

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



**“APLICACIONES DE GEOSINTETICOS EN VIAS DE
ACARREO MINERO”**

INFORME DE SUFICIENCIA

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

**ELABORADO POR:
RICHAR SANDRO BALBOA ZEGARRA**

**ASESOR:
ING. AUGUSTO TEVES ROJAS**

**LIMA - PERÚ
2013**

AGRADECIMIENTO

A MINERA YANACOCHA S.R.L. por permitirme aplicar conocimientos

A la FIGMM – UNI por brindármelos.

DEDICATORIA

Para Emilio y María Jesus, luz desde el cielo.

Y para Stephany, mi pilar en la tierra.

RESUMEN

El costo del acarreo en las operaciones de Minera Yanacocha S.R.L. (MYSRL) representa cerca del 50 por ciento del costo total de producción (44% en el año 2011 y 46% en el año 2012) y está relacionado con la velocidad de los camiones y con la vida útil de sus componentes.

El régimen climático al que están sometidas las vías donde MYSRL desarrolla sus operaciones consiste de 07 meses de fuertes precipitaciones (cerca de 400mm al mes) que impactan en forma directa en la velocidad y en la vida útil de componentes, situación que se agrava por la contaminación superficial de las vías, debido al arrastre de los suelos finos que predominan en gran parte de los tajos.

Las limitaciones para conseguir canteras de materiales que cumplan con los requerimientos de las normas de carreteras, sumadas a las dificultades para procesarlos, ha llevado a la búsqueda de nuevos materiales de ingeniería que permitan disminuir los costos de acarreo minero.

Los geosintéticos son materiales modernos de ingeniería, fabricados a partir de polímeros básicos, que han sido desarrollados para ser usados en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos. Se diseñan según la función que prestan, para cumplir uno o varios requisitos.

En este trabajo se describe una aplicación innovadora e inédita de geosintéticos en las funciones de refuerzo e impermeabilización de las vías de acarreo y los aspectos relacionados con el desarrollo de los procesos de diseño, construcción y evaluación de resultados en estructuras de caminos de acarreo nuevos y existentes, así como la estrategia seguida para validar esta nueva tecnología.

ABSTRACT

The cost of hauling in the operations of the Minera Yanacocha S.R.L. (MYSRL) represents approximately 50 percent of the total production cost and is related to the speed of the trucks and the life of their components.

The climate to which the roads for the MYSRL operation are exposed consists of high precipitations that directly impact the speed and life. This is also aggravated by the superficial contamination of the roads due to the dragging of fine soils that are predominant in the pit.

The limitations to obtain quarries with materials that meet the requirements of the roads specifications, and the difficulties to process those materials, have led to the search of new engineered materials to reduce the costs of mining hauling.

Geosynthetics are modern engineering materials, constructed from basic polymers that have been created to be used in the enhancement of the physical properties of soils. They are designed according to their function to meet one or multiple requirements.

In this paper, an innovative application of geosynthetics for reinforcement and impermeabilization of the hauling roads is described. Details related to the design, construction and evaluation of results in structures of existing and new hauling roads are presented, along with the research approach that was followed to validate this new technology.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I – ASPECTOS GENERALES	
1.1 Ubicación y accesibilidad	11
1.2 Antecedentes	14
1.3 Clima y vegetación	15
1.4 Geomorfología	16
CAPITULO II – PRINCIPALES ASPECTOS DEL DISEÑO DE VIAS DE ACARREO	
2.1 Diseño geométrico	18
2.2 Parámetros de diseño para curvas en accesos de Mina	20
2.2.1 Elementos de curva	20
2.3 Diseño estructural	21
2.4 Sistema de cargas sobre una vía	22
2.5 Materiales	24
2.5.1 Geosintéticos	24

CAPITULO III – DESARROLLO Y COLECCIONDE DATOS

3.1 Desarrollo	27
----------------	----

CAPITULO IV – PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación	33
------------------	----

4.2 Discusión de resultados	36
-----------------------------	----

CONCLUSIONES	39
---------------------	----

RECOMENDACIONES	40
------------------------	----

BIBLIOGRAFIA	41
---------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Valores Promedio del CBR y de la Abrasión en Canteras	24
TABLA 2	Gradación y propiedades recomendados para capa rodadura	29
TABLA 3	Vías Tratadas en el año 2012	31
TABLA 4	Comparación de Velocidades en Vías con y sin Tratamiento	32

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Plano de Ubicación del distrito de Cajamarca	13
FIGURA 2	Tajos operativos de Minera Yanacocha	15
FIGURA 3	Paisaje puna con vegetación, mostrando el ichu	16
FIGURA 4	Bloques rocosos con superficies planas	17
FIGURA 5	Dimensiones de flota mayor en MYSRL	19
FIGURA 6	Secciones Transversales de Vías de Acarreo en MYSRL	20
FIGURA 7	Secciones Transversales de Vías de Acarreo para drenaje Superficial en MYSRL	21
FIGURA 8	Sistemas de cargas sobre una Vía de Acarreo Minero en MYSRL	22
FIGURA 9	Sección teórica, típica de un pavimento	23
FIGURA 10	Mejoramiento Tradicional de Vías	23
FIGURA 11	Diseño Típico de Refuerzo de una Vía de Acarreo Existente	26
FIGURA 12	Efecto de Trabazón de Agregados o “Interlocking” ocasionado	29

por una geo-malla.

FIGURA 13 Colocación de la geo-membrana sobre la primera capa de geotextil de protección. 30

FIGURA 14 Colocación de la segunda capa de geotextil de protección sobre la geo-membrana. 31

FIGURA 15 Colocación de la geo-malla sobre la primera capa de material de rodadura. 32

FIGURA 16 Colocación de la segunda capa de material de rodadura sobre la geo-malla. 35

FIGURA 17 Medición del espesor compactado por el paso de los vehículos de acarreo minero. 35

FIGURA 18 Exhumación de la geo-malla multiaxial dentro de la Capa de Rodadura 37

FIGURA 19 Exhumación del geo-compuesto impermeable entre la Base y la Capa de Rodadura. 38

INTRODUCCIÓN

La presencia de lluvias y las velocidades inadecuadas de los camiones en las Vías de Acarreo, hacen que la estructura y la geometría de las vías se vean deterioradas por el intenso tráfico (las 24 horas del día).

Por la falta de conocimiento, los operadores de equipo auxiliar en las vías desgastan su estructura granular, haciendo a la vía cada vez más intransitable.

La eficiencia mecánica de cada uno de los camiones va disminuyendo y la vida útil de las llantas se va deteriorando con más rapidez.

Si a todo esto sumamos la escorrentía superficial debido al deficiente sistema de drenaje, encontramos que el mantenimiento, rediseño y mejora de la vía es una actividad prioritaria para la continuidad de la operación.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El Distrito Minero de Yanacocha se ubica en el norte del territorio peruano, específicamente en el Departamento de Cajamarca, provincia de la Encañada, aproximadamente a unos 25Km. en línea recta al norte este de la ciudad de Cajamarca y cuyas elevaciones se encuentra entre las alturas de 3400 a 4200 m.s.n.m. Pertenece a la franja volcánica terciaria andina del norte del Perú. (Fig 1).

Sus coordenadas geográficas son:

78°25' - 78°33'-----Longitud Oeste

06°54' - 07° 04'-----Latitud Sur

La accesibilidad se puede hacer vía aéreo ó terrestre desde la Ciudad de Lima hasta la ciudad de Cajamarca siguiendo la ruta:

Lima - Cajamarca 960Km.

A partir de la ciudad de Cajamarca se puede acceder vía terrestre aproximadamente 1 hora de viaje a la instalación de operaciones de Minera

Yanacocha a través del acceso Cajamarca – Hualgayog; en donde se tiene una carretera hasta la operación.

Cajamarca - Oficinas Administrativas 24Km.

Oficinas Administrativas - Área de Seguridad (Huandoy) 9 Km.

Área de Seguridad (Huandoy) - Tajos 6-18 Km.

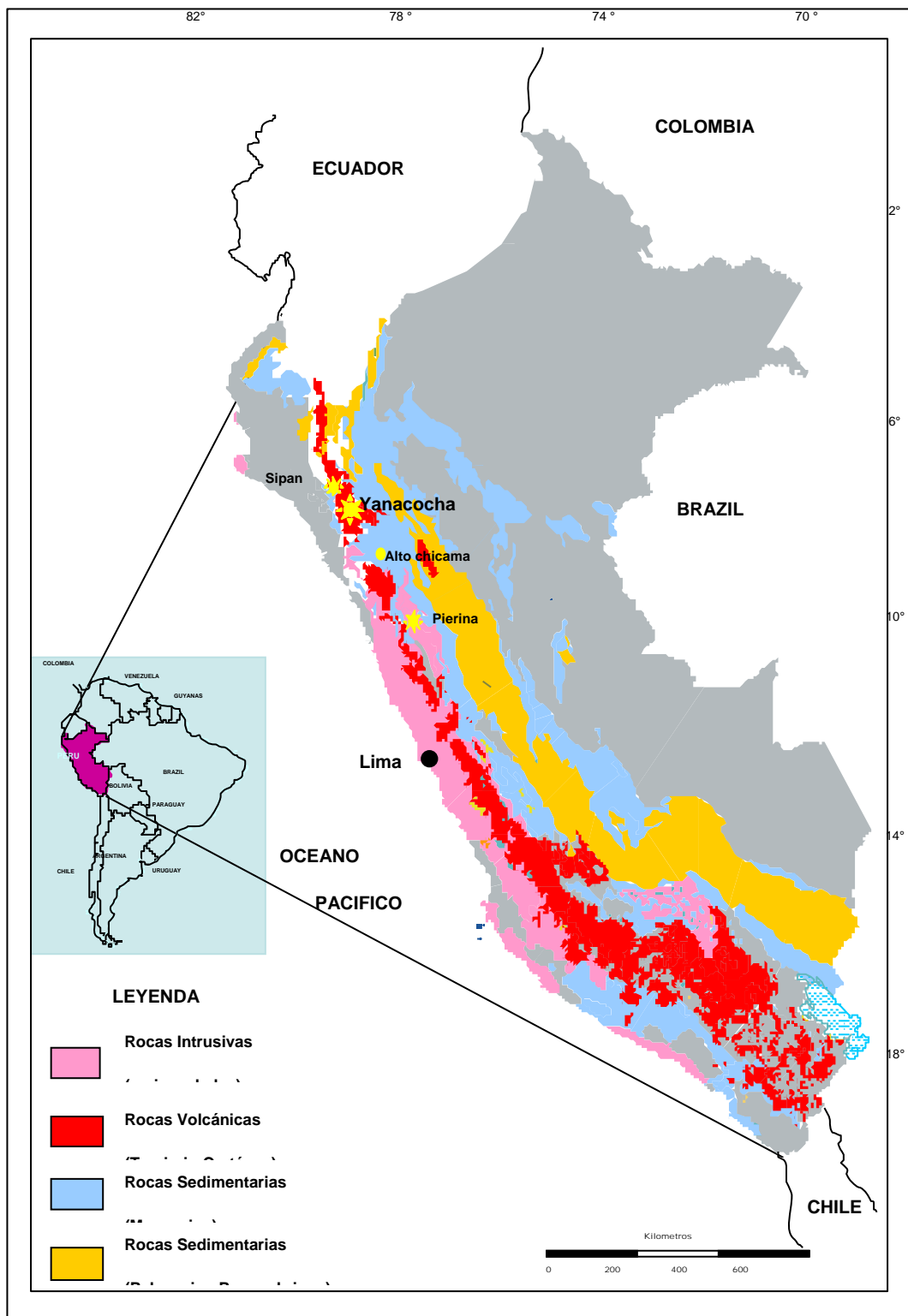


Figura.1. Plano de ubicación del distrito de Yanacocha

Fuente: MYSRL

1.2. ANTECEDENTES

El distrito minero de Yanacocha es un conjunto de yacimientos epitermales diseminados de oro de alta sulfuración, en el cual inicialmente existieron algunas minas de mercurio en algunas partes del distrito. La exploración moderna comenzó en los años 60 cuando en 1968 la compañía Nipón Mining realizó 13 sondajes en la exploración por cobre. En el año 1979, la compañía BGS realiza una campaña regional de geoquímica en sedimentos de quebradas. En los años 80, Cedimin (BRGM) detecta las primeras anomalías geoquímicas de plomo y plata. En 1983 Newmont Mining Corporation realiza visitas a esta zona y en 1984 se realiza Joint venture con Cedimin y Compañía de Minas Buenaventura. La primera mineralización de oro en superficie se descubre en 1984, cuando los muestreos de rocas permitieron la identificación de varias anomalías geoquímicas de superficie.

La perforación en el distrito minero de Yanacocha comenzó en 1985. Entre los años 1986 a 1990 se descubren los yacimientos de Yanacocha Sur, Yanacocha Norte, Carachugo, Maqui Maqui, San José, Cerro Quilish y Cerro Negro. En 1992 se determinó la primera reserva distrital de 1.28 millones de onzas. En los años 1997 y 1999 se descubren los yacimientos de La Quinoa, el Tapado, Chaquicocha y Corímayo.

Minera Yanacocha SRL. (Propiedad del 51% de Newmont Mining Corp., 44% de Compañía de Minas Buenaventura y el 5 % del IFC), comenzó la producción en el yacimiento de Carachugo en 1993 y desde entonces a diciembre 2010 se han recuperado 23 millones de onzas de oro y 2 billones de toneladas movidas en todas sus operaciones activas y concluidas en lo que actualmente es la operación minera

de oro más grande de Sudamérica trabajando en la actualidad los tajos de Yanacocha, Chaquicocha y La Quinua. (Fig. 2)

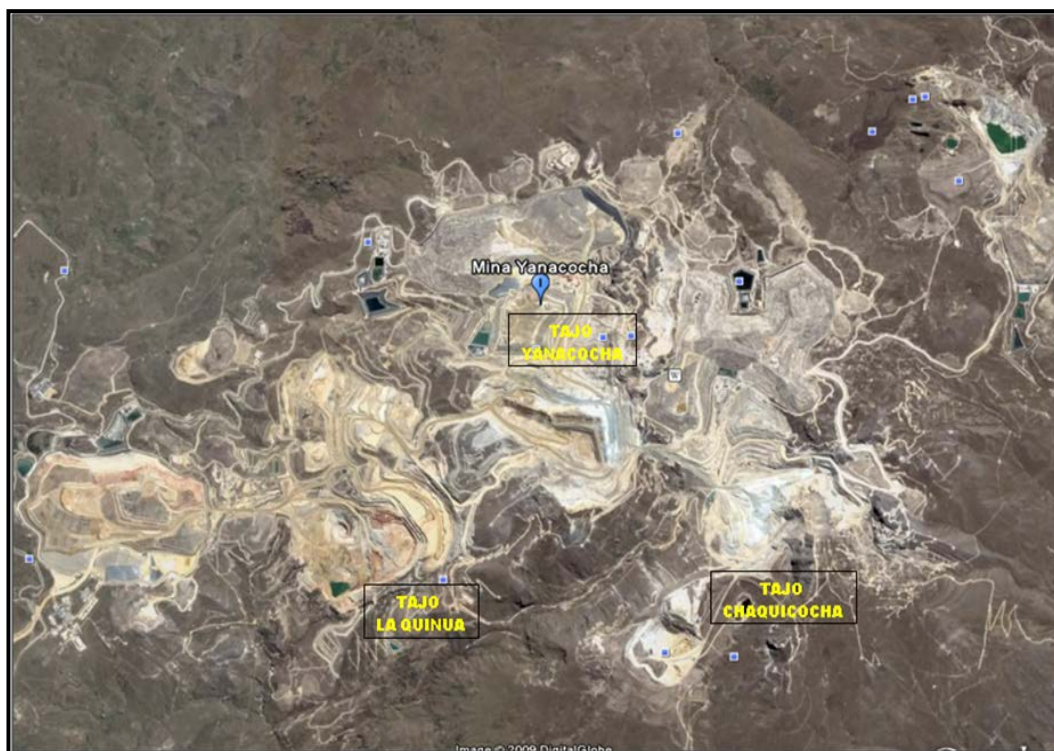


Figura 2. Tajos operativos de Minera Yanacocha

Fuente: MYSRL

1.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

La zona se encuentra en la región puna y presenta un cuadro climático propio:

- Clima Sub - húmedo y templado.
- Clima Sub - húmedo y semi frío.
- Clima húmedo y frío.

La temperatura promedio anual fluctúa entre los 11° C. las temperaturas máximas llegan a superar los 20° C. mientras que la temperaturas mínimas promedio se

encuentran por debajo de los -10° C, comúnmente llegándose a registrar temperaturas bajo cero ocasionando heladas.

La vegetación es representada por el pino y plantas nativas como el ichu. Por la naturaleza de la región, esta no es apta para el cultivo ni sembrío.



Figura 3. Paisaje puna con vegetación, mostrando el ichu (Zona sureste Proyecto CHAQUICOCHA)

Fuente: MYSRL

1.4. GEOMORFOLOGÍA

El distrito minero de Yanacocha, presenta relieves accidentados, propios de una actividad erosiva. Asimismo la presencia de valles fluvioglaciares y domos caracterizan el relieve actual.



Figura 4. Se observa bloques rocosos con superficies planas formadas Por la erosión glacial.

Fuente: MYSRL

CAPITULO II

PRINCIPALES ASPECTOS DEL DISEÑO DE VIAS DE ACARREO

2.1 DISEÑO GEOMÉTRICO

La geometría de una vía de acarreo tiene como funciones principales:

1. Permitir el mínimo esfuerzo mecánico de los camiones durante el acarreo por gradientes y tracción.
2. Proporcionar condiciones de seguridad en la tracción en curvas.
3. Proporcionar visibilidad entre la flota durante su tránsito en intersecciones y curvas verticales.
4. Direccionar el agua de escorrentía superficial producto de las precipitaciones hacia las estructuras de drenaje, manteniendo el agua el menor tiempo posible en la superficie de rodadura.

Está en función al tamaño de la flota, en cuanto a largo, ancho, y capacidad de maniobra.

Otros aspectos importantes a tomar en cuenta son los requerimientos legales asociados a gradientes mínimas, ancho de vías y dimensiones de estructuras de contención (rampas de alivio y bermas).

TRUCK MODEL	A (m)	D (m)	L (m)	Road width (2) MYSRL Std.	Road width (3) Reg.Perú Std.	Height Berm (4) (m)	Actual Width Road	Factor
777 D	6.03	2.64	9.78	21.1	18.1	2.0	25.0	4.1
785 C	7.17	2.96	10.61	25.1	21.5	2.2	25.0	3.5
793 B	7.71	3.42	12.85	27.0	23.1	2.6	27.0	3.5
793 C	7.73	3.42	12.87	27.1	23.2	2.6	27.0	3.5

- (1) Total width of body truck
- (2) 3.50 * Truck width
- (3) 3.00 * Truck width
- (4) 0.75 * Tire diameter

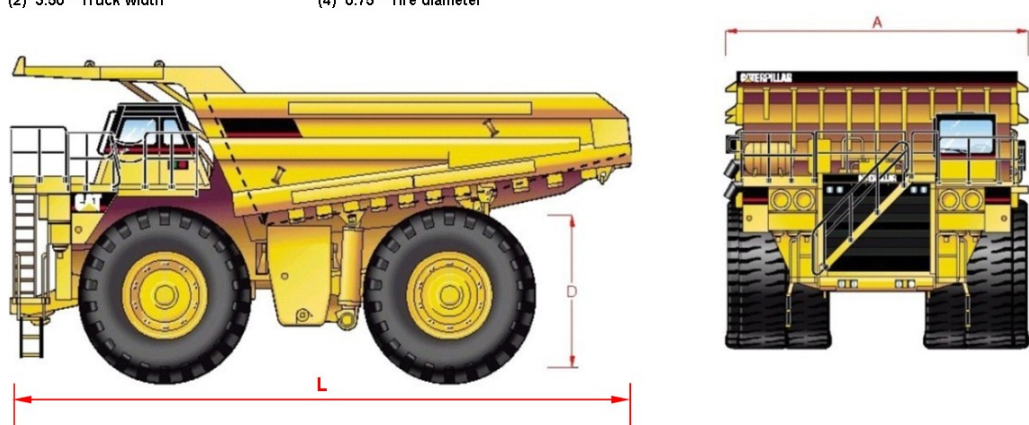
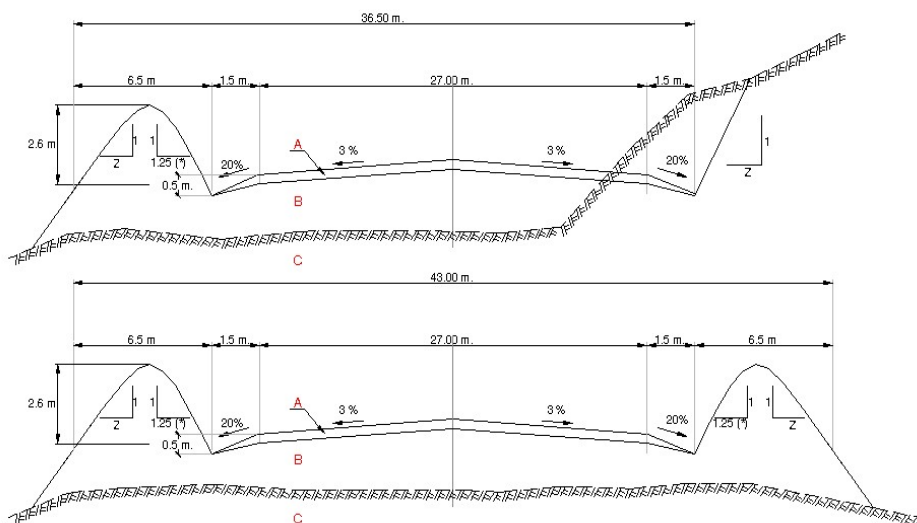


Figura 5: Dimensiones de flota mayor en MYSRL

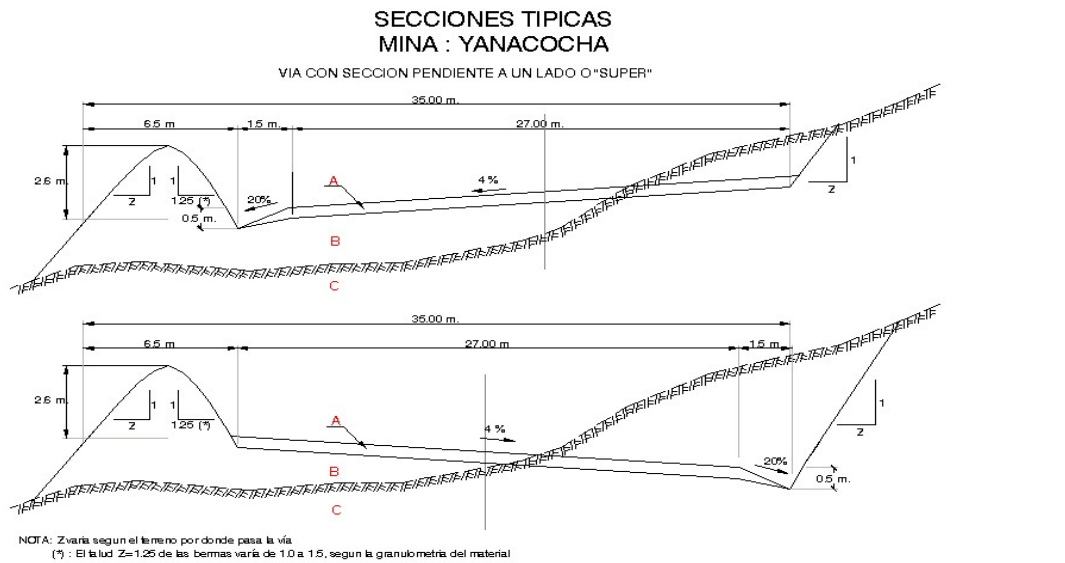
Fuente: MYSRL

SECCIONES TRANSVERSALES
MINA : YANACOCHA
VIA CON SECCION "LOMO DE CORMINA" O CROWN



NOTA: Z varía según el terreno por donde pasa la vía
(*) El talud Z=1.25 de las bermas varía de 1.0 a 1.5, según la granulometría del material

DUREZA	MATERIAL	SUBBASE (OGM)	A	
			TEMPORADA SECA	TEMPORADA HUMEDA
LOW	ARGILICOQUATERNARY	1.50 m	0.50 m	0.90 m
MEDIUM	ARGILIC OXIDE	1.20 m	0.50 m	0.90 m
HARD	OXIDE	1.00 m	0.50 m	0.90 m



DUREZA	MATERIAL	SUB-BASE (CGM)	BASE	
			TEMPORADA SECA	TEMPORADA HEMEDA
LOW	ARGILICO-QUATERNARY	1.50 m	0.50 m	0.80 m
MEDIUM	ARGILIC OXIDE	1.20 m	0.50 m	0.80 m
HARD	OXIDE	1.00 m	0.50 m	0.80 m

Figura 6: Secciones transversales de Vías de Acarreo en MYSRL

Fuente: MYSRL

2.2 PARAMETROS DE DISEÑO PARA CURVAS EN ACCESOS DE MINA

2.2.1 ELEMENTOS DE CURVA

CC : Centro de Curva

PC : Punto de Comienzo de Curva

PI : Punto de Deflexión

PT : Punto de Término de Curva

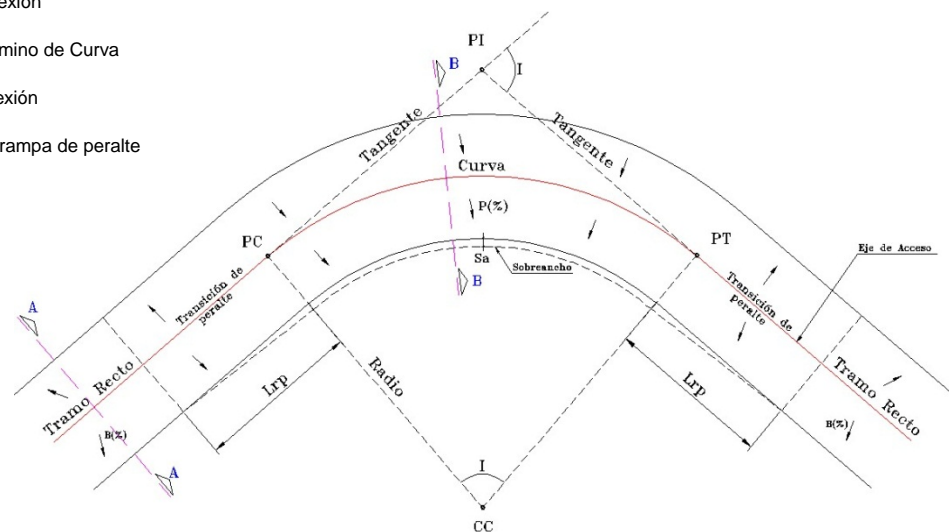
I : Angulo de Deflexión

Lrp : Longitud de rampa de peralte

p(%) : Peralte

B(%) : Bombeo

Sa : Sobresancho



SECCIONES

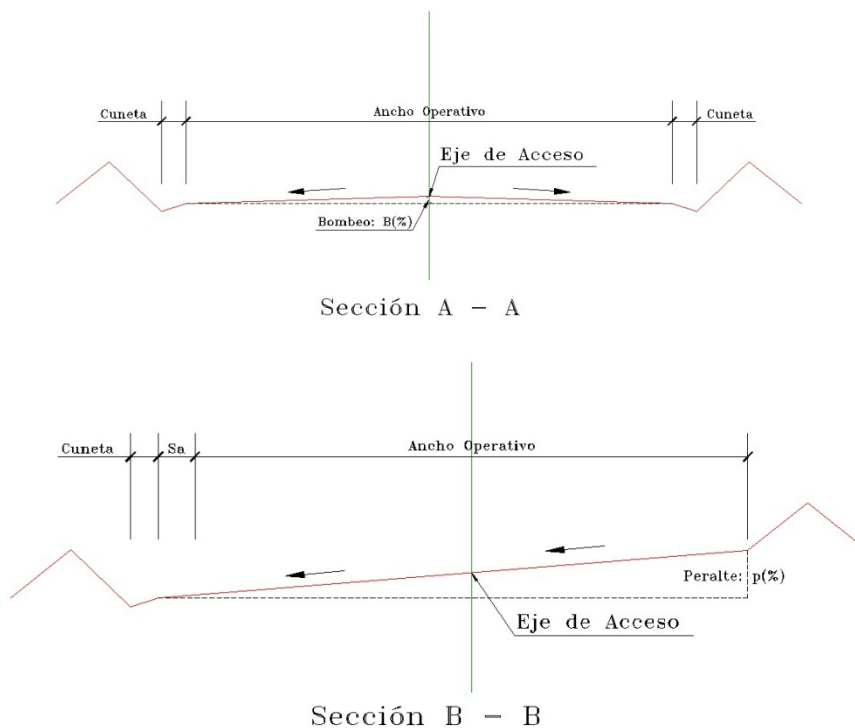


Figura 5: Secciones transversales para drenaje superficial de Vías de Acarreo en MYSRL

Fuente: MYSRL

2.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

La función principal y tradicional de la estructura de cualquier vía no pavimentada consiste en soportar las cargas a las cuales estará sometida durante el tiempo de vida a la cual está diseñada. Como se ha mencionado anteriormente, las vías de acarreo minero son sometidas a un intenso tráfico durante el proceso de producción (24 horas al día), de allí nace la necesidad de selección de materiales adecuados que garanticen:

1. La mínima deformación durante el acarreo.
2. La menor frecuencia de mantenimiento con reemplazo de material.
3. Tracción

2.4 SISTEMA DE CARGAS SOBRE UNA VÍA

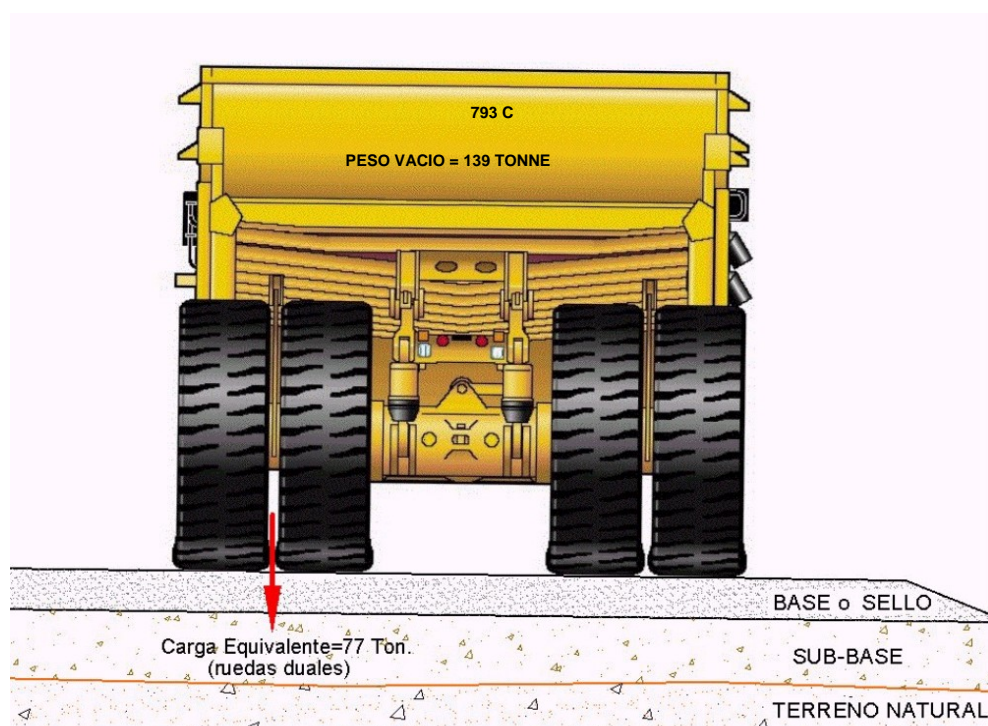


Figura 6: Sistema de cargas Sobre una vía de acarreo en MYSRL

Fuente: MYSRL

Las estructuras típicas de pavimentos en las vías de acarreo de MYSRL han estado constituidas tradicionalmente por un cuerpo masivo de Materiales No Clasificados en una o dos capas (no siempre bien diferenciadas) de espesor variable, colocadas sobre el terreno natural y compactadas con el equipo de obra y por el paso de los camiones de acarreo (Figura 3). No se ha acostumbrado a emplear una Capa de Rodadura de manera ex profesa, sin embargo, esta finalmente ha quedado

constituida por los lastrados sucesivos colocados sobre la superficie de la vía como parte del mantenimiento, lo que ha ocasionado la elevación indiscriminada de la Rasante (Figura 4).

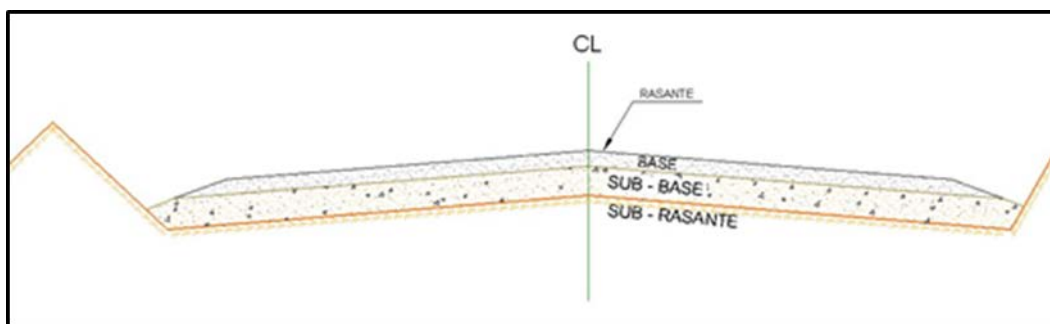


Figura 9. Sección Teórica, Típica de un Pavimento en una Vía de Acarreo de MYSRL

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

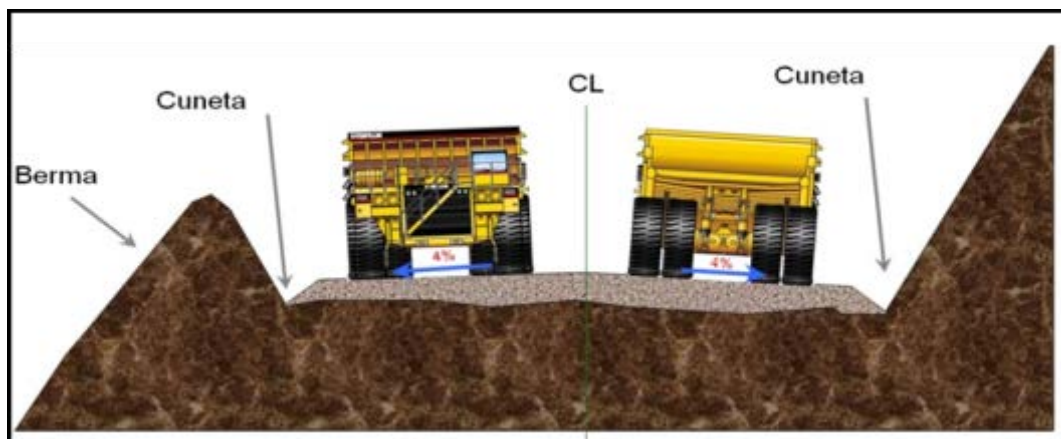


Figura 10. Mejoramiento Tradicional de Vías Mediante Lastrados Sucesivos

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

Los suelos empleados en el cuerpo de los pavimentos han sido obtenidos de Canteras y/o de Tajos, con características promedio que cumplen los requisitos de una Sub-Base Granular, pero que son inferiores a los de una Base Granular (Tabla 1).

Tabla 1 - Valores Promedio del CBR y de la Abrasión en Canteras de MYSRL

N°	Cantera	Abrasión (%)	C.B.R. *%
1	Los Pinos 1	42.7	51.9*
2	Los Pinos 2	42.8	75.6
3	Stock Chaquicocha	48.8	76.1
4	Tajo La Quinoa	49.6	48.8
5	Stock PL	41.2	47.7*

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.

** Todos los valores mostrados en el Cuadro han sido obtenidos para el 98% de compactación Proctor Modificado (PM), excepto en las canteras Los Pinos 1 y Stock PL que han sido obtenidos para el 95% del PM.*

2.5.1 GEOSINTETICOS

Los materiales Geo-sinteticos más comúnmente empleados por MYSRL son las geo-membranas cumpliendo una función de barrera impermeable en los ponds y en las pozas de aguas. También se han empleado, aunque en menor grado, geotextiles no tejidos en las funciones resistente y filtro; geo-celdas en la función de control de la erosión, geo-tubos como conductos de agua; y en mucho menor grado

se han utilizado geo-mallas en la función refuerzo de estructuras de tierra. En las vías de acarreo solamente se han utilizado geo-textiles como refuerzo de suelos blandos y geo-tubos como complemento de las obras de drenaje.

El Diseño Estructural de las Vías de MYSRL, se hacía de manera empírica antes del año 2000. Posteriormente se comenzó a utilizar el Método del CBR (Vivar, 2000). Este método funcionó a nivel mundial de manera adecuada durante muchos años, hasta que en 1997, Cameron y Lewko encontraron en la mina Syncrude en Canadá, que las deflexiones en las diferentes capas del pavimento son las que verdaderamente gobiernan el diseño para camiones con pesos mayores de 240 toneladas, requiriéndose en todo caso de la medición de los Módulos de Young en las diferentes capas de los pavimentos existentes en buen estado para extrapolar sus resultados a los pavimentos nuevos (Cameron & Lewko, 1999).

La medición del CBR y el control de calidad de los diferentes materiales que componen los pavimentos de MYSRL ya era un problema después del año 2000 y consecuentemente la medición de los Módulos de Young era prácticamente imposible. Así, en Marzo del 2012 se resolvió emplear una metodología de prueba-error en el refuerzo de las vías existentes, pero concentrando los esfuerzos en la Capa de Rodadura y empleando materiales geo-sintéticos (Figura 9).

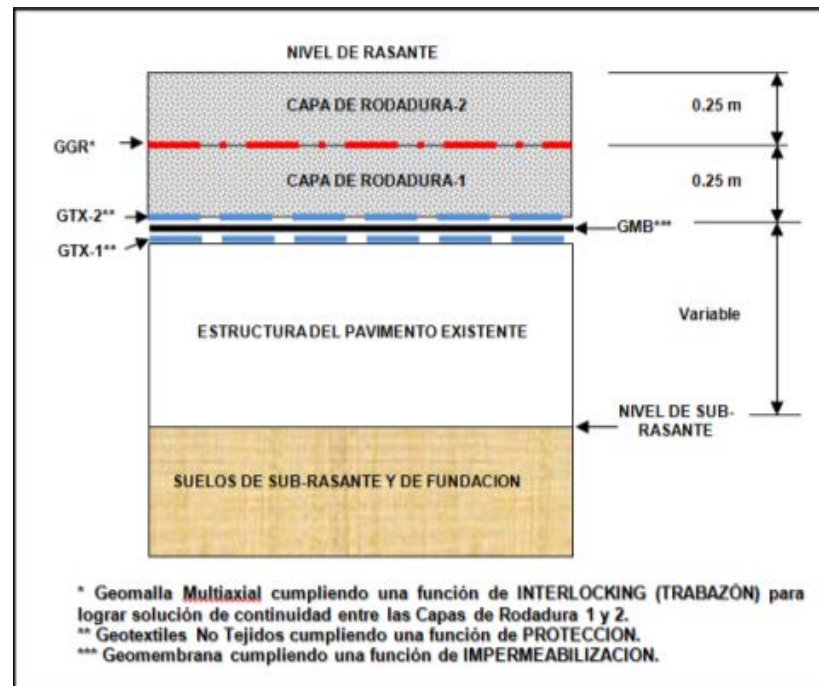


Figura 11. Diseño Típico de Refuerzo de una Vía de Acarreo Existente

Fuente: MYSRL

CAPITULO III

DESARROLLO Y COLECCIÓN DE DATOS

3.1 DESARROLLO

Durante el Reconocimiento Superficial para Evaluar del Estado de las Vías llevado a cabo en Marzo del 2012, se pudo constatar que, en términos generales, las vías existentes tenían un comportamiento estructural aceptable, sin mayores problemas de hundimientos, debido principalmente a los lastrados sucesivos empleados en las labores de mantenimiento. Los principales problemas de transitabilidad estaban asociados a la calidad de los materiales en la Capa de Rodadura, que en período de secas ocasionaba polvaredas y en períodos de lluvias ocasionaba patinazos de los vehículos.

Con el objeto de mantener las condiciones estructurales de las vías existentes y mejorar las condiciones de rodadura, se propusieron las siguientes acciones:

1. Restituir la rasante original de la vía, menos el espesor de la nueva Capa de Rodadura (50 cm, ver Figura 5). Debido al procedimiento de mantenimiento

seguido mediante lastrados sucesivos que elevaron la rasante original, dicha restitución consistiría básicamente en operaciones de corte.

2. Sobre la superficie resultante del corte indicado en el punto anterior y después de nivelar y perfilar según la sección de diseño, colocar un geo-compuesto impermeable conformado por una geo-membrana en la función barrera impermeable, entre dos geotextiles no tejidos en la función protección, con el objeto de impedir el ingreso de las aguas de infiltración a través de la Capa de Rodadura, hacia el cuerpo del pavimento, debilitándolo. La geo-membrana utilizada es una de polietileno de 3 mil y los geo-textiles son No Tejidos de 310 gr/m². En las Fotografías 1 y 2 se muestra la colocación del geo-compuesto impermeable.
3. Colocar sobre dicho geo-compuesto impermeable una Capa de Rodadura en dos etapas, de 25 cm de espesor cada una, separadas por una geo-malla, cumpliendo en este caso la función de trabazón (interlocking) entre las capas de 25 cm. El material de la Capa de Rodadura debería de cumplir con los requisitos mostrados en las Tablas 2 y 3, tomadas de las experiencias de Tannant & Regensburg (2001) en Canadá, excepto por el requerimiento de la Abrasión (Tabla 3), que fue añadido por nosotros debido a la baja calidad de los materiales disponibles (ver Tabla 1), a fin de verificar en el campo la sospecha de que la baja abrasión de los materiales empleados podría ser el origen de los suelos finos acumulados sobre la superficie de la vía, responsables de los patinazos. La geo-malla inicialmente utilizada fue una geo-malla multiaxial de polipropileno, en la función trabazón (Figura 6), para garantizar el comportamiento monolítico de las dos capas de 25 cm conformantes de la Capa de Rodadura. Por razones de costo, resistencia y

tamaño de la abertura de la malla, se cambiaron posteriormente las geo-mallas multiaxiales por geo-mallas biaxiales hechas también de polipropileno, las que se encuentran e período de observación.

En las Figuras 13 y 14 se muestra la colocación de las dos capas de material de rodadura y de la geo-malla entre ellas, en la función de trabazón.

Para revertir la situación se propuso:

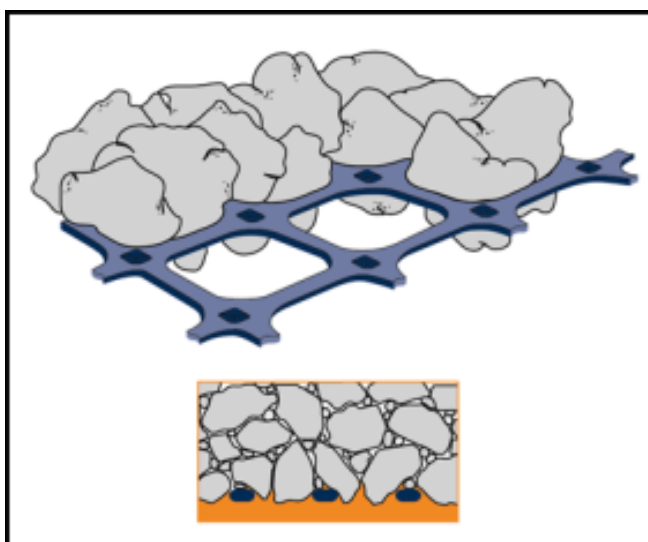


Figura 12. Efecto de Trabazón de Agregados o "Interlocking" ocasionado por una geo-malla.

Fuente: MYSRL

Tabla 2. Gradación y propiedades recomendados para capa rodadura

Gradación recomendada para capa de rodadura	
Tamaño	% en peso que pasa
76mm (3")	100
38mm (1.5")	70 – 100
25mm (1")	55 – 88
9.5mm (3/8")	40 – 70
#4	30 – 55
#10	22 – 42
#200	5 – 10

Fuente: Tannant & Regensburg "Guidelines for Haul Road Design"

* Este parámetro fue agregado a los demás requisitos de Tannant & Regensburg, debido a la sospecha de que el material de lastre utilizado era el que estaba originando la acumulación de finos en la superficie de la vía.



Figura 13. Colocación de la geo-membrana sobre la primera capa de geotextil de protección.

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.



Figura 14. Colocación de la segunda capa de geotextil de protección sobre la geo-membrana.

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.

Esta solución (Figura 9) fue aplicada entre Abril y Diciembre del 2012 en las vías mostradas en la Tabla 3, totalizando una longitud de 6 km

Tabla 3. Vías Tratadas en el año 2012

Vía	Longitud	Pit
Safari	1.8 km	LQ
Sahara	2.1 Km	LQ
El Chino 1	0.9 Km	LQ
El Chino 2	0.4 Km	LQ
Isabella Intermedia	0.57 Km	LQ
Isabella Baja	0.3 Km	LQ

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.

Después de analizar todos los parámetros involucrados en el comportamiento de una vía de acarreo, se encontró que la mejor manera de medir la bondad de la solución consistía en comparar las velocidades de los camiones en la misma época del año, tanto en las vías reforzadas como en las vías sin reforzar, para vehículos vacíos y cargados. En la Tabla 4 se muestra esa comparación para las vías indicadas en la Tabla 3.

Tabla 4. Comparación de Velocidades en Vías con y sin Tratamiento

Via	2012 (con Tratamiento)		2011 (sin Tratamiento)		Pendiente %
	Velocidad Vacío (Km/Hr)	Velocidad Cargado (Km/Hr)	Velocidad Vacío (Km/Hr)	Velocidad Cargado (Km/Hr)	
Safari	31.06	13.62	19.3	12.4	9.8
Sahara	27.47	13.68	19.3	12.4	9.5
El Chino 1	22.81	19.97	-	-	4.5
El Chino 2	28.64	19.32	-	-	5.2
Isabella Intermedia	30.64	18.44	20.1	13.5	4
Isabella Baja	26.07	17.64	19.1	15	3

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.



Figura 15. Colocación de la geomalla sobre la primera capa de material de rodadura.

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.

CAPITULO IV

PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.

4.1 PRESENTACIÓN

El uso de geo-mallas en el refuerzo de caminos no pavimentados tiene varios años de antigüedad. Incluso hay una metodología desarrollada por Giroud y colaboradores (1984), que es ampliamente usada en ingeniería civil (Koerner, R., 2005) para incrementar la resistencia de suelos de sub-rasante, mejorar la distribución de cargas y provocar un efecto de membrana dentro del pavimento. En el caso de caminos de acarreo minero, solamente se ha encontrado un antecedente publicado en el Perú (Velásquez, 2010), el cual está basado en la metodología de Giroud mencionada y en consecuencia está referido a caminos no pavimentados convencionales, construidos bajo especificaciones de carreteras convencionales y que estarán sometidos al tráfico de vehículos convencionales. Tannant & Regensburg (2001) solamente reportan el uso de geotextiles bajo rellenos de

carreteras en áreas muy húmedas. En consecuencia, se puede afirmar con certeza que el uso de geo-mallas dentro de la Capa de Rodadura es una aplicación innovadora e inédita de los geo-sintéticos.

Las investigaciones previas al uso de los geo-sintéticos en las vías de acarreo minero demostraron que el tránsito de los vehículos de acarreo densifica a los suelos sobre los que transita en un espesor medio de 50 cm (Fotografía 5). Basados en este hallazgo y en las experiencias previas de Tannant & Regensburg (2001), se decidió usar un espesor final de 50 cm para la capa de rodadura, la cual debería ir compactada por vibración en dos capas de 25 cm cada una, hasta alcanzar el 98% de su Máxima Densidad Seca Teórica Proctor Modificado. Para lograr continuidad entre las dos capas por medio del mecanismo de restricción lateral (Zornberg & Gupta, 2010), se propuso una geo-malla multiaxial aparecida en el 2010, la cual incrementa la capacidad de carga de la Base, cuando se coloca a una profundidad de un tercio del diámetro de la carga (Dong, Han, Qian y Bai, 2010), lo que concuerda en nuestro caso con el círculo equivalente de aplicación de la carga de los neumáticos promedio en los camiones de acarreo (Manual de Vías 2012).



Figura 16. Colocación de la segunda capa de material de rodadura sobre la geo-malla.

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.



Figura 17. Medición del espesor compactado por el paso de los vehículos de acarreo minero

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Tabla 5 muestra las velocidades promedio de vehículos vacíos y cargados para las vías reforzadas con geo-mallas y sin reforzar. Se aprecia que las velocidades de los vehículos en las vías reforzadas con geo-mallas son un 50% mayor, en promedio, respecto de las vías sin reforzar; mientras que para vehículos cargados esos incrementos son del orden de 20%.

En el caso de los vehículos vacíos, el mayor incremento de velocidad (61%) se da en las vías con mayores pendientes (9.8%); mientras que en el caso de los vehículos cargados, el mayor incremento de velocidad (49%) se da en las vías con menores pendientes (4%).

Como parte de la investigación se exhumaron las geo-mallas y los geo-compuestos impermeables (Figuras 16 y 17), encontrando que se habían comportado según lo esperado.

Con el objeto de reducir los costos y observar el comportamiento de las geo-mallas biaxiales, se ha previsto una segunda etapa de investigación con dos capas paralelas de geo-mallas biaxiales en reemplazo del geo-compuesto impermeable y de la geo-malla multiaxial.



Figura 18. Exhumación de la geo-malla multiaxial dentro de la Capa de Rodadura

Fuente Minera Yanacocha S.R.L.



Figura 19. Exhumación del geo-compuesto impermeable entre la Base y la Capa de Rodadura.

CONCLUSIONES.

- 1.** Como resultado de esta investigación se ha encontrado que las geo-mallas empleadas en el refuerzo de la Capa de Rodadura en caminos de acarreo minero permiten la disminución de deformaciones estructurales en las vías, como consecuencia de un aumento en las propiedades de resistencia del material depositado.
- 2.** Esto a su vez conlleva a un incremento en las velocidades de la flota, lo que incide favorablemente en el costo de operación y volúmenes de operación
- 3.** Los geo-sintéticos pueden representar alternativas de solución ante la carencia de materiales competentes para la construcción y mantenimiento de Vías de Acarreo Minero.
- 4.** Los geo-compuestos impermeables entre la Base y la Capa de Rodadura pueden obviarse debido a que la acumulación de finos en la superficie de la vía actúa como una capa impermeable que impide la infiltración de las aguas de lluvia al cuerpo del pavimento.

RECOMENDACIONES

1. Actualmente ya existe configuraciones de posición de los geo-sintéticos dentro de la estructura de una vía de acarreo minero, basados en modelamientos matemáticos y el uso de celdas de carga en las diferentes capas que lo conforman. Esta nueva tecnología puede validar el uso de una o más capas de geo-sintéticos así como el tipo de geo-malla a usarse de acuerdo a una evaluación técnico económica, que permita reducir los costos en materiales.

2. A diferencia de las normas tradicionales de construcción civil de carreteras, la minería usa tradicionalmente material masivo cuya gradación se busca desde las voladuras. Estudios posteriores podrían determinar una relación costo beneficio en la preparación de agregados buscando el óptimo en el rendimiento de la estructura de una vía de acarreo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cameron R. & Lewko, R (1997). Haul Road Design, Construction and Monitoring Procedures for 320-Ton Heavy Haulers at Syncrude Canada Limited. Internal Report. Mencionado en Dwayne & Regensburg (2001).
2. Giroud, J.P., Ah-Line, C. y Bonaparte, R. (1984). Design of Unpaved Roads and Trafficked Areas with Geogrids. Proceedings of the Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering. Institution of Civil Engineers.
3. Koerner, R.M. (2002-2004). Diseño con Geosintéticos. Traducción de la Cuarta Edición del libro Design with Geosynthetics (1998) hecha por el IGS-Perú.
4. Manual de Vías 2012. MYSRL.
5. Velásquez L., P.E. (2010). Uso de Geomallas en la Estructura de Carreteras Afirmadas para Trabajos de Operación de los Equipos en la Explotación Minera a Cielo Abierto. Monografía para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Católica Los Angeles – Chimbote.

6. Vivar, R.G. (2000) Informe Técnico N° 36-2K/G&P: Diseño Estructural de Pavimentos en las Vías Exterior Mina – Minas “Carachugo”, “San Jose”, “Maqui-Maqui” y “Yanacocha”.