodillo vibratorio de 100 HP, en capas de espesor no mayor de 30 cm.

La compactación se efectuará mediante un mínimo de cuatro (4) pasadas de rodillo vibratorio liso de 10 ton de peso estático, con lo cual se busca alcanzar el 95 % de la máxima densidad seca obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado. Diariamente las capas de 30 cm concluidas pasan un control de calidad como son densidad (ASTM 4718) de campo con el método cono de arena y humedades (ASTM 2216), estas pruebas tienen que ser aprobadas por nuestro auditor interno Gramsa SAC para continuar compactado la siguiente capa.



Figura 5.1 Vista de planta de la relavera de Chinchan



Figura 5.2 Equipos nivelando y compactando el relave

CAPÍTULO VI
PLAN DE TRANSPORTE DE RELAVE DESDE TAMBORAQUE HACIA
CHINCHAN

Consiste en el traslado del material de relave almacenado en el depósito de Tamboraque y de los relaves frescos de la operación de la planta concentradora Tamboraque, desde la localidad Tamboraque, hacia la relavera de Chinchán para su disposición segura ante la declaración de emergencia del Cerro Tamboraque y el peligro de deslizamientos, recogida en D.S. N°50-2008-PCM.

6.1 PLAZO

El plazo inicial en el 2008 fue inmediato pero no se contaba con una relavera nueva es así que las operaciones se paralizaron para no continuar generando relave, En julio del 2010 se empezó a transportar el relave hacia la nueva relavera de Chinchán. El último plazo dado por el gobierno es de Julio del 2015 para concluir con el transporte de relave, es decir 28 meses desde Abril del 2013 hasta Julio del año 2015.

6.2 CANTIDAD DE RELAVE A TRANSPORTAR

El volumen a transportar proviene de dos puntos: relavera de Tamboraque y la planta de Tamboraque.

6.2.1 Relavera de Tamboraque

A inicios de julio del 2010 la relavera contenía 690 000 ton, en esa fecha se empezó a transportar el relave hacia la nueva relavera de Chinchán, desde esa fecha hasta Marzo del 2013 se transportó un total de 527 036 ton, pero en todo ese lapso de tiempo también se continuó depositando relaves frescos en la relavera de Tamboraque proveniente de las operaciones diarias de la planta depositándose en total 385 838 ton.

Con la salida y entrada de relave líneas arriba mencionados, a inicios de Abril del 2013 la relavera de Tamboraque contiene 548 802 ton de relave por transportar.

Tabla 6.1 Ingreso y salida de relave de la relavera de Tamboraque

Mes	Salida (ton)	Ingreso (ton)	Relavera de Tamboraque (ton)
			690000
Julio.2010	912	2675	691763
Agosto.2010	691	4233	695305
Septiembre.2010	4071	6773	698007
Octubre.2010	13982	15637	699662
Noviembre.2010	21765	15182	693079
Diciembre.2010	20955	17409	689532
Enero.2011	20463	11668	680737
Febrero.2011	16473	7073	671337
Marzo.2011	25574	17607	663371
Abril.2011	20723	11903	654551
Mayo.2011	1760	4829	657619
Junio.2011	16880	12390	653129
Julio.2011	22667	17626	648088
Agosto.2011	22418	17292	642962
Septiembre.2011	13436	17351	646877
Octubre.2011	21148	19748	645477
Noviembre.2011	22640	15939	638776
Diciembre.2011	13585	19003	644193
Enero.2012	16318	17129	645005
Febrero.2012	13161	16226	648070
Marzo .2012	11482	14030	650618
Abril.2012	7529	0	643090
Mayo.2012	15367	0	627723
Junio.2012	16129	0	611594
Julio.2012	20183	0	591410
Agosto.2012	26835	18524	583099
Setiembre 2012	29384	14499	568214
Octubre.2012	28025	17588	557778
Noviembre.2012	20424	13550	550904
Diciembre.2012	14029	13122	549997
Enero.2013	17030	14069	547036
Febrero.2013	4616	3709	546129
Marzo.2013	6384	9057	548802
TOTAL	527036	385838	

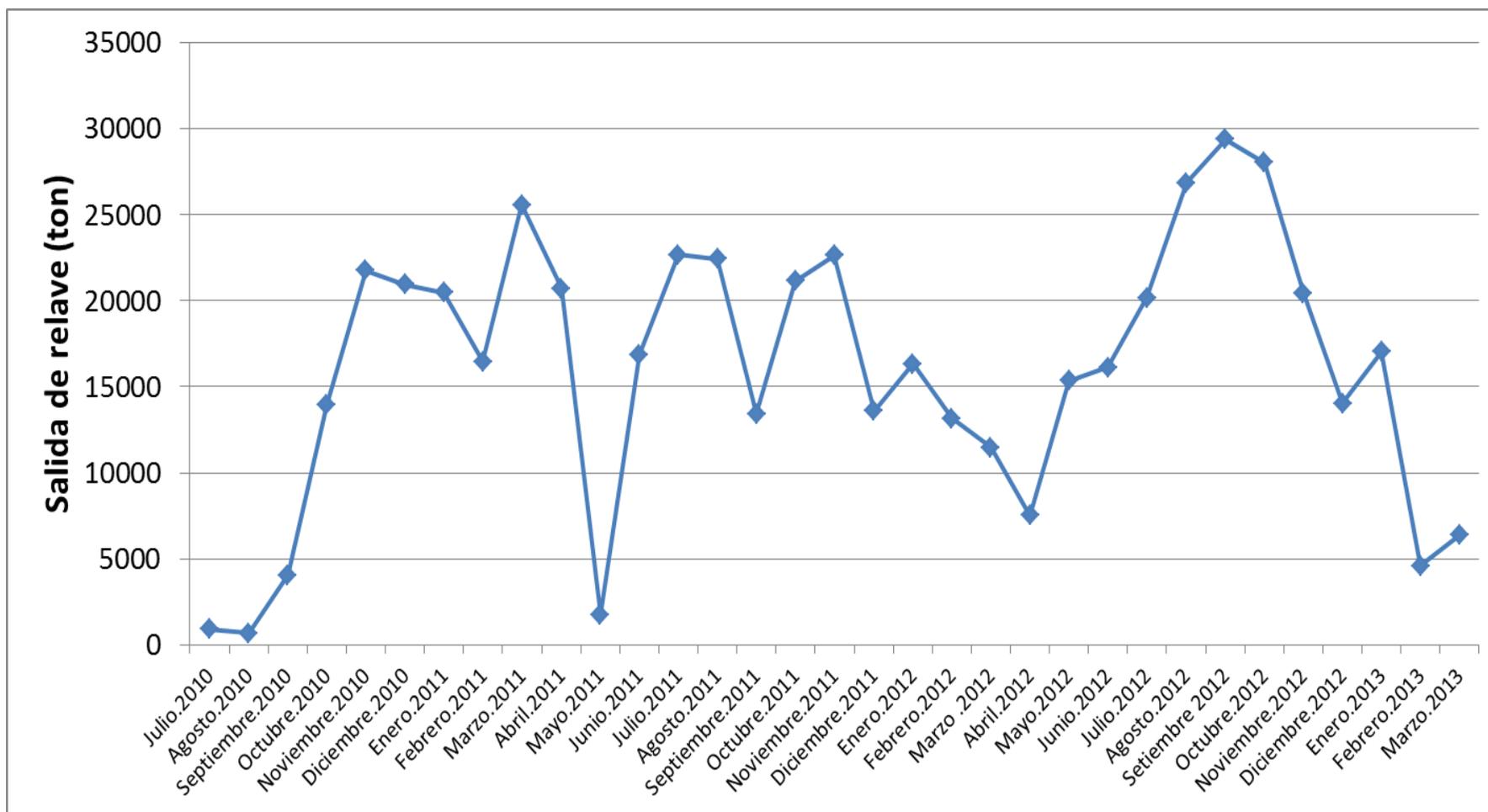


Figura 6.1 Salida de relave de Tamboraque hacia Chinchan

6.2.2 Planta de Tamboraque

Producto de las operaciones de la planta de Tamboraque se obtendrán 600 ton diaria de relave fresco, por lo tanto según el plazo desde Abril 2013 hasta Julio del 2015 de la planta de Tamboraque se espera un aporte de 511 200 ton de relave para transportar a Chinchán.

Tabla 6.2 Relave total a transportar

Relavera Tamboraque (ton)	Planta Tamboraque (ton)	Total (ton)
548802	511200	1060002

6.3 CÁLCULO DE TONELADAS DIARIAS A TRANSPORTAR

Teniendo en cuenta el plazo de transporte de 28 meses, desde Abril del 2013 hasta Julio del 2015 hay 852 días, dividiendo el tonelaje total a transportar 1060002 ton entre el número de días obtenemos 1 244,13 ton/día de transporte de relave diario.

La empresa de Ferrovías Central Andina S.A. se compromete a transportar 600 ton diarias en vagones, entonces por diferencia se deberá transportar 644,13 ton/día en camiones. El plan de transporte de relave resultante se muestra a continuación.

Tabla 6.3 Plan mensual de transporte de relave

Mes	Ferrovias (ton)	camiones (ton)	ferrovias + camiones (ton)	Relavera de Tamboraque (ton)
				548802
Abril.2013	18000	19324	37324	529478
Mayo.2013	18600	19968	38568	509510
Junio.2013	18000	19324	37324	490186
Julio.2013	18600	19968	38568	470218
Agosto.2013	18600	19968	38568	450250
Septiembre.2013	18000	19324	37324	430926
Octubre.2013	18600	19968	38568	410957
Noviembre.2013	18000	19324	37324	391633
Diciembre.2013	18600	19968	38568	371665
Enero.2014	18600	19968	38568	351697
Febrero.2014	16800	18036	34836	333661
Marzo .2014	18600	19968	38568	313693
Abril.2014	18000	19324	37324	294369
Mayo.2014	18600	19968	38568	274401
Junio.2014	18000	19324	37324	255077
Julio.2014	18600	19968	38568	235109
Agosto.2014	18600	19968	38568	215141
Setiembre 2014	18000	19324	37324	195817
Octubre.2014	18600	19968	38568	175849
Noviembre.2014	18000	19324	37324	156525
Diciembre.2014	18600	19968	38568	136556
Enero.2015	18600	19968	38568	116588
Febrero.2015	16800	18036	34836	98552
Marzo .2015	18600	19968	38568	78584
Abril.2015	18000	19324	37324	59260
Mayo.2015	18600	19968	38568	39292
Junio.2015	18000	19324	37324	19968
Julio.2015	18600	19968	38568	0
TOTAL	511200	548802	1060002	

CAPÍTULO VII

SISTEMA DE TRANSPORTE DE RELAVE

Al inicio se ha estado transportando el relave por vía férrea pero con el paso de los meses Ferrovías Central Andina ha ido disminuyendo el envío de vagones por lo que se solicitó la autorización del ministerio de transportes y que nos permitió el transporte por camiones.

Las alternativas viables para el traslado seguro desde Tamboraque hasta la zona de Chinchán de los relaves almacenados en la relavera de Tamboraque y los que se generen de la planta de beneficio. Se han considerado los trabajos de acondicionamiento del terreno y la construcción de instalaciones auxiliares especiales para la operación de carga en la zona de Tamboraque y la descarga en la zona de Chinchán, además de otros condicionantes, como: las vías de comunicación, los medios de transporte disponibles, dimensiones y pesos de los materiales a transportar, el ciclo de transporte, las facilidades de carga y descarga, las condiciones para la disposición final de los relaves, entre otros.

7.1 CARRETERA CENTRAL

Es la vía principal de comunicación entre la costa con el centro del país. Cuenta con dos carriles, uno para cada sentido de tránsito, tiene un tránsito intenso en horas punta y fines de semana hay congestión vehicular, tiene gran demanda de vehículos de transporte de carga los cuales por su baja velocidad dificultan el tránsito normal por esta vía, en la temporada de lluvias usualmente hay caídas de rocas y el tramo entre Tamboraque y Chinchán es especialmente complicado registrándose altas estadísticas de accidentes de tránsito. La distancia de transporte es de 32 km de los cuales 30 km corresponden a un tramo de la Carretera Central.

7.1.1 Camiones

El transporte se realiza en volquetes de 15 m³ de capacidad y doble eje posterior (Tara aproximada 11 toneladas), dado que el carguío será al 90% el volumen efectivo es de 13,5 m³.

Los camiones son proporcionados por la contrata NCA con cinco camiones más uno en *stand by* para las operaciones de transporte de relave. Según contrato la contrata nos garantizará la disponibilidad de la flota de camiones y sus repuestos.

Tabla 7.1 Lista de camiones

Camión	Placa
1	WGF 257
2	D3J 898
3	B4G 765
4	B3W 814
5	WGO 603
6	C5L 915
7	WGF 256



Figura 7.1 Camiones de la contrata

7.1.2 Ruta de recorrido de los camiones

El transporte de relaves en camiones se realizará desde la Relavera de Tamboraque hasta la Relavera de Chinchán recorriendo un total de 32 km a través de la carretera central bordeando o cruzando los poblados siguientes: Tamboraque, Máyoc, Ayar Alto, Ayar Bajo, San Mateo, Daza, Pite, Caruya, Río Blanco, Anchi Alto, Anchi Bajo, Chicla, Los Pinos, Bellavista, las unidades mineras Casapalca y Yauliyacu y los sectores Nuevo Esperanza, Unión Progreso, 3 de Enero y Embarcadero. La distancia en caminos afirmados entre los depósitos de relaves y la Carretera Central en las localidades de Tamboraque y Chinchán es menor a 1 km en cada caso.

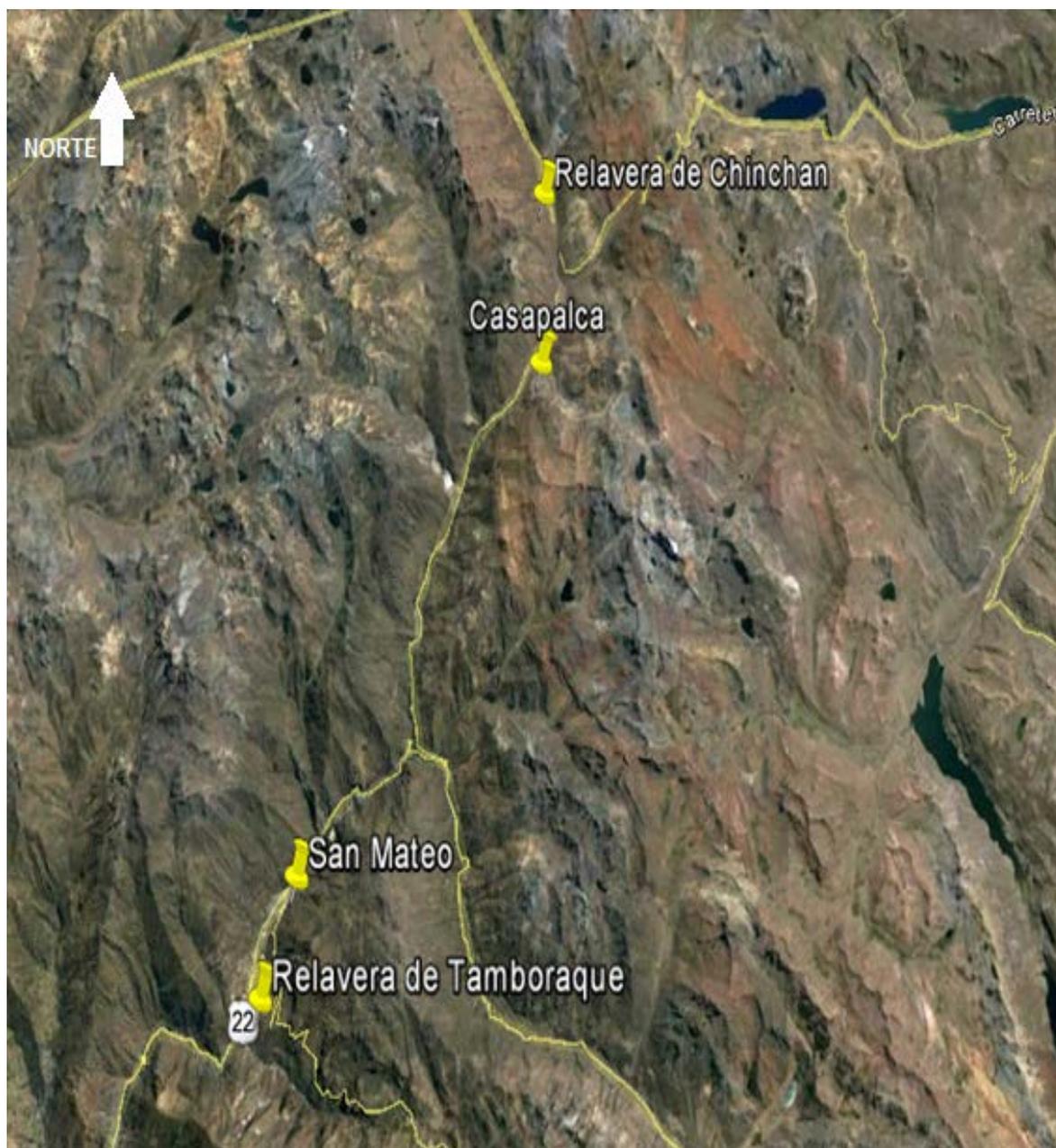


Figura 7.2 Ruta en la carretera central de los camiones

7.1.3 Capacidad de los camiones

Del registro del mes de Marzo del pesaje de camiones enviados a Chinchán se escogió en diferentes fechas de diferentes camiones, obteniéndose como una capacidad promedio por camión de 25,46 ton.

Tabla 7.2 Peso de los camiones

03/03/2013	07/03/2013	13/03/2013	21/03/2013	25/03/2013	28/03/2013	30/03/2013
WGF 257	D3J 898	B4G 765	B3W 814	WGO 603	C5L 915	WGF 256
25.06	28.02	25.06	24.30	26.03	27.63	26.93
26.95	27.70	23.69	26.02	26.18	23.37	25.07
27.95	28.06	26.13	23.78	24.05	26.09	21.77
27.50	28.79	25.32	25.27	25.24	24.74	26.31
26.30	27.50	25.11	26.03	26.67	25.74	27.52
25.69	26.51	23.57	24.82	24.04	25.16	26.37
27.87	27.05	24.35	25.79	24.31	27.19	25.11
26.39	28.11	24.17	25.52	24.12	25.37	28.75
25.04	24.99	25.75	22.10	22.87	25.00	26.34
25.28	27.14	24.83	25.42	24.30	23.63	25.15
24.64	27.87	26.00	23.32	24.09	24.53	24.46
23.57	28.86	24.04	24.65	25.30	24.19	25.60
26.78	28.38	26.21	24.56	24.12	23.10	27.67
26.11	25.43	23.25	24.84	22.43	23.84	24.41
24.53	25.84	24.41	25.88	23.26	24.24	25.54
26.88	25.89	24.44	26.99	23.86	23.77	24.66
25.85	25.33	25.85	24.69	24.77	24.76	24.71
24.11	25.09	24.57	26.94	23.06	22.43	26.03
26.01	24.67	25.95	22.46	25.08	25.14	25.78
25.13	24.36	24.63	26.03	23.25	25.59	26.15
24.46	24.90	25.17	24.69	24.01	26.54	27.00
26.59	24.59	24.79	25.44	24.12	27.88	27.34
27.15	25.54	23.69	26.05	25.14	25.63	28.09
27.67	25.46	27.07	24.30	25.02	27.93	27.01
26.08	24.48	27.12	25.36	26.14	26.69	26.54
26.08	24.99	27.10	23.40	23.02	25.00	26.68
26.98	24.51	28.22	25.66	23.66	25.66	26.68
24.48	24.58	25.57	25.82	23.57	26.43	29.32
26.36	24.85	24.36	26.90	24.85	23.95	26.92
25.98	26.19	25.19	25.07	24.36	25.21	26.20

Promedio **25.46**

7.2 FERROCARRIL CENTRAL

La vía férrea, actualmente en concesión privada, es operada por la empresa Ferrovías Central Andina S.A., El transporte se realiza desde la zona de carga en Tamboraque a la altura del km 120 de la vía férrea del Ferrocarril Central hasta la estación de descarga a en Chinchán a la altura del km 160, haciendo un recorrido de aproximadamente 40 km. Al realizar el transporte por vía férrea ésta pasa por los poblados siguientes: Tamboraque, San Mateo, Río Blanco, Chicla, Casapalca y Chinchán.

La vía férrea entre Tamboraque y Chinchán, y la locomotora tiene las siguientes características:

- Distancia del tramo: 40 km
- Ancho de trocha: 1,435 m
- Tipo de riel: 80 lb/Yd
- Durmientes: 6" x 8" x 8'
- Distancia entre durmientes: 0,61 m
- Pendientes de 3 % y en tramos muy excepcionales llegaría hasta 5 %
- Capacidad de Vagón (góndola): 55 ton
- Capacidad de arrastre de locomotora: 18 vagones (en el proyecto se emplean 6)

7.2.1 Carguío de vagones

El carguío del material en la estación de carga de Tamboraque se efectúa a través de una tolva alimentada a través de una faja transportadora que conduce el relave desde el patio de relave hasta los vagones de ferrocarril para su transporte a Chinchán.



Figura 7.3 Faja transportadora de carguío

7.2.2 Transporte por ferrocarril Tamboraque - Chinchán

Cuando los vagones estén debidamente cargados, entoldados y lavados, quedan en la línea de embarque de la estación de carga de Tamboraque desde donde son enganchados a una locomotora para ser transportados por la vía férrea, un aproximado de 40 km a la estación de descarga de Chinchán. Los vagones ingresan a la línea de desembarque para iniciar el proceso de descarga de relaves. El tipo de vagones que son utilizados, realizan la descarga lateral y tienen una capacidad de carga de 55 ton, en cada viaje se transportan 6 vagones haciendo un total de 330 ton por viaje que es la capacidad máxima de carga en subida de las locomotoras. Se proyectó un promedio de 4 viajes por día haciendo un total de 1 320 ton por día. El material transportado es cubierto adecuadamente

para evitar la dispersión del mismo, la cobertura deberá ser con una toldera de una lona



Figura 7.4 Vagones cargados

7.2.3 Tonelaje transportado por ferrovías

El transporte se realiza en vagones de 55 ton de capacidad de carga teórica que en la práctica se cargan con 50 ton, en cada viaje se transportan 6 vagones haciendo un total de 300 ton por viaje. Considerando un ritmo de dos viajes para transportar el total planeado (600 ton/d) de los relaves frescos de la planta, en la práctica ferrovías como máximo sólo envía un viaje por lo que nos retrasa el transporte de relave.

7.3 ESTUDIO DE LOS CICLOS DE LOS CAMIONES

En este estudio se ha considerado un ciclo que comprende ida y regreso desde la relavera de Tamboraque hasta la relavera de Chinchán a través de 32 km de la carretera central, y se tomó como muestra los ciclos ejecutados durante 24 días de dos camiones de placas B3W 814 y D3J 898.

Un ciclo de camión se inicia con el carguío de camiones en la relavera de Tamboraque, la ida hacia la relavera de Chinchán, el descargue del relave en la plataforma de compactación de Chinchán y el retorno del camión hacia la relavera de Tamboraque para que vuelva a ser cargado el camión.

7.3.1 Rango de horario de los ciclos

Se dividió el número de horas del día en seis intervalos de cuatro horas cada uno para observar los ciclos de cada camión en estudio, estas horas corresponden a las horas de partida del camión en la relavera de Tamboraque.

Tabla 7.3 Rango de horario

Intervalo	Rango de hora
1	[0, 4>
2	[4, 8>
3	[8, 12>
4	[12, 16>
5	[16, 20>
6	[20, 24>

En la data utilizada como se puede ver en el anexo 2, se tuvo en total 120 ciclos para un camión y 118 ciclos para el otro camión. Como se observa en los gráficos 7.5 y 7.6 en los intervalos estudiados 6 y 3 respectivamente se dan la mayor cantidad de partida de camiones desde la relavera de Tamboraque, justamente

esos intervalos corresponden a los inicios de guardia. También observamos que en el intervalo 2 se da la menor cantidad de partidas.

7.3.2 Ciclos por día

El análisis de los ciclos por día nos muestra que en promedio cada camión realiza 5 ciclos por día como se muestra en los gráficos 7.7 y 7.8

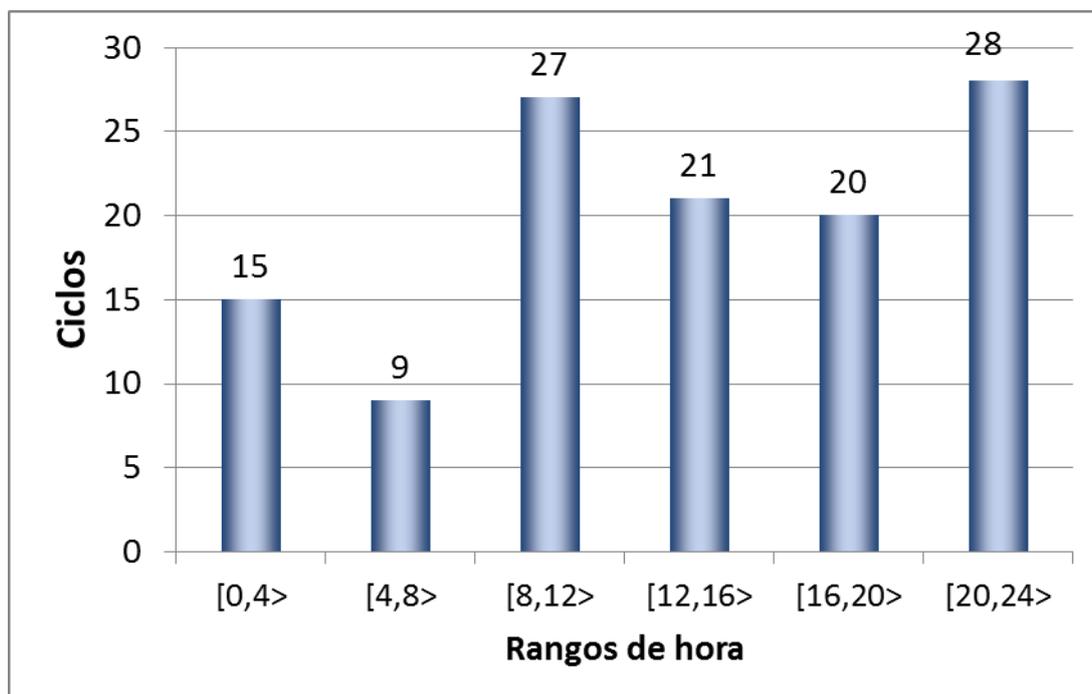


Figura 7.5 Ciclos por rango de hora del camión B3W 814

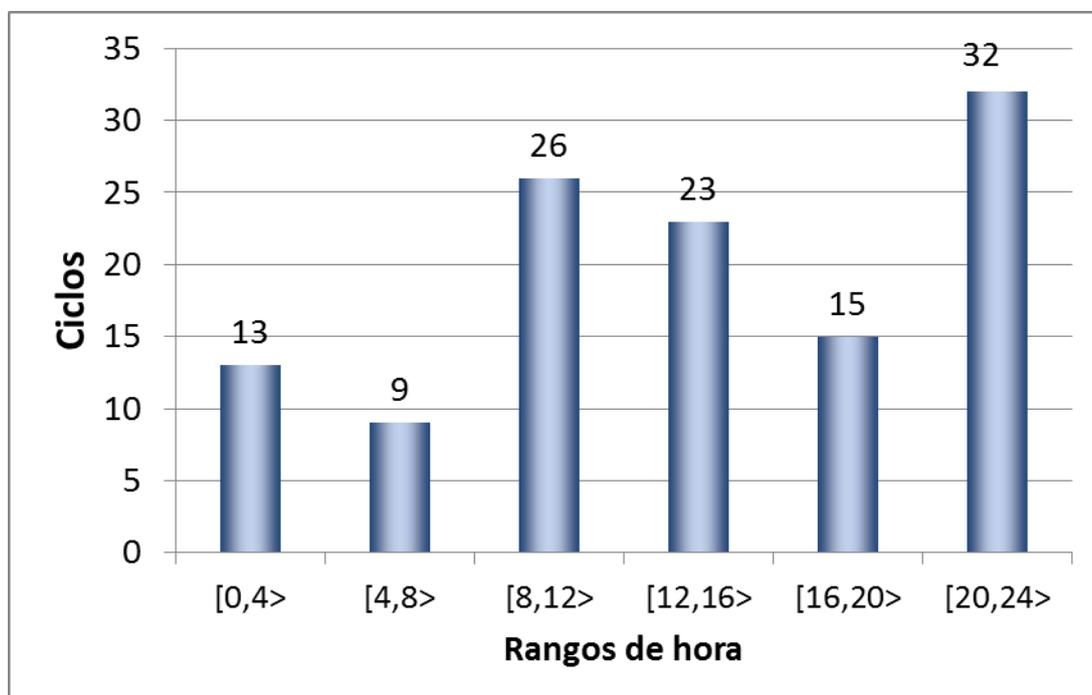


Figura 7.6 Ciclos por rango de hora del camión D3J 898

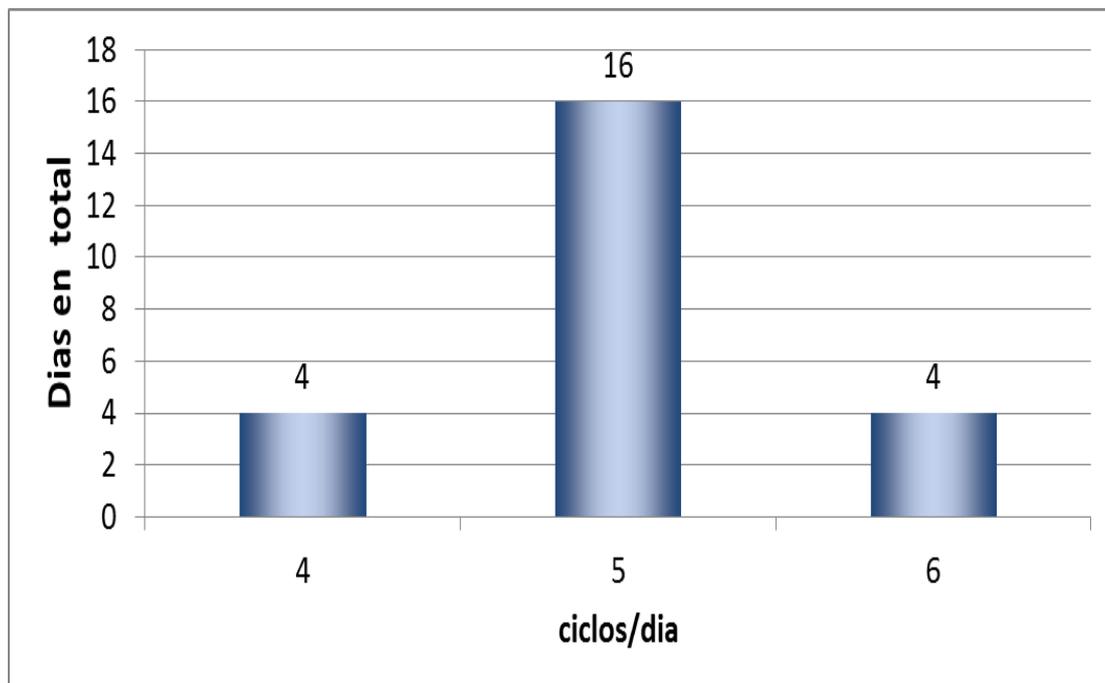


Figura 7.7 Ciclos por día del camión B3W 814

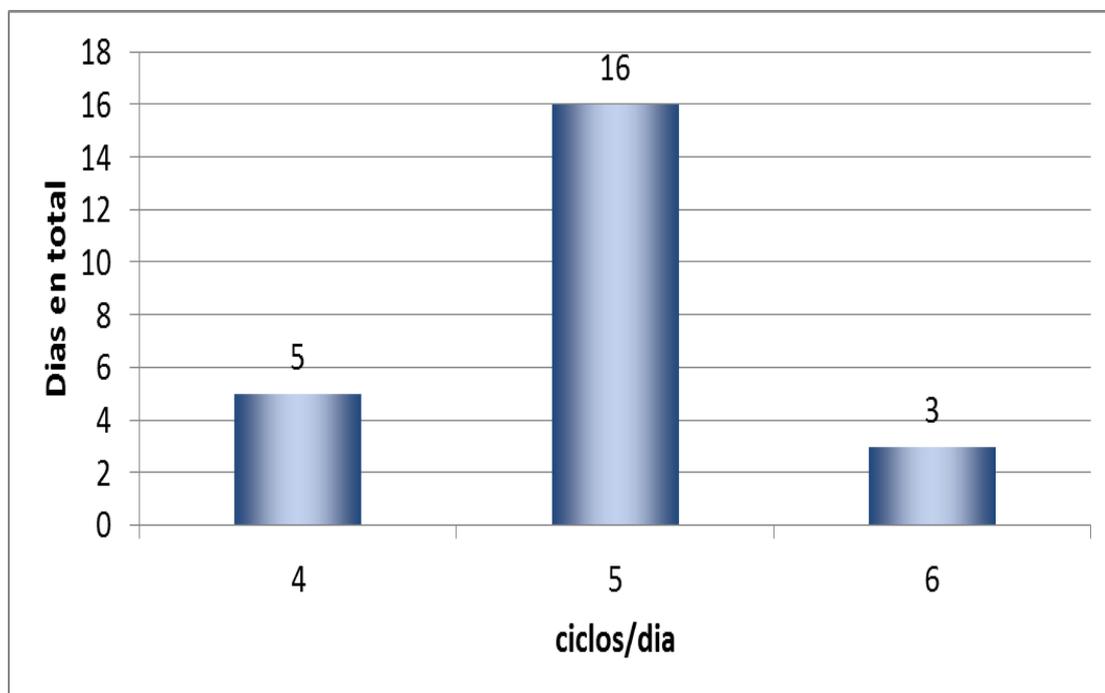


Figura 7.8 Ciclos por día del camión D3J 898

CAPÍTULO VIII

RELAVE TRANSPORTADO DURANTE LOS MESES DE ABRIL Y MAYO DEL 2013

Teniendo en cuenta que para el transporte por camiones se planeó 644,13 ton/d y Ferrovías Central Andina S.A. se comprometió a transportar 600 ton/d, a continuación mostraremos una comparación del transporte de relave entre ejecutado y planeado de los meses de Abril y Mayo del 2013.

8.1 RELAVE TRANSPORTADO EN CAMIONES

En Abril se transportó un 6,5 % menos de lo planeado esto se debió a que en ese mes empezó una nueva contrata de camiones para el traslado de relave, en mayo se transportó un 4,4 % más de lo planeado como se muestra en los siguientes gráficos.

8.2 RELAVE TRANSPORTADO EN VAGONES

El transporte de relave por vagones no fue el esperado, en Abril se transportó sólo el 34,7 % de lo planeado y en Mayo se transportó sólo el 29,5 % de lo planeado como se muestra en los siguientes gráficos.

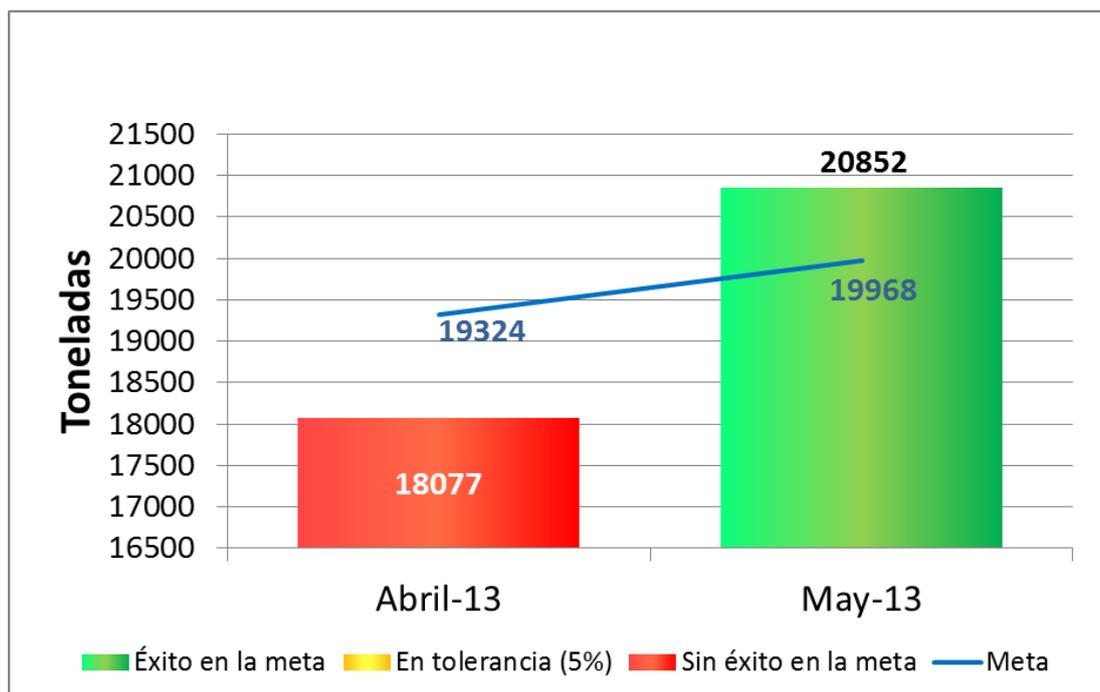


Figura 8.1 Toneladas de relave transportado en camiones

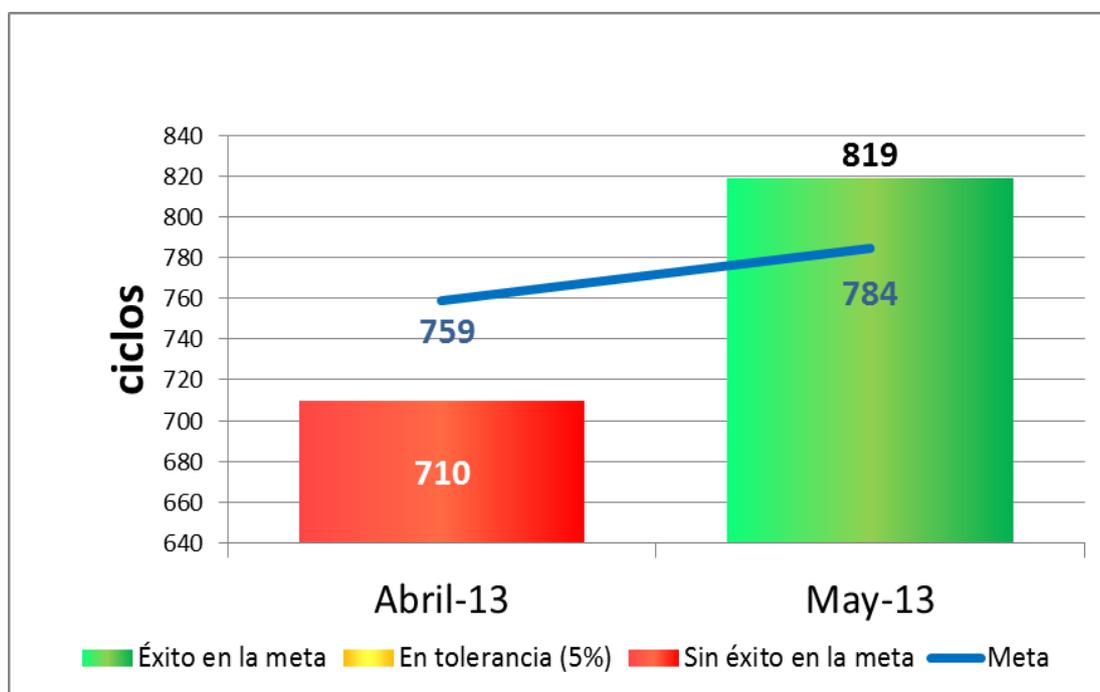


Figura 8.2 Ciclos de la flota de camiones

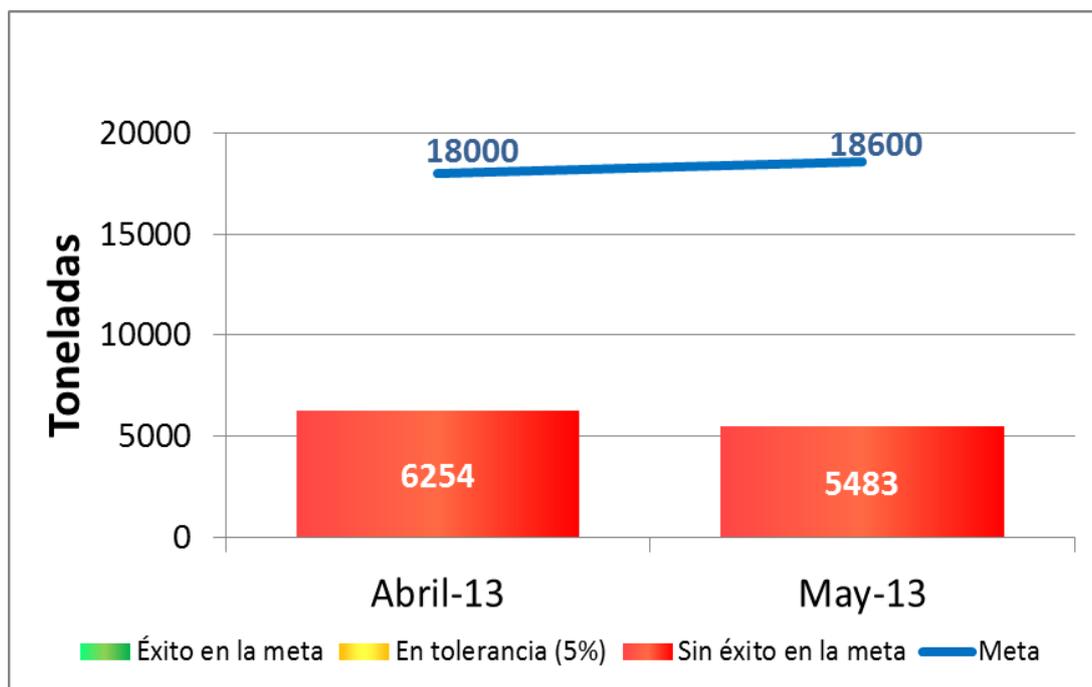


Figura 8.3 Toneladas de relave transportado en vagones

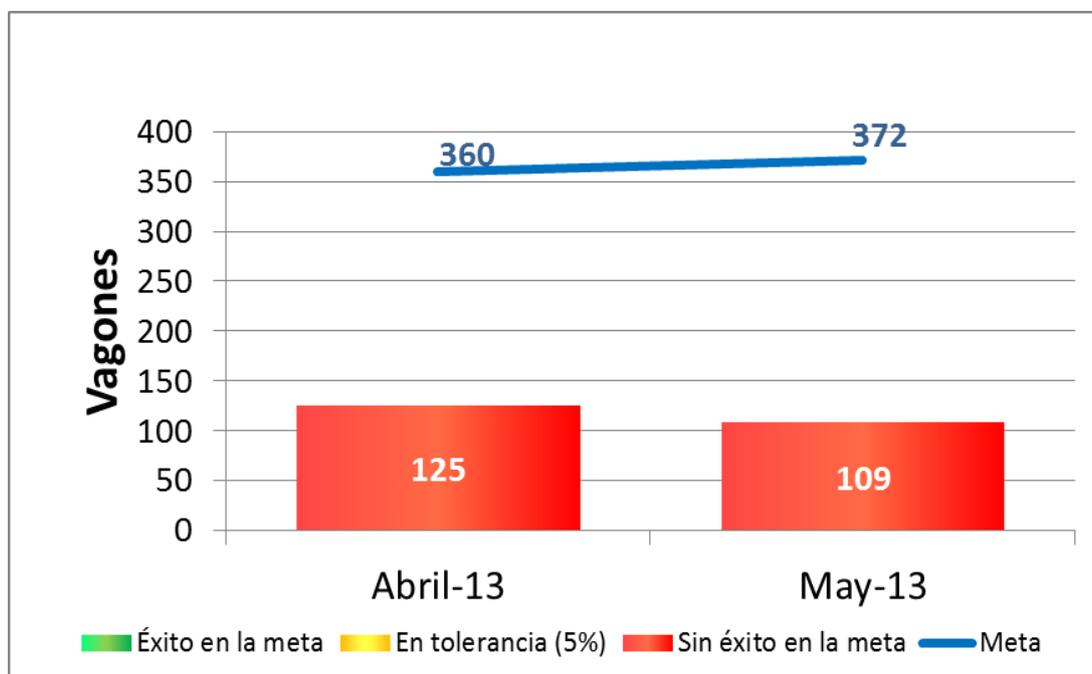


Figura 8.4 Cantidad de vagones

8.3 RESUMEN DEL RELAVE TRANSPORTADO

El transporte de relave total de Abril fue sólo del 65,1 % con respecto a lo planeado, en Mayo fue 68,2 % con respecto a lo planeado. La variación del relave ejecutado en comparación con el planeado lo determinó el transporte por vagones ya que Ferrovías Central Andina S.A. no envió la cantidad de vagones requeridos.

Tabla 8.1 Resumen del relave transportado

Mes	Ferrovias planeado (ton)	Ferrovias ejecutado (ton)	Ferrovias variación (ton)	camiones planeado (ton)	camiones ejecutado (ton)	camiones variación (ton)	ferrovias + camiones (ton) planeado	ferrovias + camiones (ton) ejecutado	ferrovias + camiones (ton) variación
Abril.2013	18000	6254	-11746	19324	18077	-1247	37324	24331	-12993
Mayo.2013	18600	5483	-13117	19968	20852	884	38568	26335	-12233

CAPÍTULO IX

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE RELAVE EN CAMIONES

La simulación de eventos discretos es una herramienta de análisis de operaciones de gran potencial debido a su estructura simple y de fácil comprensión. Puede aplicarse a sistemas complejos en operaciones mineras debido a que éstas también son de naturaleza discreta.

Para simular el sistema de transporte de relave se utilizó el lenguaje de programación GPSS, para eso primero se realizó la toma de tiempos de las diferentes actividades que realizan los camiones por cada ciclo.

9.1 ESTUDIO DE TIEMPOS DE LOS CAMIONES POR CICLO

Se realizó la toma de tiempos del sistema de transporte de relave desde la relavera de Tamboraque hacia la relavera de Chinchán, los tiempos tomados fueron de carguío, ida, descarga y retorno de los camiones por ciclo

9.1.1 Salida de camiones del estacionamiento

A inicio de guardia los operadores reciben charla diaria de seguridad, luego realizan el *check list* y encienden el motor de sus máquinas, luego los camiones

parten cada tres minutos del estacionamiento hacia la zona de carguío en la relavera de Tamboraque donde se encuentra la excavadora.

Tabla 9.1 Tiempos de inicio de guardia

Charla de seguridad (min)	Encendido y check list (min)	Tramo de estacionamiento hacia Relavera (min)
15	15	1

9.1.2 Carguío de camiones

Para la remoción del material de los bordes próximos al talud y el carguío de camiones se utiliza una excavadora de 195 HP.

Se observó que un camión es llenado en promedio con 10 pases de excavadora, en la siguiente tabla se observa los tiempos tomados que presentan una desviación estándar de 32 segundos, y los tiempos de carguío varían entre 03:49 y 04:54 minutos, con media 04:21.

Tabla 9.2 Tiempos de carguío de camiones

Equipo de carguío	Fecha (dd/mm/aa)	Hora (hh:mm)	Contrata	Volquete	Tiempo carguío (mm:ss)	Tiempo carguío (segundos)	pases	Toneladas por camión	Toneladas por pase
excavadora 250	11/04/2013	11:32	nca	wgf 256	04:40	280	9	25,51	2,83
excavadora 250	11/04/2013	15:51	nca	wgo 603	04:29	269	9,75	26,16	2,68
excavadora 250	11/04/2013	15:55	nca	b4g 765	05:02	302	10	25,45	2,55
excavadora 250	11/04/2013	16:01	nca	wgf 256	04:31	271	9,75	24,85	2,55
excavadora 250	11/04/2013	16:05	nca	d3j 898	03:52	232	9,5	25,32	2,67
excavadora 305	13/04/2013	16:01	nca	b3w 814	04:30	270	9,5	27,22	2,87
excavadora 305	27/04/2013	11:05	nca	wgf 256	03:25	205	11	24,48	2,23
Promedio					04:21	261	10	25,57	2,62



Figura 9.1 Excavadora cargando camión

9.1.3 Tramo de Tamboraque hacia Chinchán

La ida se realiza desde la relavera de Tamboraque hacia la relavera de Chinchán, a través de la carretera central los camiones remontan una pendiente en contra cargado. El tiempo promedio es de 2 horas y 11 minutos.

9.1.4 Descarga de camiones

La descarga se realiza directamente en el depósito de relaves Chinchán sobre la plataforma de compactación, en la siguiente tabla se observa los tiempos tomados que presentan una desviación estándar de 15 segundos, y los tiempos de carguío varían entre 00:45 y 01:15 minutos, con media 01:00.

Tabla 9.3 Tiempos de descarga de camiones

Fecha (dd/mm/aa)	Hora (hh:mm)	Contrata	Volquete	Descarga (mm:ss)
29/04/2013	09:52	nca	wgf 257	01:01
29/04/2013	10:03	nca	wgo 603	00:49
29/04/2013	10:28	nca	b4g 765	01:21
30/04/2013	09:40	nca	wgf 257	01:18
30/04/2013	09:56	nca	d3j 898	00:57
30/04/2013	10:04	nca	b3w 814	00:57
30/04/2013	10:25	nca	b4g 765	00:39
Promedio				01:00



Figura 9.2 Descarga de camión en Chinchan

9.1.5 Tramo de Chinchán hacia Tamboraque

El regreso se realiza desde la relavera de Chinchán hacia la relavera de Tamboraque, a través de la carretera central, este retorno los camiones lo realizan vacíos a favor de la pendiente. El tiempo promedio es de 1 hora y 3 minutos.

9.2 SIMULACIÓN

Con el fin de estudiar el comportamiento del sistema de transporte de relave, se realizó la simulación utilizando el programa GPSS.

9.2.1 Lenguaje de programación GPSS

El GPSS (General Purpose Simulation System), o Sistema de Simulación de Propósito General fue desarrollado en 1961 por G. Gordon de la IBM para simular procesos de eventos discretos.

Su código computacional es corto y similar al problema que se quiere resolver. El sistema es también muy versátil pudiendo ser mejorado continuamente.

9.2.2 Modelo del sistema de transporte de relave

La simulación del sistema actual se realizó para una guardia de 8 horas (28 800 segundos), se trabaja con 5 camiones cuyo estacionamiento se encuentra muy cercano a la relavera de Tamboraque, Los camiones primero salen del estacionamiento rumbo a la relavera de Tamboraque para ser cargado por una excavadora, luego los camiones salen rumbo a la relavera de Chinchán para descargar su carga y luego retornar hacia la relavera de Tamboraque. A continuación se detallan los tiempos.

Tabla 9.4 Tiempos de las actividades

Actividad	Tiempo (hh:mm:ss)	Tiempo (segundos)
Charla de seguridad	00:15:00	900
Check list camión	00:15:00	900
Traslado hacia zona carguío	00:01:00	60
carguío de relave	00:04:21	261
ida hacia chinchán	02:11:00	7860
descarga de relave	00:01:00	60
retorno hacia Tamboraque	01:03:00	3780
Total	03:50:21	13821

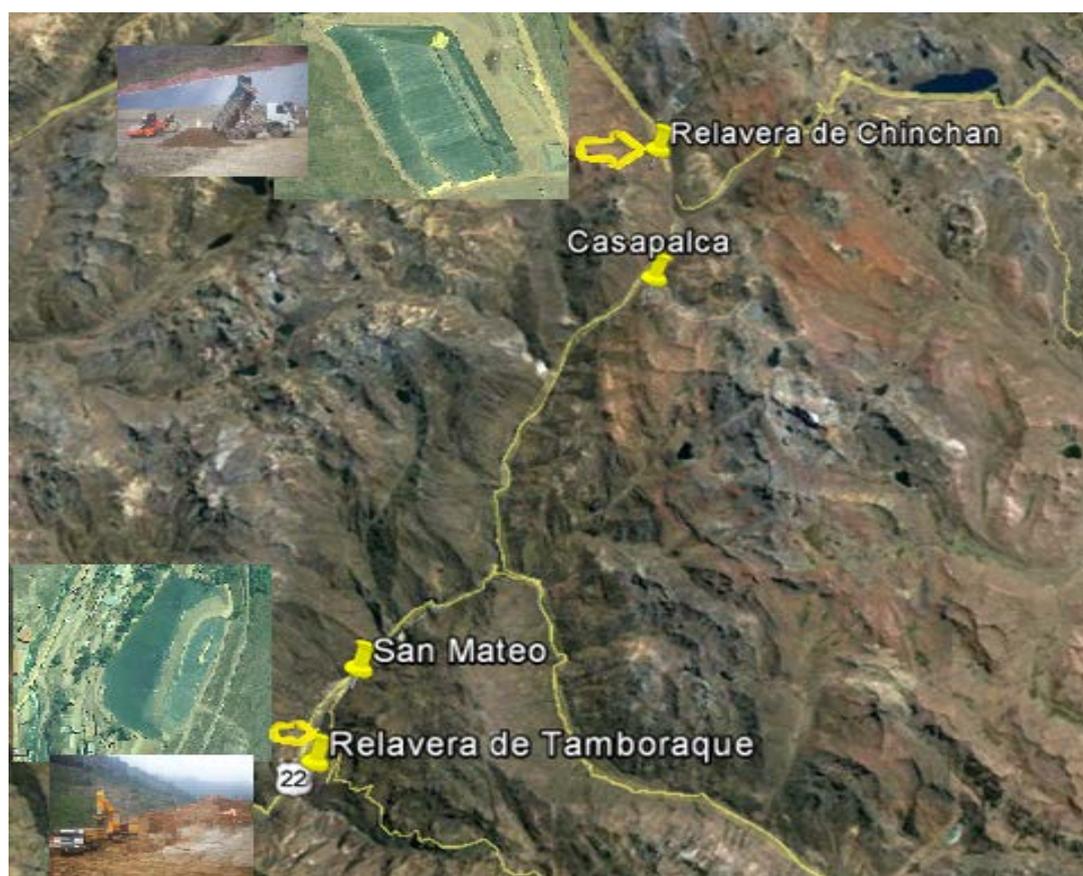


Figura 9.3 Sistema de transporte de relave

9.2.3 Algoritmo del sistema de transporte

Una característica básica del GPSS es el uso de bloques o símbolos para representar actividades. El formato general de entrada de datos es fijo y consta de cuatro partes: Nombre (Label), Operación (Operation), Operandos (Operands) y Comentarios (Comments). En total se cuenta con 48 símbolos que traducen las actividades en la simulación de un sistema. Algunos de estos símbolos que se usan en el programa minero desarrollado en esta presentación, se describen en seguida en forma muy resumida.

GENERATE A,B,C,D,E. Crea transacciones de bloque a bloque o de arribos al sistema que pueden ser llegadas de camiones a un punto o de personas a un servicio, etc., donde los operandos son: A, tiempo medio entre llegadas; B, desviación con respecto a la media; C, tiempo de ocurrencia de la primera transacción; D, límite de transacciones en el bloque y E, prioridad en las transacciones.

SEIZE A. y RELEASE A. El primero inicia entrada al servicio A y el segundo libera al servicio o facilidad A para ser usado por otra transacción.

ADVANCE A, B. Muestra el tiempo promedio de servicio A con su desviación media B.

TERMINATE A. Cuenta las transacciones que pasan por el sistema y se usa cuando hay más de un bloque GENERATE porque una transacción no debe ir a un bloque GENERATE directamente cuando la transacción debe salir del sistema. A es un dígito que controla la ejecución del programa en conexión con el bloque START.

START A. El operando A es un contador que controla la ejecución del programa.

QUEUE B, A. Forma la cola. A es el nombre o número de la cola, B es la cantidad de incremento o disminución de la cola A.

DEPART B, A. Reduce el contenido de la cola A en B unidades. Permite la salida del bloque QUEUE A.

ENTER A. Indica el Servicio A que debe usarse, escogiéndolo entre varios existentes.

LEAVE A. Indica el Servicio A que dejó en libertad o la salida del servicio que se estaba usando.

DO A, B, C. Repite el circuito cerrado donde A es límite inferior, B es límite superior y C es el incremento.

TRANSFER A, B, C. Mueve la transacción en forma no secuencial, pudiendo, ser condicional, incondicional o ambos.

TEST E. Dirige la transacción a un determinado bloque o lo retiene hasta que se cumpla cierta condición. TEST puede ser negación o norma., así TEST E A, B, C, es un operador de interrogación: mayor que, menor que, etc. A y B son atributos numéricos o elementos estadísticos que se someten a prueba y se guardan para impresión. C es el bloque al que se dirige la transacción si la prueba es falsa.

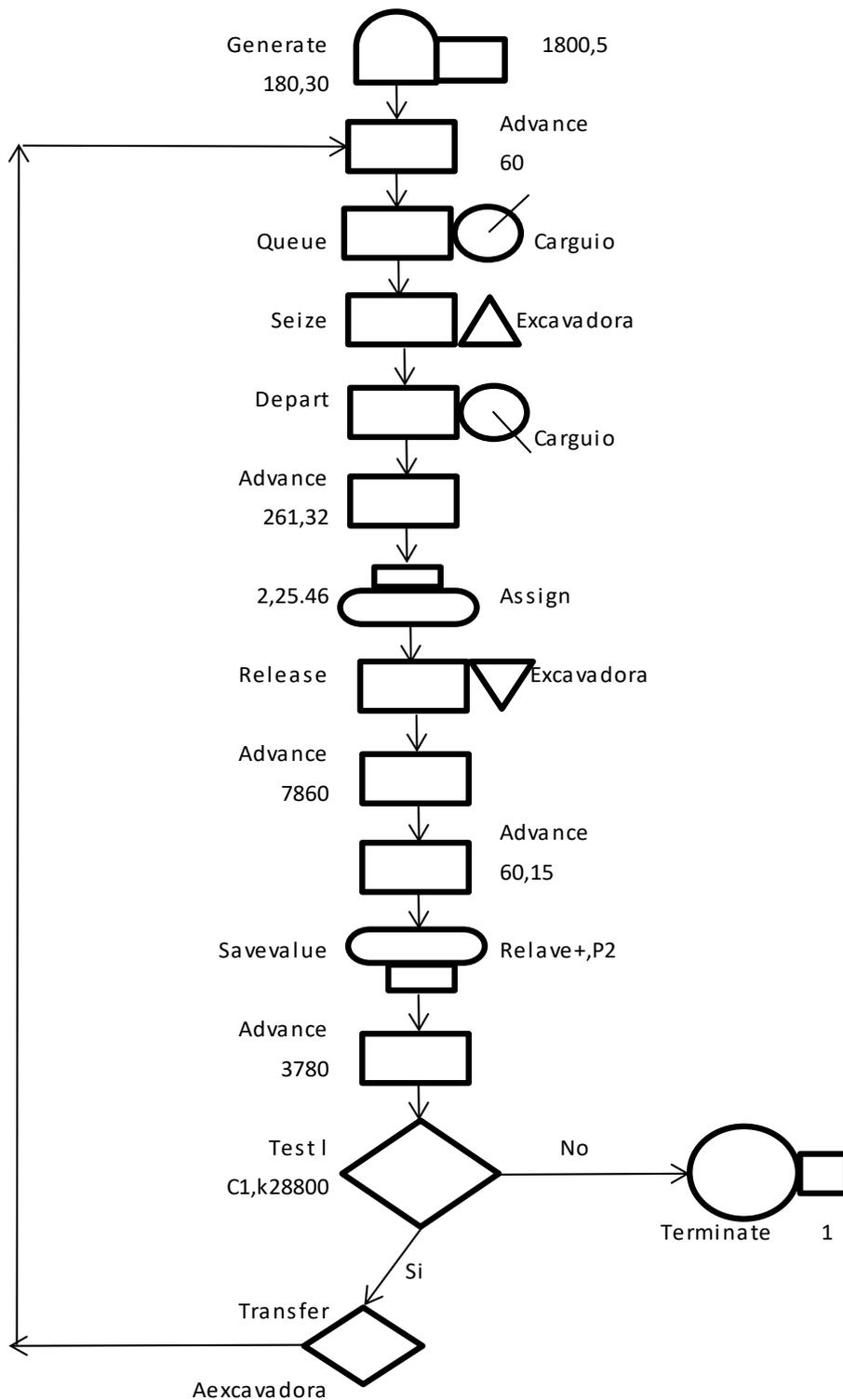


Figura 9.4 Diagrama de flujo del sistema de transporte de relave

9.2.4 Código en el programa GPSS

```

initial x$relave,0
t1 equ 60
t2 equ 7860
t3 equ 3780

aexcavadora generate 180,30,1800,5
advance t1
queue uno
seize excavadora
depart uno
advance 261,32
assign 2,25.46
release excavadora
advance t2
advance 60,15
savevalue relave+,p2
advance t3
test 1 c1,28800,fin
transfer ,aexcavadora
fin terminate 1
start 1

```

9.2.5 Resultados y análisis

- **Simulación con 5 camiones**

El programa GPSS nos muestra su reporte de resultados de la simulación del sistema de transporte:

GPSS World Simulation Report - camiones.26.1

Saturday, January 04, 2014 16:22:31

STORAGES	START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	
	0.000	37869.849	15	1	0

NAME	VALUE
AEXCAVADORA	2.000
EXCAVADORA	10005.000
FIN	15.000
RELAVE	10000.000
T1	60.000
T2	7860.000
T3	3780.000
UNO	10004.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT
RETRY				
0	1	GENERATE	5	0
AEXCAVADORA	2	ADVANCE	15	0
0	3	QUEUE	15	0
0	4	SEIZE	15	0
0	5	DEPART	15	0
0	6	ADVANCE	15	0
0	7	ASSIGN	15	0
0	8	RELEASE	15	0
0	9	ADVANCE	15	0
0	10	ADVANCE	15	0
0	11	SAVEVALUE	15	0
0	12	ADVANCE	15	4
0	13	TEST	11	0
0	14	TRANSFER	10	0
FIN	15	TERMINATE	1	0
0				

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER
RETRY DELAY							
EXCAVADORA	15	0.103	259.862	1	0	0	0
0 0							

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME
AVE.(-0) RETRY					
UNO	2	0	15	5	0.024
92.207 0					61.471

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
RELAVE	0	381.900

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER
VALUE						
2	0	38157.058	2	12	13	2
25.460						
3	0	38464.279	3	12	13	2
25.460						

4	0	38732.929	4	12	13	2
25.460						
5	0	38960.282	5	12	13	2
25.460						

Este reporte de resultados muestra que la excavadora carga 15 camiones transportando un total de 381,9 ton de relave por guardia, por lo tanto por mes se transportará 22 914 ton.

El porcentaje de utilización de la excavadora en el carguío es 10,3 %, cuando no hay camiones para cargar que es la mayor cantidad de tiempo, la excavadora trabaja cortando los taludes y principalmente venteando el relave, es decir moviendo el relave de un sitio a otro y mezclando relaves de alta humedad con relave de baja humedad con el fin de bajar la humedad del relave.

- **Simulación con 6 camiones**

Se realizó la simulación aumentando un camión más al sistema de transporte de relave obteniéndose el siguiente reporte de resultados:

GPSS World Simulation Report - Transp. Relave.29.1

Saturday, January 04, 2014 17:07:04

	START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	
STORAGES	0.000	37879.339	15	1	0

NAME	VALUE
AEXCAVADORA	2.000
EXCAVADORA	10005.000
FIN	15.000
RELAVE	10000.000
T1	60.000
T2	7860.000
T3	3780.000
UNO	10004.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT
RETRY				
0	1	GENERATE	6	0
AEXCAVADORA	2	ADVANCE	18	0
0	3	QUEUE	18	0
0	4	SEIZE	18	0
0	5	DEPART	18	0
0	6	ADVANCE	18	0
0	7	ASSIGN	18	0
0	8	RELEASE	18	0
0	9	ADVANCE	18	0
0	10	ADVANCE	18	0
0	11	SAVEVALUE	18	0
0	12	ADVANCE	18	5
0	13	TEST	13	0
0	14	TRANSFER	12	0
FIN	15	TERMINATE	1	0
0				

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER
RETRY DELAY							
EXCAVADORA	18	0.127	266.894	1	0	0	0
0 0							

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME
AVE.(-0) RETRY					
UNO	2	0	18	4	0.036 75.248
96.747 0					

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
RELAVE	0	458.280

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER
VALUE						
2	0	38151.290	2	12	13	2
25.460						
3	0	38427.385	3	12	13	2
25.460						
4	0	38742.010	4	12	13	2
25.460						

5	0	38982.542	5	12	13	2
25.460						
6	0	39256.984	6	12	13	2
25.460						

Este reporte de resultados muestra que la excavadora carga 18 camiones transportando un total de 458,28 ton de relave por guardia, por lo tanto por mes se transportará 27 497 ton. El porcentaje de utilización de la excavadora en el carguío subió hasta 12,7 %.

- **Simulación con 7,8 y 9 camiones**

El transporte mensual incluyendo camiones y vagones planeado es 38 000 ton, si sólo utilizamos camiones entonces con nueve camiones cumplimos el programa. Con vagones se transportan 6 000 ton en promedio, en ese caso necesitaríamos siete camiones para transportar las 32 000 ton restantes.

Tabla 9.5 Simulación de camiones

Cantidad de camiones	Transporte relave (ton)	% Utilización Excavadora
5	22914	10,3
6	27497	12,7
7	32080	14,1
8	36662	16,3
9	41245	18,6

CAPÍTULO X

RELAVE TRANSPORTADO EN JUNIO DEL 2013

Para las operaciones de Junio del 2013 se requirió un camión más, en este capítulo veremos cuanto se ha transportado en relación a los meses anteriores donde se contaba con cinco camiones.

10.1 RELAVE TRANSPORTADO EN CAMIONES

En Junio se transportó un 25,5 % más con respecto a lo planeado y un 16,3 % más con respecto al ejecutado en el mes de Mayo.

10.2 RELAVE TRANSPORTADO EN VAGONES

Ferrovías Central Andina continuó enviándonos menos vagones de lo que requerimos, en junio se transportó sólo el 36 % de lo planeado.

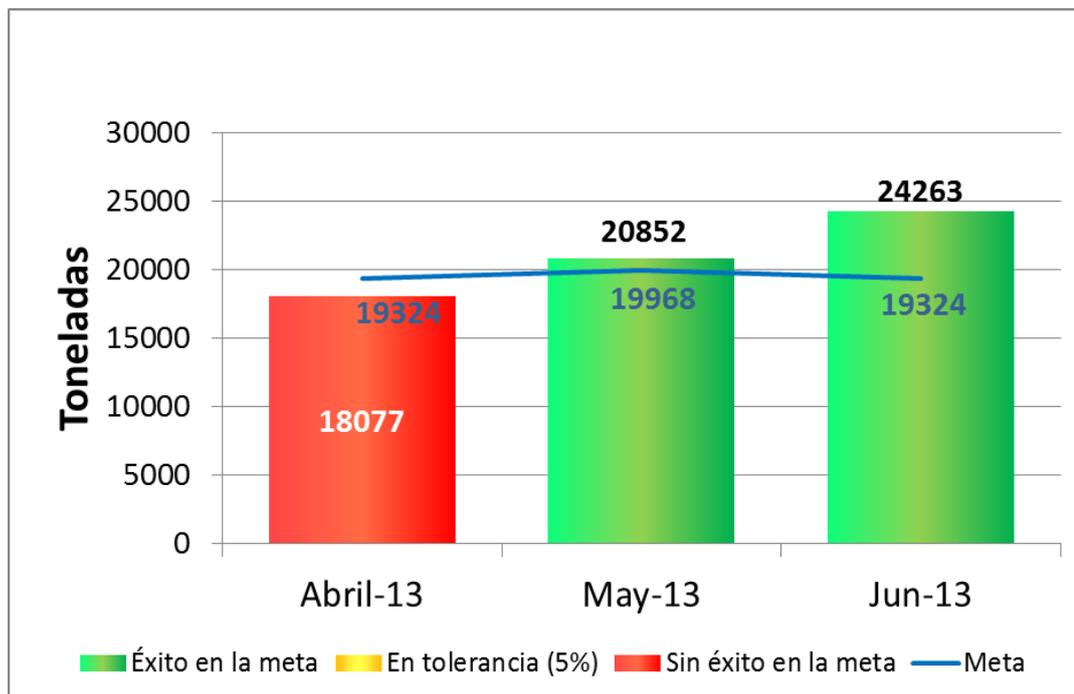


Figura 10.1 Toneladas de relave transportado en camiones

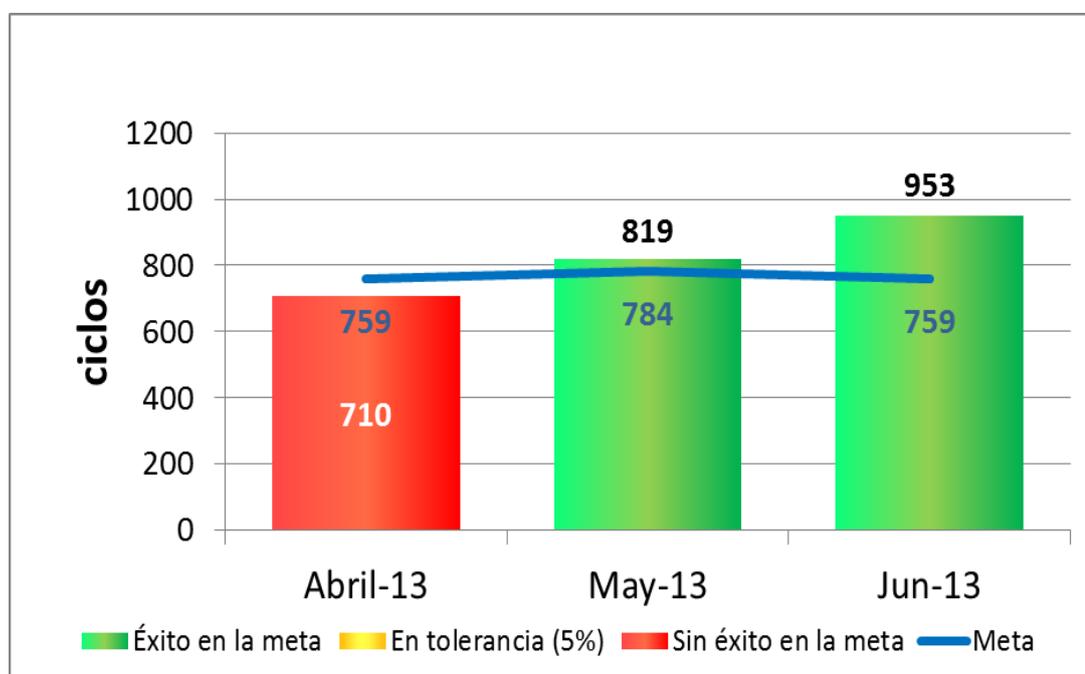


Figura 10.2 Ciclos de la flota de camiones

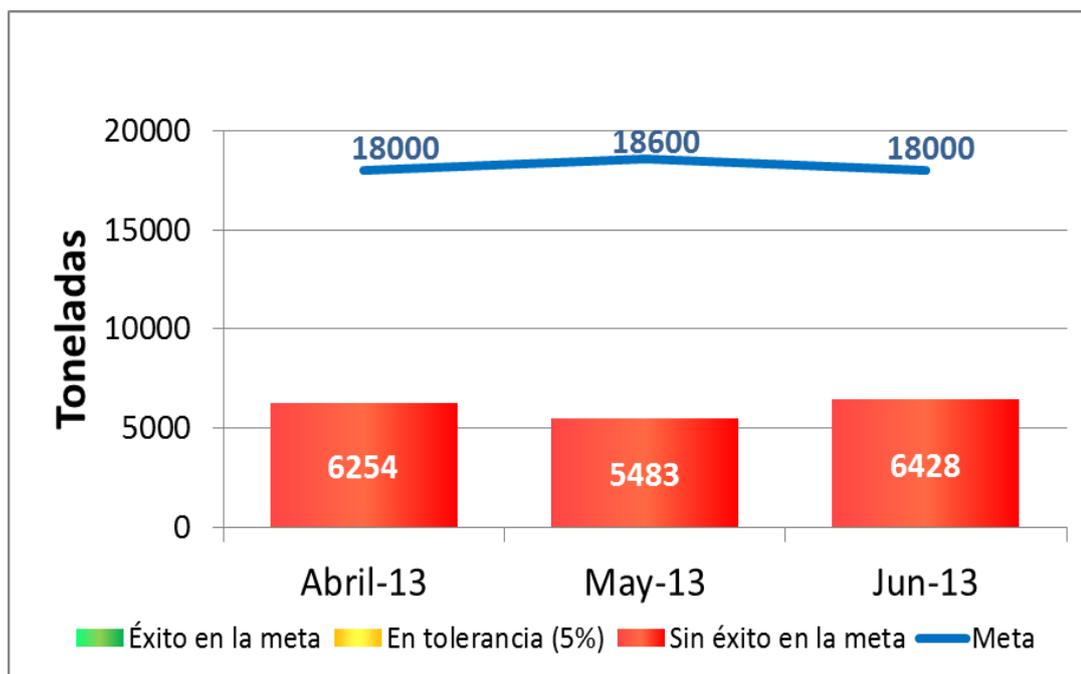


Figura 10.3 Toneladas de relave transportado en vagones

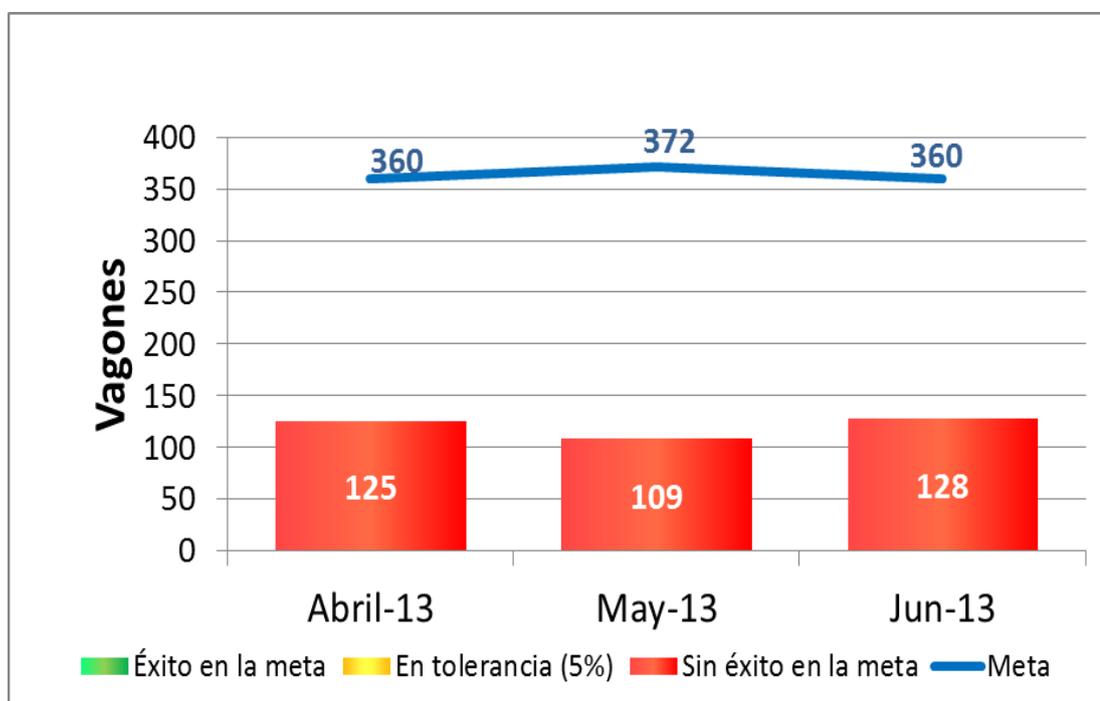


Figura 10.4 Cantidad de vagones

10.3 RESUMEN DEL RELAVE TRANSPORTADO

El transporte en vagones no está cumpliendo con lo planeado, el transporte en camiones si está cumpliendo con lo planeado como se muestra en la tabla siguiente

Tabla 10.1 Resumen del relave transportado

Mes	Ferrovias planeado (ton)	Ferrovias ejecutado (ton)	Ferrovias variación (ton)	camiones planeado (ton)	camiones ejecutado (ton)	camiones variación (ton)	ferrovias + camiones planeado (ton)	ferrovias + camiones ejecutado (ton)	ferrovias + camiones variación (ton)
Abril.2013	18000	6254	-11746	19324	18077	-1247	37324	24331	-12993
Mayo.2013	18600	5483	-13117	19968	20852	884	38568	26335	-12233
Junio.2013	18000	6428	-11572	19324	24263	4939	37324	30691	-6633
Total	54600	18166	-36434	58616	63192	4576	113216	81357	-31859

CAPÍTULO XI

COSTOS DE TRANSPORTE DE RELAVE

El costo en dólares por tonelada de relave transportado en camiones es 5,38 y en vagones 6,01.

11.1 PRIMER CASO

Si aumentamos la flota de camiones hasta siete transportaremos 32 000 toneladas mensuales, las 6 000 restantes son transportadas por Ferrovías.

Tabla 11.1 Primer caso

	Toneladas	Costo (\$)
Camiones	32000	172160
Vagones	6000	36060
Total	38000	208220

11.2 SEGUNDO CASO

Si sólo utilizamos camiones, para cumplir el programa necesitamos nueve camiones.

Tabla 11.2 Segundo caso

	Toneladas	Costo (\$)
Camiones	38000	204440

La diferencia entre ambos casos es 3 780 dólares por mes, para 28 meses de plazo de transporte de relave haría una diferencia total de 105 840 dólares.

Con los nueve camiones se cumple con transportar los 1 060 002 toneladas de relave en 25 meses, es decir 3 meses antes del plazo fijado.

Tabla 11.3 Transporte con nueve camiones

Mes	Camiones (ton)
Abril.2013	41245
mayo	42620
junio	41245
Julio.2013	42620
Agosto.2013	42620
Septiembre.2013	41245
Octubre.2013	42620
Noviembre.2013	41245
Diciembre.2013	42620
Enero.2014	42620
Febrero.2014	38495
Marzo .2014	42620
Abril.2014	41245
Mayo.2014	42620
Junio.2014	41245
Julio.2014	42620
Agosto.2014	42620
Setiembre 2014	41245
Octubre.2014	42620
Noviembre.2014	41245
Diciembre.2014	42620
Enero.2015	42620
Febrero.2015	38495
Marzo .2015	42620
Abril.2015	41245
Mayo.2015	0
Junio.2015	0
Julio.2015	0
TOTAL	1044873

CONCLUSIONES

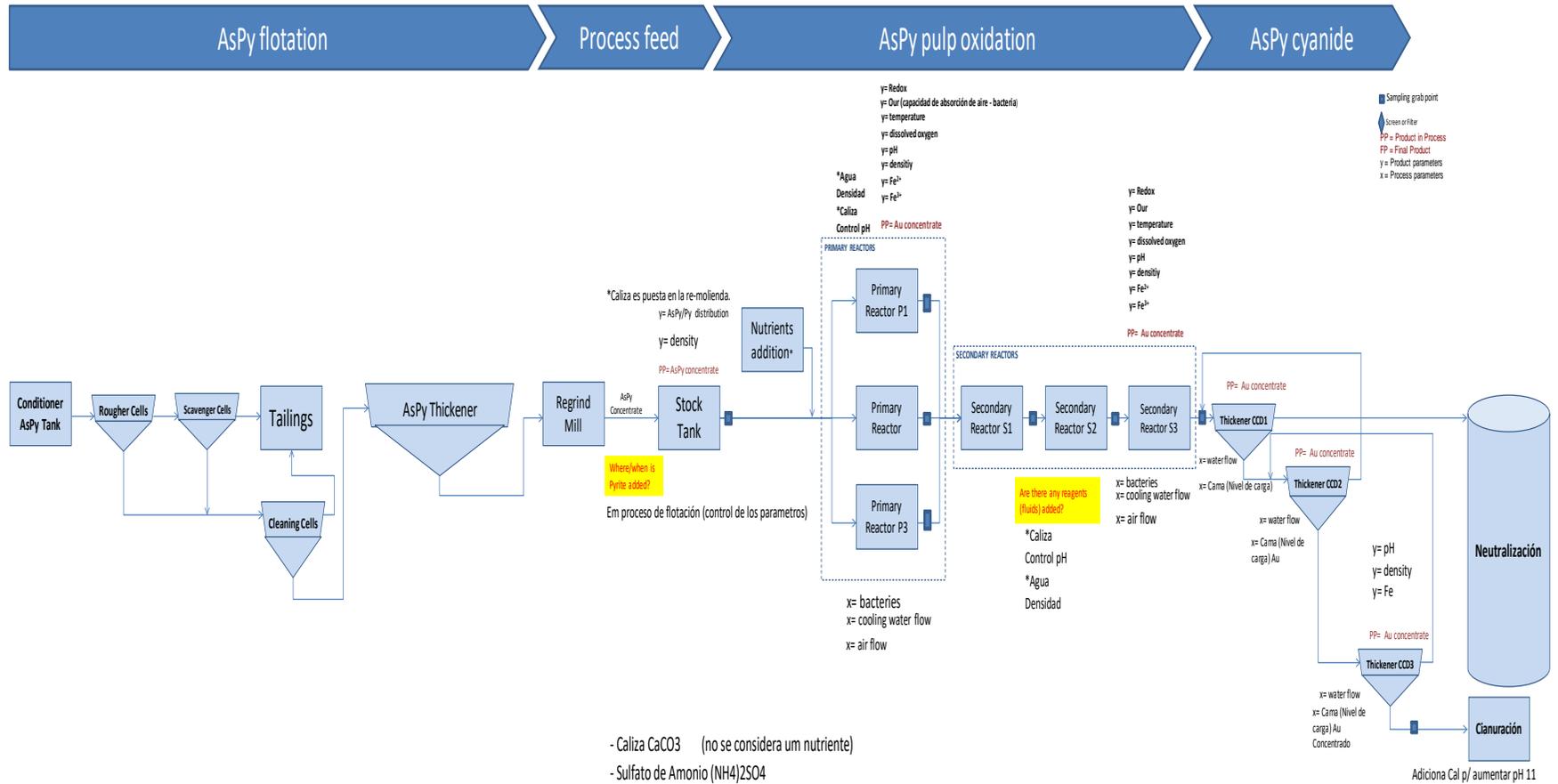
1. Para cumplir con el programa de transporte de relave se necesitan siete camiones para transportar 32 000 toneladas mensuales ya que Ferrovías Central Andina sólo nos proporciona vagones para las restantes 6 000 toneladas.
2. Utilizando nueve camiones también cumplimos con transportar las 38 000 toneladas, en ese caso ya no utilizaríamos ningún vagón de Ferrovías.
3. Utilizar para el transporte de releve solamente camiones y prescindir de ferrovías nos ahorraría 105 840 dólares.
4. Con los nueve camiones se cumpliría con transportar el relave planeado con tres meses de anticipación ante lo programado, esto nos serviría como contingencia ante cualquier retraso en las operaciones de transporte de relave.

BIBLIOGRAFIA

1. Marin Suárez A. (2009). *Análisis de Sistemas Mineros*. (Disertación doctoral). Universidad Nacional de Ingeniería.
2. Marin Suárez A. (1974). *Simulación con GPSS*. Santiago: Departamento de Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
3. Sturgull John R. (1999). *Mine Design, Examples Using Simulation*. Society of Mining Engineers.
4. Taha Hamdy A. (1986). *Investigación de Operaciones, Una introducción*. Representaciones y servicios de ingeniería S.A. México.
5. SVS Ingenieros. (2008, Diciembre). *Estudio de Impacto ambiental del depósito de relaves Chinchán*.
6. Twp Sudamérica. (2012, Julio). *Revisión y Evaluación de la Relavera Chinchán Sur*.
7. Cáceres López, O. (2011). *El problema de los relaves mineros en el cerro Tamboraque*. Recuperado de <http://www.minsa.gob.pe/cns/Archivos/Sesiones/120/expo01.pdf>

ANEXOS

Anexo 1



- Caliza CaCO₃ (no se considera un nutriente)
- Sulfato de Amonio (NH₄)₂SO₄
- Sulfato de Potasio K₂SO₄
- Fosfato diamonico (NH₄)₂P₂O₄

Anexo 2

Camión		B3W 814		
fecha	hora de partida	mes	ciclos	intervalo
13	03:00	Abr.2013	5	1
13	09:00	Abr.2013	5	3
13	12:11	Abr.2013	5	4
13	19:42	Abr.2013	5	5
13	23:07	Abr.2013	5	6
14	02:42	Abr.2013	5	1
14	08:55	Abr.2013	5	3
14	12:57	Abr.2013	5	4
14	16:18	Abr.2013	5	5
14	23:04	Abr.2013	5	6
15	02:35	Abr.2013	5	1
15	09:10	Abr.2013	5	3
15	13:19	Abr.2013	5	4
15	16:47	Abr.2013	5	5
15	23:04	Abr.2013	5	6
16	02:43	Abr.2013	4	1
16	09:35	Abr.2013	4	3
16	14:39	Abr.2013	4	4
16	22:18	Abr.2013	4	6
17	04:45	Abr.2013	5	2
17	09:38	Abr.2013	5	3
17	14:29	Abr.2013	5	4
17	18:36	Abr.2013	5	5
17	22:33	Abr.2013	5	6
18	02:02	Abr.2013	5	1
18	09:00	Abr.2013	5	3
18	12:11	Abr.2013	5	4
18	16:20	Abr.2013	5	5
18	21:38	Abr.2013	5	6
19	01:34	Abr.2013	5	1
19	09:28	Abr.2013	5	3
19	13:36	Abr.2013	5	4
19	17:50	Abr.2013	5	5
19	22:10	Abr.2013	5	6
20	01:32	Abr.2013	5	1
20	09:25	Abr.2013	5	3
20	13:46	Abr.2013	5	4
20	17:32	Abr.2013	5	5
20	22:21	Abr.2013	5	6
21	03:06	Abr.2013	5	1
21	08:50	Abr.2013	5	3
21	12:00	Abr.2013	5	4
21	16:38	Abr.2013	5	5
21	21:06	Abr.2013	5	6
22	01:18	Abr.2013	5	1
22	08:53	Abr.2013	5	3
22	12:15	Abr.2013	5	4
22	17:03	Abr.2013	5	5
22	21:42	Abr.2013	5	6
23	01:12	Abr.2013	5	1
23	08:30	Abr.2013	5	3
23	11:49	Abr.2013	5	3
23	16:03	Abr.2013	5	5
23	22:38	Abr.2013	5	6
24	01:58	Abr.2013	4	1
24	09:31	Abr.2013	4	3
24	13:55	Abr.2013	4	4
24	20:24	Abr.2013	4	6
25	00:10	Abr.2013	6	1
25	08:37	Abr.2013	6	3
25	11:59	Abr.2013	6	3
25	15:39	Abr.2013	6	4
25	20:30	Abr.2013	6	6
25	23:46	Abr.2013	6	6
26	03:27	Abr.2013	5	1
26	09:30	Abr.2013	5	3

26	13:27	Abr.2013	5	4
26	17:24	Abr.2013	5	5
26	21:23	Abr.2013	5	6
27	00:25	Abr.2013	6	1
27	04:38	Abr.2013	6	2
27	09:00	Abr.2013	6	3
27	12:25	Abr.2013	6	4
27	17:49	Abr.2013	6	5
27	22:34	Abr.2013	6	6
28	02:00	Abr.2013	6	1
28	05:06	Abr.2013	6	2
28	09:12	Abr.2013	6	3
28	13:39	Abr.2013	6	4
28	17:50	Abr.2013	6	5
28	23:20	Abr.2013	6	6
29	04:43	Abr.2013	5	2
29	09:10	Abr.2013	5	3
29	13:18	Abr.2013	5	4
29	17:19	Abr.2013	5	5
29	22:58	Abr.2013	5	6
30	05:02	Abr.2013	6	2
30	09:33	Abr.2013	6	3
30	13:50	Abr.2013	6	4
30	17:59	Abr.2013	6	5
30	21:14	Abr.2013	6	6
30	23:50	Abr.2013	6	6
1	10:25	May.2013	4	3
1	17:11	May.2013	4	5
1	22:36	May.2013	4	6
1	23:50	May.2013	4	6
2	11:30	May.2013	4	3
2	15:03	May.2013	4	4
2	19:42	May.2013	4	5
2	23:25	May.2013	4	6
3	04:35	May.2013	5	2
3	09:18	May.2013	5	3
3	13:57	May.2013	5	4
3	20:08	May.2013	5	6
3	23:42	May.2013	5	6
4	04:37	May.2013	5	2
4	09:07	May.2013	5	3
4	13:38	May.2013	5	4
4	19:50	May.2013	5	5
4	23:20	May.2013	5	6
5	04:40	May.2013	5	2
5	08:32	May.2013	5	3
5	11:52	May.2013	5	3
5	17:45	May.2013	5	5
5	23:10	May.2013	5	6
6	04:57	May.2013	5	2
6	09:11	May.2013	5	3
6	12:10	May.2013	5	4
6	19:45	May.2013	5	5
6	23:21	May.2013	5	6

Camión		D3J 898		
fecha	hora de partida	mes	ciclos	intervalo
13	03:15	Abr.2013	4	1
13	09:40	Abr.2013	4	3
13	13:52	Abr.2013	4	4
13	22:55	Abr.2013	4	6
14	02:36	Abr.2013	5	1
14	09:11	Abr.2013	5	3
14	13:10	Abr.2013	5	4
14	16:41	Abr.2013	5	5
14	23:07	Abr.2013	5	6
15	02:55	Abr.2013	5	1
15	09:49	Abr.2013	5	3
15	13:45	Abr.2013	5	4
15	17:07	Abr.2013	5	5
15	23:52	Abr.2013	5	6
16	03:05	Abr.2013	4	1
16	09:51	Abr.2013	4	3
16	14:33	Abr.2013	4	4
16	22:31	Abr.2013	4	6
17	04:48	Abr.2013	5	2
17	09:48	Abr.2013	5	3
17	13:51	Abr.2013	5	4
17	18:45	Abr.2013	5	5
17	22:07	Abr.2013	5	6
18	01:45	Abr.2013	5	1
18	08:51	Abr.2013	5	3
18	11:56	Abr.2013	5	3
18	15:50	Abr.2013	5	4
18	21:30	Abr.2013	5	6
19	01:55	Abr.2013	5	1
19	09:23	Abr.2013	5	3
19	13:40	Abr.2013	5	4
19	16:52	Abr.2013	5	5
19	22:06	Abr.2013	5	6
20	01:40	Abr.2013	5	1
20	10:09	Abr.2013	5	3
20	14:05	Abr.2013	5	4
20	18:05	Abr.2013	5	5
20	23:27	Abr.2013	5	6
21	03:12	Abr.2013	6	1
21	09:07	Abr.2013	6	3
21	12:08	Abr.2013	6	4
21	16:25	Abr.2013	6	5
21	20:14	Abr.2013	6	6
21	23:47	Abr.2013	6	6
22	09:31	Abr.2013	4	3
22	14:05	Abr.2013	4	4
22	17:10	Abr.2013	4	5
22	21:21	Abr.2013	4	6
23	00:56	Abr.2013	5	1
23	07:51	Abr.2013	5	2
23	11:04	Abr.2013	5	3
23	15:20	Abr.2013	5	4
23	22:19	Abr.2013	5	6
24	02:14	Abr.2013	5	1
24	10:09	Abr.2013	5	3
24	14:05	Abr.2013	5	4
24	20:32	Abr.2013	5	6
24	23:59	Abr.2013	5	6
25	09:46	Abr.2013	4	3
25	15:35	Abr.2013	4	4
25	20:22	Abr.2013	4	6
25	23:12	Abr.2013	4	6
26	01:59	Abr.2013	6	1
26	05:43	Abr.2013	6	2
26	13:42	Abr.2013	6	4
26	17:38	Abr.2013	6	5
26	21:14	Abr.2013	6	6
26	23:48	Abr.2013	6	6
27	09:05	Abr.2013	5	3

27	13:55	Abr.2013	5	4
27	17:23	Abr.2013	5	5
27	20:38	Abr.2013	5	6
27	23:50	Abr.2013	5	6
28	02:35	Abr.2013	6	1
28	05:33	Abr.2013	6	2
28	10:38	Abr.2013	6	3
28	14:13	Abr.2013	6	4
28	17:54	Abr.2013	6	5
28	23:53	Abr.2013	6	6
29	03:44	Abr.2013	5	1
29	09:30	Abr.2013	5	3
29	14:12	Abr.2013	5	4
29	20:02	Abr.2013	5	6
29	23:58	Abr.2013	5	6
30	08:10	Abr.2013	5	3
30	11:27	Abr.2013	5	3
30	14:40	Abr.2013	5	4
30	19:44	Abr.2013	5	5
30	23:25	Abr.2013	5	6
1	05:06	May.2013	5	2
1	10:34	May.2013	5	3
1	15:47	May.2013	5	4
1	22:25	May.2013	5	6
1	23:52	May.2013	5	6
2	11:40	May.2013	4	3
2	15:15	May.2013	4	4
2	19:49	May.2013	4	5
2	23:30	May.2013	4	6
3	04:15	May.2013	5	2
3	10:05	May.2013	5	3
3	14:01	May.2013	5	4
3	20:10	May.2013	5	6
3	23:30	May.2013	5	6
4	04:30	May.2013	5	2
4	09:12	May.2013	5	3
4	13:48	May.2013	5	4
4	19:27	May.2013	5	5
4	22:32	May.2013	5	6
5	04:31	May.2013	5	2
5	08:48	May.2013	5	3
5	12:01	May.2013	5	4
5	17:04	May.2013	5	5
5	22:40	May.2013	5	6
6	04:37	May.2013	5	2
6	08:51	May.2013	5	3
6	11:55	May.2013	5	3
6	19:07	May.2013	5	5
6	22:50	May.2013	5	6