



Universidad de las Américas  
Facultad de Ingeniería y Negocios  
Escuela de Minas

Caracterización y propuesta para el mejoramiento  
de taludes en ruta 160, sector acceso norte comuna  
de Curanilahue, y su aplicación a minería de rajo  
abierto en terrenos mecánicamente no  
consolidados.

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos  
para obtener el título de Ingeniero en Minas.

**Alumno:**

Eduardo Andrés Rivera Burgos

**Docente Guía:**

Alejandro Hernán Ramírez González

Concepción, marzo de 2017

## Resumen Ejecutivo

Gran parte de la extracción de minerales en el mundo es realizada a través de sistemas de explotación minera a rajo abierto.

En este sentido resulta ser de gran importancia la construcción y la mantención de este tipo de mina.

Este tipo de mina, en la mayoría de los casos, utiliza sistemas de taludes en su construcción, lo que genera su típica forma de cono invertido de grandes dimensiones.

Este trabajo de título expone las características de los taludes y sus aspectos críticos, además de proponer algunas opciones para el mejoramiento y la construcción de los mismos.

Para realizar este documento se tomó como referencia un talud de carretera ubicado en el acceso a la comuna de Curanilahue, el que presenta características particulares que son extrapolables a los taludes que se encuentran en algunos casos en la minería de rajo abierto.

# Índice

1.- Planteamiento de la Investigación .....	5
1.1 Introducción .....	5
1.2 Definición del problema: .....	6
1.3 Justificación: .....	6
1.4 Objetivos: .....	7
1.5 Limitaciones: .....	7
1.6 Metodología: .....	7
2.- Marco Teórico y conceptual .....	8
2.1. Definiendo un talud.....	8
2.2 Aproximación teórica a los taludes .....	10
2.3 Factores que influyen en la estabilidad de taludes.....	11
2.4 Tipos de rotura .....	12
2.4.1 Taludes en suelo.....	12
2.4.2 Taludes en rocas .....	14
3.- Caracterización geomecánica del macizo rocoso .....	17
3.1 Clasificación RQD (Rock Quality Designation) .....	17
3.2 Clasificación geomecánica RMR.....	18
4.- Medidas de estabilización .....	19
4.1 Fundamentos de la estabilización .....	19
4.2 Métodos para estabilización de taludes .....	20
4.2.1 Modificación de la geometría: .....	20
4.2.2 Medidas de drenaje.....	21
4.2.3 Elementos estructurales resistentes.....	23
4.2.4 Muros y elementos de contención .....	24
4.2.5 Medidas de protección superficial.....	25
5.- Resultados .....	27
5.1 Generalidades .....	27
5.2 Análisis geológico .....	31
5.3 Análisis Geomecánico.....	33
5.3.1 Estimación RQD .....	34

5.3.2 Estimación RMR .....	35
6. Propuesta para el mejoramiento del talud en estudio.....	37
7. Conclusiones.....	38
8. Bibliografía.....	39
9. Sitios web.....	39
10. Anexos.....	40

# 1.- Planteamiento de la Investigación

## 1.1 Introducción

La ruta 160, que une la ciudad de Concepción con Lebu, capital de la provincia de Arauco, es una carretera de aproximadamente 150 km de extensión. Dentro de esta se encuentra una sección de 88km que corresponde a una autopista concesionada desde el acceso norte a la ciudad de Coronel hasta la localidad de Tres Pinos. Se trata de una autopista de doble calzada que aún se encuentra en fase de construcción desde hace aproximadamente 4 años.

Es una carretera construida a través de la Cordillera de la Costa, motivo por el cual la ruta se encuentra con muchos accidentes geográficos tales como montañas, quebradas, cursos de agua, etc. Además, se encuentra en una zona climatológicamente extrema, con mucha lluvia, humedad, temperaturas muy variables de una estación a otra.

En ese sentido, además de las características físicas del terreno es que se generan condiciones de particular interés a lo largo de toda la carretera.

En el caso particular de este informe, se realizará un análisis de los taludes que se encuentran en el acceso norte a la ciudad de Curanilahue, las características físicas del lugar, las características del suelo, la geometría de los taludes existentes y se propondrá opciones para el mejoramiento de los mismos.

Considerando que el trabajo de taludes es una tarea fundamental en minería de rajo abierto es que se busca extrapolar este análisis a labores mineras emplazadas en terrenos de similares características al estudiado en este trabajo de título.

## 1.2 Definición del problema:

La ruta 160, a través de los años ha tenido problemas relacionados al terreno en que está emplazada. Muchas veces han ocurrido deslizamientos de terreno y de los taludes, desprendimientos de rocas, socavones, etc; siendo esto de conocimiento público, y además, la ocurrencia de accidentes relacionado con estos temas.

Muchos de estos incidentes están relacionados a la construcción de la carretera y a las particulares características geológicas de este sector.

Particularmente la construcción de taludes ha sido siempre compleja, y siempre ha tenido incidentes como deslizamientos y pequeños aludes en invierno producidos por la gran cantidad de lluvia, produciendo problemas en la carretera puesto que la tierra deslizada cae sobre la pista de circulación de los vehículos, generando todo tipo de inconvenientes y accidentes de tránsito.

Este trabajo busca analizar, caracterizar y proponer basado en el análisis, alternativas para el mejoramiento, reparación y construcción de taludes en terrenos de similares características a las existentes en la ruta 160.

## 1.3 Justificación:

El trabajo minero con taludes de diversas características es una tarea fundamental en toda faena minera a rajo abierto.

La legislación minera es exigente respecto a los taludes y por tanto resulta fundamental responder de manera correcta a las exigencias relacionadas a este tema, y más aún cuando se enfrenta a un sector con características especiales como por ejemplo un terreno poco consolidado.

#### 1.4 Objetivos:

-Analizar los taludes ubicados en el acceso norte a la comuna de Curanilahue, en cuanto a las características del terreno en que se emplazan y las características geométricas con que fueron construidos.

-Caracterizar el terreno en cuanto a sus aspectos geológicos y geomecánicos.

-Proponer opciones de mejoramiento basadas en las características de los taludes ya construidos.

#### 1.5 Limitaciones:

Este trabajo de título pretende caracterizar solo los taludes construidos en la ruta 160, sector del acceso norte a la ciudad de Curanilahue, en cuanto a sus características físicas y geométricas.

#### 1.6 Metodología:

Se utilizará información secundaria como textos técnicos y sitios web sobre mecánica de suelos y geología.

Se realizará observaciones en terreno, mediciones y toma de muestras para realizar análisis.

Además, se solicitará opinión a expertos técnicos en el área geológica, de mecánica de suelos y expertos en construcción.

## 2.- Marco Teórico y conceptual

### 2.1. Definiendo un talud

Un talud es una superficie inclinada respecto a la horizontal. En general existe dos tipos de taludes: los naturales, que corresponde a laderas formadas por la historia geológica; y los artificiales, que son realizados por el hombre con el afán de construir carreteras, represas y otras obras civiles.



Fig. 2.1.1 Talud natural (ladera)



Fig. 2.1.2 Talud artificial (carretera)

Se debe hacer la diferencia, entre un talud tradicional construido para obras civiles y uno construido en faenas de extracción minera. Esto esencialmente porque son construidos con motivos muy distintos.

Las componentes de un talud son básicamente tres: el pie, la cara inclinada y la cabecera. Estos componentes se relacionan directamente con los parámetros que definen la geometría del talud, esto es el ángulo del talud y su altura.

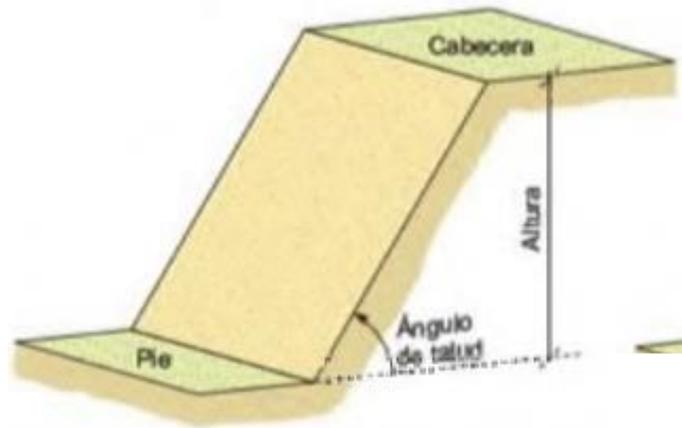


Fig. 2.1.3 Esquema básico de un talud

En minería se construye, por motivos productivos, sistemas de taludes, que incluyen componentes adicionales al caso anterior como son las bermas y las rampas. Y también se agregan componentes que definen la geometría de este sistema de taludes como son ancho de la berma, ancho de la rampa, distintas alturas y distintos ángulos.

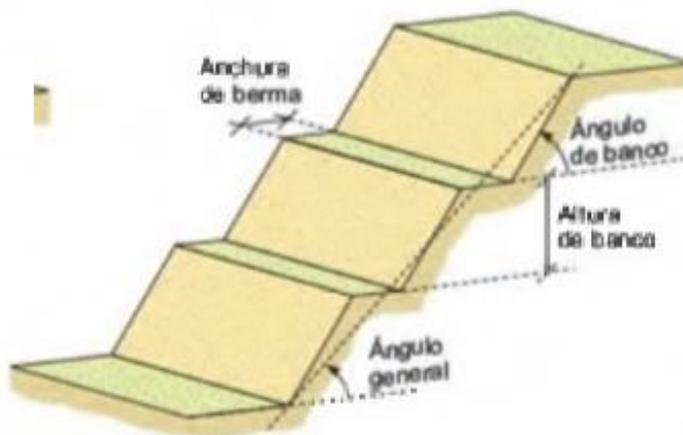


Fig. 2.1.4 Esquema básico de un talud minero

## 2.2 Aproximación teórica a los taludes

Gran parte de las obras de ingeniería civil y de la ingeniería minera que requieran superficies planas en pendientes, o para alcanzar lugares bajo la superficie, necesitan la excavación y el trabajo permanente con taludes.

En general cuando se trata solo un talud se le llama desmonte (no confundir con los desmontes mineros) y en caso de tener taludes a ambos lados se llama trinchera. Para el caso minero lo más utilizado son series de taludes, formando bancos y bermas.

El análisis principal respecto a los taludes, radica en su diseño, basado en las características del terreno donde se quieren emplazar y el fin para el cual se necesita construir.

En obras civiles, los taludes en general, alcanzan alturas máximas cercanas a los 60 metros, mientras que en obras mineras los sistemas de taludes pueden alcanzar sin problemas sobre 300 metros.

Mientras que los taludes de obras civiles son diseñados y construidos para permanecer estables en el largo plazo, los taludes mineros varían mucho en su tiempo de vida, algunos se esperan permanezcan por décadas y otros, incluso, apenas se utilizarán por algunos meses.

En minería se debe diferenciar el tipo de yacimiento a explotar. Para yacimientos no metálicos en capas horizontales, los taludes son temporales y de corto plazo, ya que los sectores se abandonan o se rellenas. Para yacimientos metálicos, los taludes se mantienen por más tiempo.

Dado el carácter de las obras, es que se debe tener diversas consideraciones. Cuando se trata de obras civiles se considera que los taludes permanecerán por largo tiempo y además se considera que deben tener factores de seguridad muy altos, mientras que, en algunas faenas de minería, dado que los taludes se utilizarán por un corto plazo, se permitan cierta flexibilidad al respecto.

En faenas mineras, el diseño los taludes es fundamental considerando la variable económica subyacente al respecto. En muchos casos se evitará remover mayor cantidad de roca, generando taludes menos estables, pero económicamente más rentables.

El diseño de taludes está orientado al diseño de taludes estables en función de los requerimientos de estos, su utilización, su tiempo de utilización, la relación costo-seguridad, y además a la estabilización de taludes inestables.

### 2.3 Factores que influyen en la estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud o de un sistema de taludes está determinada por factores geométricos, geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos.

Estos factores, también llamados condicionantes o pasivos, son intrínsecos al material natural del lugar en análisis.

En el caso de macizos rocosos o en roca competente, el factor determinante es la estructura geológica, la disposición y la frecuencia de los planos de discontinuidad y el grado de fracturación.

En materiales blandos, como los lutíticos o pizarrosos, la litología y el grado de alteración son los principales factores determinantes.

Por otro lado, encontramos otro tipo de factores que influyen en la estabilidad de un talud. Los factores desencadenantes o activos, que también pueden provocar roturas en ciertas condiciones.

Estos factores, considerados externos, pueden influir a tal punto de provocar roturas en un talud que no ha sido construido teniendo esto en consideración.

Estos factores externos pueden ser cargas dinámicas, sobrecargas estáticas, cambios hidrológicos, cambios en el clima, movimientos telúricos, etc.

## 2.4 Tipos de rotura

El motivo fundamental del análisis y la planificación antes de la construcción de un talud es que este no sufra roturas. Dadas las características de cada talud, es que pueden sufrir distintos tipos de daños.

### 2.4.1 Taludes en suelo

En taludes de suelo, generalmente la rotura ocurre a favor de la curva y con forma diversa dependiendo de la morfología y la estratigrafía del talud.

Cuando se trata de un terreno homogéneo o con varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas, se suele producir una rotura aproximadamente circular, con su extremo inferior en el pie del talud (deslizamiento de pie).

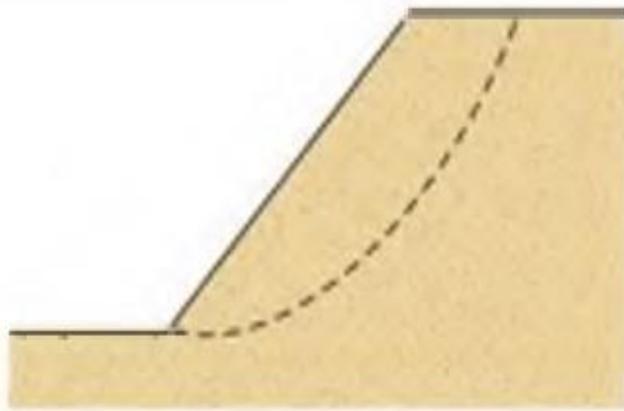


Fig. 2.4.1.1 Deslizamiento de pie.

En condiciones similares, también se da una rotura circular más profunda, pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo).

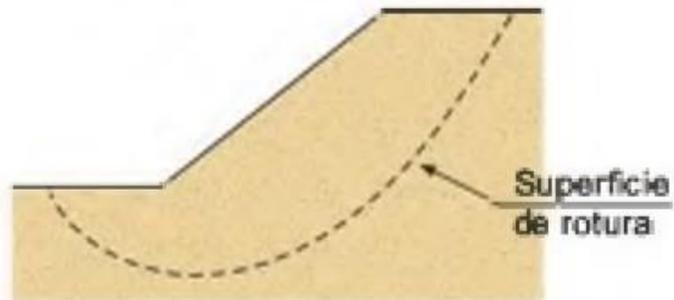


Fig. 2.4.1.2 Deslizamiento profundo

Si se presentan diferentes estratos o capas de distinta competencia, puede ocurrir una rotura a favor de la poligonal formada por esta superficie planas más competente.

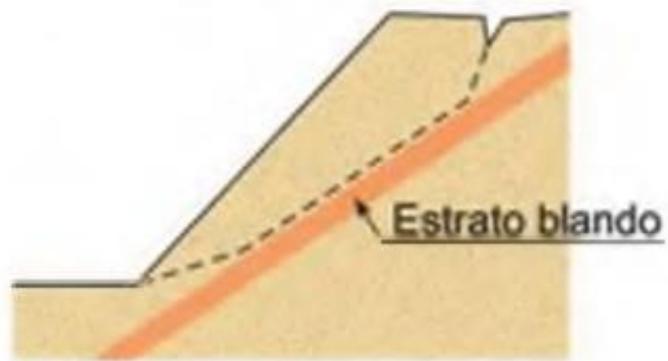


Fig. 2.4.1.3 Deslizamiento por la poligonal

## 2.4.2 Taludes en rocas

Los distintos tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso, la orientación y la distribución de las discontinuidades respecto al talud.

Los tipos de rotura más comunes son las roturas planas, en cuñas y por vuelco de estratos.

La rotura plana se produce cuando el talud está construido a favor de una superficie preexistente de un estrato, una junta tectónica o una falla. Esta rotura ocurre cuando la discontinuidad está buzando a favor del talud y con la misma dirección.

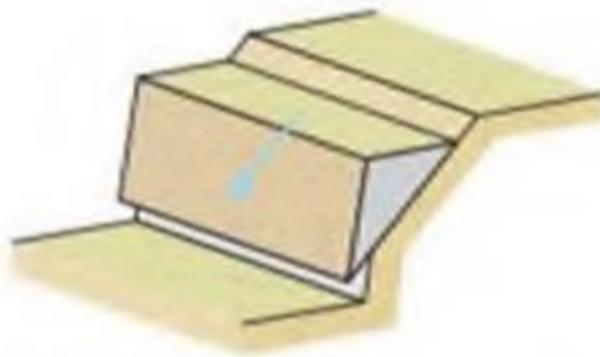


Fig. 2.4.2.1 Esquema Rotura plana



Fig. 2.4.2.2 Fotografía Rotura plana

La rotura en cuña corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña formado por dos planos de discontinuidad a favor de su línea de intersección.

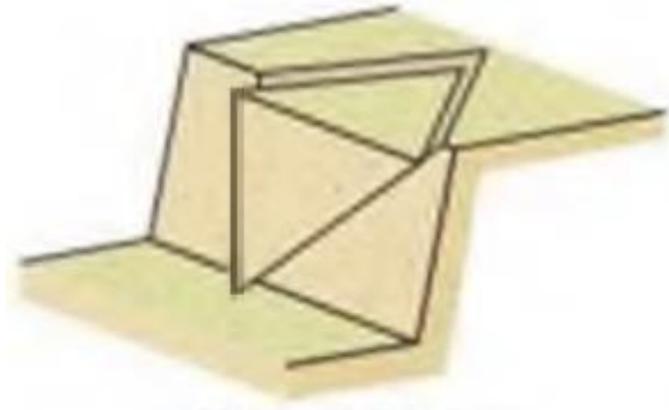


Fig. 2.4.2.3 Esquema Rotura en cuña



Fig. 2.4.2.4 Fotografía rotura en cuña

El vuelco de estratos ocurre en macizos rocosos donde los estratos presentan un buzamiento contrario a la inclinación y la inclinación es paralela o subparalela a del talud.

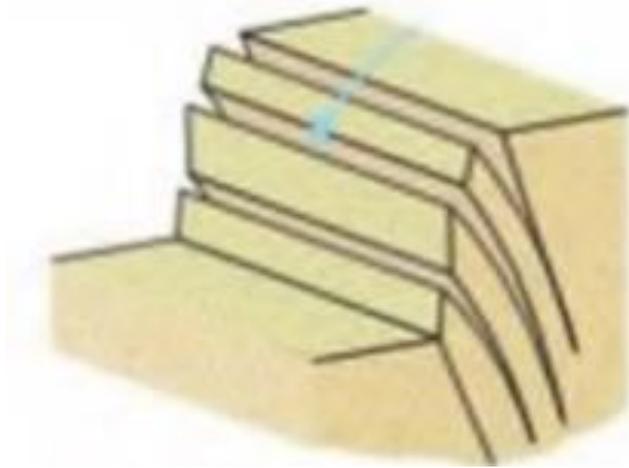


Fig. 2.4.2.5 Esquema Vuelco de estratos



Fig. 2.4.2.6 Fotografía vuelco de estratos

### 3.- Caracterización geomecánica del macizo rocoso

Diversos son los métodos de clasificación de macizos rocosos, lo ideal es complementarlos, ya que ninguno considera todas las variables. En este caso se utilizará el sistema RMR, Rock Mass Rating, el que se nutre de datos entregados por el sistema RQD, Rock Quality Designation.

#### 3.1 Clasificación RQD (Rock Quality Designation)

Fue desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud respecto a la longitud total del sondeo, esto sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación o extracción del testigo.

El RQD se calcula a través de la fórmula:

$$RQD = \frac{100 \times \sum \text{longitud\_fragmentos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud\_total\_perforada}}$$

En caso de no contar con sondeos se puede estimar el valor de RQD en función del número de fisuras por metro cúbico de la cara libre, observando sus características litológicas y la estructura de la pared.

El RQD estimado utiliza la fórmula:

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v$$

Donde  $J_v$  se calcula sumando el número de fisuras por metro que corten de manera independiente a cada uno de los 3 ejes de un cubo imaginario del cuerpo rocoso observado.

### 3.2 Clasificación geomecánica RMR

Esta técnica fue desarrollada en Sudáfrica por Bienawski en 1973. Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento.

Este método considera los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa (MPa)
- Grado de fracturación en términos del RQD (%)
- Espaciamiento de las discontinuidades o diaclasas (mm)
- Condiciones de las discontinuidades o diaclasas
- Condiciones hidrogeológicas (l/min)
- Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación

Estos parámetros son volcados en la siguiente tabla que asigna los valores a cada ítem generando así, un valor del RMR que varía de 0 y 100.

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	valor		15	10	7	4	0		

Tabla 3.2.1 Clasificación geomecánica de Bienawski

Esta tabla considera 5 ítems, que suman puntaje, y luego contiene 1 ítem de corrección, respecto a las características y al tipo de sector en estudio el que resta puntaje. Generándose de esta forma el valor del RMR.

## 4.- Medidas de estabilización

### 4.1 Fundamentos de la estabilización

Antes de construir un talud o cuando un talud ha sufrido alguna rotura, se deben adoptar medidas de estabilización. Además, cuando por distintas razones, constructivas, ambientales, económicas, etc., se precise construir un talud con una inclinación superior a la propia resistencia del terreno, será necesario adoptar medidas adicionales de estabilización.

Para diseñar y aplicar medidas de control, es necesario conocer diversos aspectos relacionados al terreno como, por ejemplo:

- Las propiedades y los detalles geomecánicos del terreno.
- Mecanismo y tipo de las posibles roturas.
- Los factores geológicos e hidrológicos que influyen en el talud.

Para esto deben llevarse a cabo los estudios in situ para conocer en detalle todos los componentes existentes en el sector. Además, es importante conocer los factores externos, como los factores ambientales e incluso los factores humanos.

Para diseñar las medidas de estabilización se debe considerar los siguientes aspectos externos:

- Los medios económicos, la disponibilidad de materiales y equipos a utilizar.
- La urgencia con que se deben ejecutar estos trabajos.
- La magnitud y las dimensiones de la inestabilidad.

El coeficiente de seguridad es un factor determinante respecto a las medidas de control de un talud. Dependiendo el tipo de talud, su finalidad y su tiempo de vida, es que el factor de seguridad exigido puede variar y se toleran ciertos márgenes.

El factor de seguridad para taludes es el cociente entre las fuerzas que se oponen al deslizamiento y las que favorecen el deslizamiento, o, dicho de otro modo, corresponde al cociente entre las fuerzas equilibradoras y las fuerzas desequilibradoras.

El factor de seguridad se calcula de la siguiente forma:

$$F. S. = \frac{\sum \text{Fuerzas opositoras al deslizamiento}}{\sum \text{Fuerzas que inducen el deslizamiento}}$$

Si el valor obtenido es menor a 1, el talud no soportará las fuerzas y fallará. Si es mayor a 1, el talud soportará las fuerzas que actúan sobre él.

Mientras mayor sea el factor de seguridad, el talud será más seguro porque soportará mayores fuerzas inductoras de fallas. Por esto, los taludes de obras civiles tienen altas exigencias de factor de seguridad, porque están contruidos para mantenerse en el largo plazo y para proteger otras obras. Mientras que en taludes mineros los factores de seguridad comúnmente utilizados suelen ser menores y en algún caso apenas por sobre 1.

Para la construcción de taludes permanentes se suele aceptar un factor de seguridad de 1,5 y en taludes provisorios, se aceptan valores cercanos a 1,3.

Para corrección de taludes con daño se parte de un valor menor a 1 y se acepta como suficiente alcanzar valores de 1,2 o 1,25.

## 4.2 Métodos para estabilización de taludes

Existen al menos cinco tipos de métodos de estabilización, cada uno de estos se aplica en distintos casos, pero siempre con el objetivo de garantizar la estabilidad del talud.

### 4.2.1 Modificación de la geometría:

Este método busca redistribuir las fuerzas existentes en el talud debido al peso de los materiales, obteniéndose así una configuración más estable. Las adecuaciones más frecuentes son las siguientes:

- Disminución de la inclinación del talud
- Eliminar peso de la cabecera del talud (descabezamiento)
- Incrementar peso del pie del talud (tacones)
- Construir bancos y bermas (escalonar el talud)

Cambiar el ángulo del talud y eliminar el peso de la cabecera no siempre es posible de realizar dadas las dificultades, en muchos casos, para acceder a la parte alta del talud. Por esto, lo más utilizado resulta ser incrementar el peso al pie del talud, aunque esta

solución implica tener más espacio disponible en el nivel base y esto no siempre es posible, más aún en el caso de las carreteras.

#### 4.2.2 Medidas de drenaje

Este método busca eliminar el exceso de agua existente al interior del talud, evitando así las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en superficies de roturas y grietas. Este tipo de medidas son las más efectivas, puesto que el agua es el principal agente de problemas de estabilidad de taludes. El agua eleva el nivel freático, aumenta el peso de su material componente, creando empujes hidrostáticos y erosionando el pie del talud.

El drenaje puede ser superficial, a través de zanjas y canalizaciones, o puede ser profundo utilizando drenes horizontales (californianos).



Fig. 4.2.2.1 Drenaje californiano

Estos drenajes buscan disminuir el nivel freático del talud, puesto que siempre es mejor que el talud contenga la menor cantidad de agua posible en su interior.

Los drenajes californianos utilizan tuberías de 100 a 150 mm de diámetro y pueden alcanzar hasta 30 o 40 metros de longitud y son muy efectivos para extraer aguas de la zona del pie del talud.

La idea fundamental es conducir fuera del talud las aguas de escorrentías que han ingresado y evitar así, que estas generen presiones y deslizamientos al talud.

También se construyen canales en la cabecera del talud y se conducen sus aguas hacia la parte más baja a través de desagües de metal o de concreto.



Fig. 4.2.2.2 Canal de bajada de aguas en talud

#### 4.2.3 Elementos estructurales resistentes.

La introducción de elementos resistentes tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte, estos pueden ser:

- Introduciendo elementos que mejoran la resistencia del terreno en la superficie de rotura como por ejemplo pilotes o micropilotes.
- Introducción de elementos que aumentan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura, por ejemplo, pernos de anclaje.

Se construye una o más filas de pilotes generando una suerte de barrera que soporta y evita el deslizamiento del talud.



Fig. 4.2.3.1 Pilotes reforzando un talud

Los pernos de anclaje buscan poder jalar la cara libre del talud hacia el interior, comprimiéndolo y evitando su deslizamiento.



Fig. 4.2.3.2 Talud con instalación de pernos de anclaje

#### 4.2.4 Muros y elementos de contención

Estos elementos en general buscan interponerse al deslizamiento del talud. Se trata de muros instalados al pie del talud y que aumentan la carga en el pie y además sostienen el peso de este.

Cumplen una doble función, aumentan el peso en el pie y contienen los esfuerzos horizontalmente.



Fig. 4.2.4.1 Muro contenedor de talud

También se utiliza gaviones (roca enmallada formando bloques), constituyen una buena alternativa que permite el drenaje y la aireación del interior del talud.



Fig. 4.2.4.2 Muro de gaviones para sostener talud

#### 4.2.5 Medidas de protección superficial

Se trata de métodos menos invasivos para el talud, son aplicables prácticamente a todo tipo de taludes y están encaminados a evitar lo siguiente:

- Evitar problemas de caída de rocas
- Aumentar seguridad del talud frente a roturas superficiales
- Evitar y reducir la erosión en el frente del talud
- Evitar la entrada de agua de escorrentías

Las medidas más utilizadas son las siguientes:

- Instalación de mallas metálicas
- Shotcreteado de taludes
- Instalación de materiales geotextiles
- Siembra de vegetales que refuercen el terreno superficial de taludes construidos en suelo.

El hormigón proyectado o shotcret es uno de los elementos más utilizados, genera una pared dura en el talud.



Fig. 4.2.5.1 Proyección de cemento sobre talud

La hidrosiembra es una de las medidas más efectivas en taludes con alta humedad, en lugares con climas muy húmedos. La hierba consume el agua del talud y genera una capa superficial más resistente



Fig. 4.2.5.2 Hidrosiembra en talud

## 5.- Resultados

Gran parte del trabajo con taludes, depende de la planificación anterior a la ejecución de los trabajos. Siempre se debe realizar estudios en terreno con el fin de caracterizar correctamente el terreno, sea suelo o roca, donde se quiere emplazar un talud o un sistema de taludes. Se debe caracterizar al menos en cuanto a su geología y a su geomecánica.

### 5.1 Generalidades

El talud analizado se encuentra en el acceso norte a la ciudad de Curanilahue.

Talud en estudio



Fig. 5.1.1 Vista aérea acceso Norte ciudad de Curanilahue

Este talud fue construido hace aproximadamente 3 años. Constituye el enlace acceso norte de la ruta 160 con la ciudad de Curanilahue.

Se realizó un corte al talud natural (ladera) del cerro y de esta forma se construyó el talud actualmente existente. Se trata de un talud de aproximadamente 180 metros de longitud, y tiene forma de semi-circunferencia.

Su altura es variable y va desde unos 2 metros en los extremos hasta una altura máxima estimada verticalmente de 25 metros aproximadamente.

La inclinación del talud varía a lo largo del mismo, y va desde los  $60^\circ$  a los  $70^\circ$  aproximadamente. Esto fue medido con instrumento digital no especializado (teléfono celular con giroscopio incorporado).

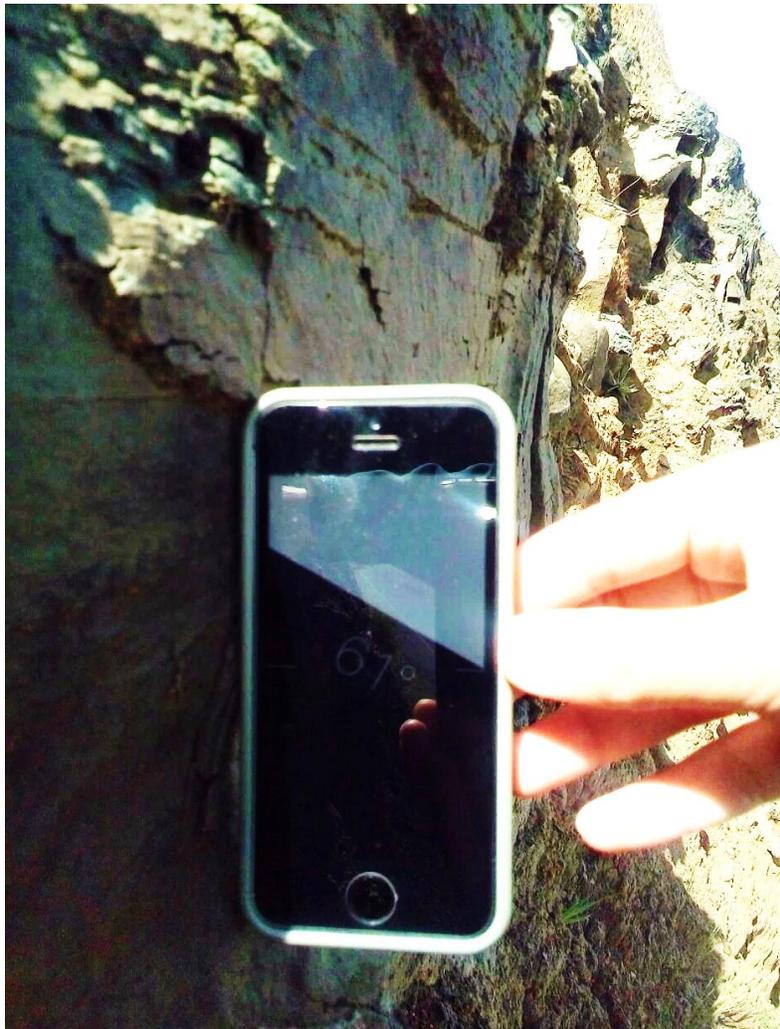


Fig. 5.1.2 Fotografía medición ángulo del talud

El talud es heterogéneo en todos los aspectos. Contiene distinta mineralización y distintas variables geomecánicas.



Fig. 5.1.3 Fotografía sector norte del talud



Fig. 5.1.4 Fotografía extremo de talud

## 5.2 Análisis geológico

El talud está construido en suelo, con poca presencia de rocas y se presenta muy heterogéneo. Hay sectores donde se encuentra características homogéneas, bien compactado y sin deslizamiento de tierra. Así como también otros sectores donde el material está suelto, granulado y ha sufrido deslizamientos.

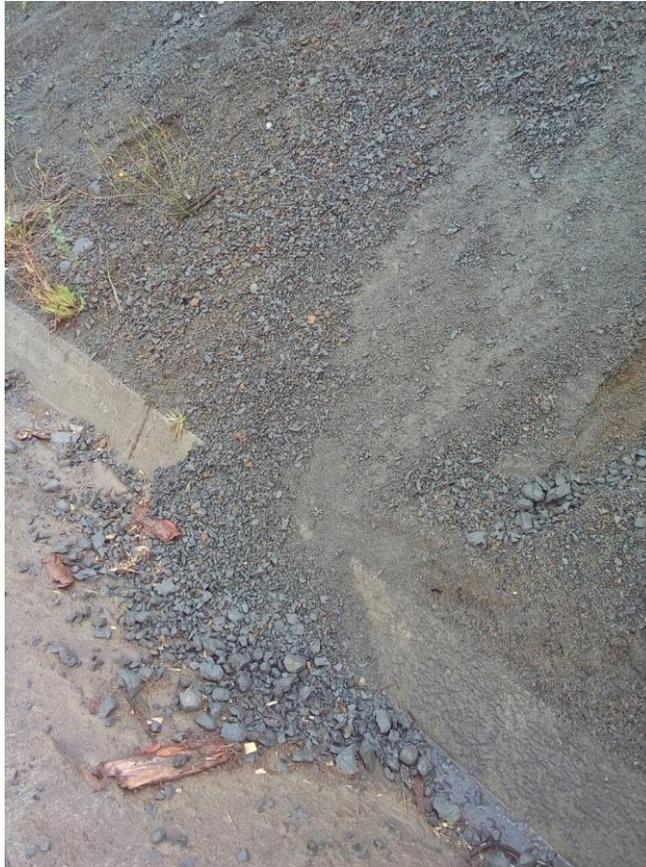


Fig. 5.2.1 Material granulado deslizado hacia carretera

El talud está construido en un suelo coluvial, el material componente es de diversos tamaños, una litología más menos homogénea en algunos sectores, una matriz algo arenosa generada por el arrastre de material desde otras laderas. Es un típico terreno de montaña que se formó por la desintegración de las rocas de otras montañas.

Contiene gravas angulosas sin un orden definido ni consolidación. Esto, contenido en una matriz de arenisca y limo inorgánico, de baja compresibilidad color café a café oscuro, olor terreo, consistencia firme y granulada en otros sectores.

En general, el terreno corresponde a limo, loess y arcillas, lo que corresponde a material geológico sedimentario detrítico no consolidado, cuyo tamaño es menor al de la arena muy fina. Este tipo de material va desde colores blanco gris, tonos cafés y hasta gris oscuro a negro. Están formados de silicatos (cuarzo y feldespato), carbonato de calcio (caliza y dolomía), y finos detritos orgánicos.

Dadas las características del clima, lluvioso y húmedo en invierno, este tipo de terrenos se torna a un color café anaranjado conocido como "tierra colorada".

Además, respecto del sector de emplazamiento, se debe indicar que se encuentran trazas de carboncillo, esto dado la cercanía a depósitos de carbón, tipo antracita o lignito.



Fig. 5.2.2 Fotografía evidenciando gama de colores

### 5.3 Análisis Geomecánico

En general, el talud tiene pocos sectores de roca masiva, la mayoría son rocas pequeñas (<3cm), de bordes redondeados y baja resistencia a la compresión. Roca blanda en algún caso posible de rayar con la uña.



Fig. 5.3.1 Fotografía de roca con marcas realizadas con la uña.

En sectores puntuales del talud, se haya roca a la que se puede aplicar ensayos técnicos para determinar la calidad de la misma. En este caso se realizó una estimación del RQD y en base a este, una estimación del RMR.

### 5.3.1 Estimación RQD

El RQD permite la opción de realizar una estimación en caso de no contar con sondajes. Para esto se utiliza el parámetro  $J_v$  el que se obtiene contabilizando las discontinuidades por  $m^3$ . Considerando que el terreno es heterogéneo, se realizó este cálculo tres veces en tres sectores del talud.

- Sector Norte:  $J_v = 28$ , por lo tanto,  $RQD = 22,6\%$ , esto corresponde a una roca de Muy mala calidad.
- Sector Central:  $J_v = 20$ , por tanto,  $RQD = 49\%$ , lo que corresponde a una roca de Mala calidad.
- Sector Sur:  $J_v = 30$ , por tanto, el  $RQD = 16\%$ , corresponde a roca de Muy mala calidad.

Promediando linealmente, obtenemos un RQD estimado para el talud de  $29,2\%$  y esto es considerado roca de Mala calidad.



Fig. 5.3.1.1 Fotografía estimación RQD

### 5.3.2 Estimación RMR

Para estimar el RMR de Bienawski, se utilizó información obtenida en terreno, y además información secundaria para el caso de la resistencia a la compresión simple, puesto que ese ensayo no se realizó en laboratorio.

Considerando que tenemos un suelo arcilloso blando y basado en tablas de datos sobre resistencia de materiales a la compresión simple es que para esta estimación se utiliza una resistencia a la compresión simple de  $0,66 \text{ Kg/cm}^2$ , lo que equivale a  $0,06 \text{ MPa}$  (Ver tabla en anexos).

Se utiliza el RQD de 29,2% antes calculado.

Se consideró los valores más estándar para el talud, ya que hay sectores donde no es posible identificar o cuantificar correctamente los distintos parámetros para estimar el RMR.

Estos datos fueron volcados a la tabla y se obtuvo un valor para RMR de 24. Esto significa que la roca es de mala calidad, clase IV, y que, en este sector, un vano de 2,5m se sostendría por 10 horas.

Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	<1	3
<b>2 Índice RQD de la roca</b>		
RQD (%)	25-50	6
<b>3 Separación entre diaclasas</b>		
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2	8
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>		
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4
Abertura (mm)	1-5	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando, < 5 mm	2
Alteraciones	Moderada. Alteradamente	3
<b>5 Agua freática</b>		
Caudal por 10 m de tunel	Nulo	15
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15
Estado general	Ligeramente húmedo	10
<b>Corrección por discontinuidades</b>		
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	No aplica	0
Taludes	Desfavorables	-50
<b>Puntuación</b>		<b>20</b>

Fig. 5.3.2.2 Cálculo de RMR para talud en estudio (planilla EXCEL).

Resultado esperable, considerando que el método anterior, RQD, había arrojado resultados similares.

De haber sido calculado en sectores con mayores alteraciones, el valor de RQD bajaría drásticamente y se mostraría que la calidad de la roca es de menor calidad que lo ya calculado.

## 6. Propuesta para el mejoramiento del talud en estudio

Tras analizar el sector en cuanto a sus características geológicas y geomecánicas, se puede ver que el talud en estudio se presenta heterogéneo en muchos aspectos, por esto es que resulta difícil cerrarse a una opción de propuesta para su mejoramiento.

En la parte baja se presenta con rocas pequeñas y disgregadas las que suelen sufrir rodados por la erosión producida por el clima del lugar. Mientras que en la parte alta se observa mayormente arcilloso y compacto, con muy pocas rocas, este sector en general no presenta rodados y se observa bastante estable.

Por otro lado, al momento de la construcción del talud, se realizó un sistema de bancos, con el fin de quitarle peso a la cabecera del mismo y así evitar un deslizamiento mecánico del talud, lo que ha funcionado bastante bien.

Basado en las observaciones en terreno y el resultado de los análisis es que se propone, para este talud en particular, un método de estabilización mixto.

Para la parte alta, considerando que es arcillosa y compacta, realizar siembra de pasto a través de hidrosiembra u otro método que permita revestir con una capa vegetal el talud, así se reducirá la cantidad de agua que ingrese a este y se endurecerá la cara libre en ese sector evitando deslizamientos.

Para la parte baja, por su contenido de rocas pequeñas y baja compactación se debería revestir el sector con una capa de hormigón proyectado, y así se evitaría definitivamente los deslizamientos de rocas que ya han ocurrido.

Por último, considerando que en la zona llueve mucho en invierno, y que la humedad ambiental siempre es alta, es que se debe instalar drenajes californianos en toda la extensión del talud.

## 7. Conclusiones

Sin duda alguna, los taludes son una de las construcciones de la ingeniería más utilizadas en diversos ámbitos. Los taludes más frecuentemente observados son los construidos como obras civiles en carreteras, vías férreas, embalses, etc.

En obras civiles, a los taludes se les exige factores de seguridad altos, puesto que serán permanentes y deben proteger a las personas que transita todos los días a lo largo de estos, por tanto, la planificación de la construcción debe ser uno de los aspectos más fuertes a considerar previo a comenzar las obras de construcción.

Por otro lado, los taludes construidos en faenas mineras son más complejos, puesto que se construyen en condiciones particularmente difíciles, por ejemplo, con tránsito de equipos de alto tonelaje, con falta o exceso de agua, etc. Además, se necesitan, en muchos casos, para una vida útil corta, por tanto, se planifican y se autoriza su construcción con factores de seguridad apenas necesarios para mantener la estabilidad. La situación más común en minería, es observar sistemas de taludes, utilizando la técnica de banco y berma, formando así una sucesión de taludes que puede llegar fácilmente a unos cientos de metros de altura.

Gran parte del éxito del talud en el tiempo viene dado por la correcta construcción. Esto se consigue con una correcta planificación, un análisis exhaustivo de todas las variables que influyen sobre el talud. No tan solo las características físicas del terreno son importantes, sino que también influye enormemente los factores externos, principalmente el agua y el viento que erosionan la cara del talud.

El talud estudiado, en cuanto a su geometría está correctamente construido. Está en uso desde aproximadamente tres años y no ha sufrido daño mecánico ni geométrico. Si ha sufrido daño de erosión por viento y lluvia dadas las características del clima del lugar. La recomendación es ejecutar trabajos de protección a la cara del talud para evitar que continúen los deslizamientos que ya han ocurrido.

## 8. Bibliografía

- Luis I. Gonzalez de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo.

“Ingeniería Geológica”

Madrid 2002

- W. Lambe, R. Whitman

“Mecánica de Suelos”

México 1972

## 9. Sitios web

- Sitio web Geomecánica

<http://ingemecanica.com/tutoriales/geotecnia.html>

- Sitio Web Universidad de los Andes, Venezuela

[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia\\_geotecnia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf)

[f](#)

## 10. Anexos

- Tabla Resistencia a la compresión no confinada
- Fotografías tomadas en terreno.
- INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS MATERIAL – AREA SUELO –  
COMUNA DE LOTA  
Solo uso referencial. Como muestra de la forma de realizar ensayo de suelos.

Tabla Resistencia a la compresión no confinada

**CONSISTENCIA DE LA ARCILLA**

CONSISTENCIA DE LA ARCILLA	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )
Muy blanda	< 0,25
Blanda	0,25-0,5
Medio compacta	0,5-1
Compacta	1-2
Muy compacta	2-4
Dura	> 4

Fuente:

<http://albatros.uis.edu.co/eisi/ArchivosProfesores/U9186/COMPRESION.pdf>

Fotografías tomadas en terreno



Fig. 10.1 Fotografía detalle granulometría



Fig. 10.2 Fotografía detalle granulometría



Fig. 10.3 Fotografia detalle fisuras



Fig. 10.4 Fotografia detalle fisuras



Fig. 10.5 Fotografía detalle granulometría (conminución manual)



Fig. 10.6 Fotografía muestra erosión del talud (efecto de lluvia y viento)

**INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-62, v1**  
**Correlativo de Obra N° 0003/2014**

<b>MANDANTE</b>	: Ilustre Municipalidad de Lota.
<b>OBRA</b>	: <b>Estudio Mecánicas de Suelos Diversos Sectores de la Comuna de Lota, ID 3020-28-LE14.</b>
<b>EMPRESA Y/O CLIENTE</b>	: Dirección de SECPLAN.
<b>ATENCIÓN</b>	: SECPLAN.
<b>DIRECCIÓN CLIENTE</b>	: Pedro Aguirre Cerda 302 - Lota
<b>CODIGO MUESTRA</b>	: N° 42761 – Área Suelo
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>	: N° 036786
<b>ENSAYO SOLICITADO</b>	: Granulometría, Proctor, Limite Atterberg, C.B.R y Clasificación de suelos.
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	: 20 de agosto de 2014
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	: 2 de septiembre de 2014
<b>UBICACIÓN</b>	: Gabriela Mistral, Frente a Poste N° L-0174 - Lota. <b>(Pavimento)</b>
<b>MUESTREADO POR</b>	: Sr. Jonathan Sepúlveda C. - Laboratorio Pampa Austral Ltda.
<b>MUESTREADO SEGÚN NORMA</b>	: NCh164.EOf76 Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras

**A. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b>	N° 03 (Pavimento)
<b>HORIZONTE</b>	N° 01
<b>COTA (m)</b>	0,00 a -2,00
<b>MATERIAL</b>	Limo inorgánico de baja compresibilidad

**B. RESULTADOS.** Granulometría (% en peso que pasa) Según Norma 8.102.1 (MC-V8-2014) (LNV 105)

Fecha de inicio ensayo:	22 de agosto de 2014	Fecha término ensayo:	25 de agosto de 2014
<b>Tamaño máximo</b>		<b>4,75 mm</b>	
<b>% material en peso sobre 3"</b>		---	
<b>TAMIZ</b>		<b>% QUE PASA</b>	
N° 4		100	
N° 10		95	
N° 40		72	
N° 200		52	

**C. CONSTANTES FÍSICAS E HÍDRICAS.**

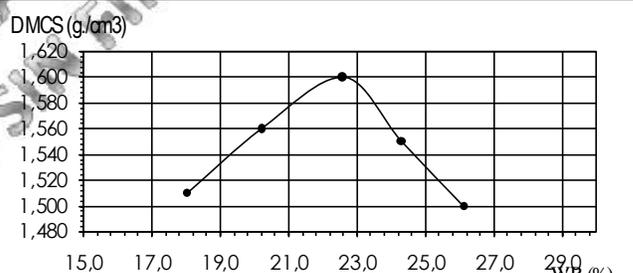
**Resultados** de Límite Líquido y Límite Plástico según Normas NCh 1517/1 y NCh 1517/2 Of 1979, Humedad según Norma NCh 1515.Of79

<b>Límite Líquido (%)</b>		39
<b>Límite Plástico (%)</b>		33,7
<b>Índice de Plasticidad (%)</b>		5,3
Según Norma NCh 1517/1 Of 1979, NCh 1517/2 Of 1979		---
Según Norma NCh 1515.Of79		---
Fecha de inicio ensayo	27 de agosto de 2014	---
Fecha término ensayo	29 de agosto de 2014	---
Tipo de Acanalador Empleado		ASTM
Método de Ensayo Empleado		Mecánico

**INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-62, v1**  
**Correlativo de Obra N° 0003/2014**

**MANDANTE** : Ilustre Municipalidad de Lota.  
**OBRA** : Estudio Mecánicas de Suelos Diversos Sectores de la Comuna de Lota, ID 3020-28-LE14.  
**CODIGO MUESTRA** : N° 42761 – Área Suelo  
**ORDEN DE TRABAJO** : N° 036786

**Resultados Próctor Modificado, Según Norma NCh 1534/2 Of 79**

<b>W. (%) Óptima</b>	22,5	
<b>D.M.C.S. (g/cm³) (Próctor)</b>	1,60	
Método de ensayo empleado	B	
Método de preparación usado	Seco	
Descripción del pisón	Manual	
Descripción del material utilizado	ML	
Porcentaje material retenido en 20mm.	---	
Corrección del sobre tamaño (%)	Sin Corrección	
Fecha de inicio ensayo	25 de agosto de 2014	
Fecha término ensayo	26 de agosto de 2014	

**D. RESULTADO** Determinación de la Razón de Soporte de Suelos Compactados, Según Norma NCh 1852.Of81

<b>C.B.R. (%)</b>	11		
Número de Golpes	56	25	10
Método Empleado para preparar y compactar la probeta	B	B	B
Acondicionamiento de la Muestra	Sumergida	Sumergida	Sumergida
Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (Kg/L)	1,59	1,48	1,43
Densidad seca de la muestra después de la inmersión (Kg/L)	1,58	1,47	1,42
Porcentaje de humedad antes de la compactación (%)	22,5	22,6	22,6
Porcentaje de humedad después de la compactación (%)	22,5	22,4	22,5
Capa superior de 25mm después de la inmersión (%)	24,0	24,1	24,3
Promedio de humedad después de la inmersión (%)	23,0	23,0	23,1
% Expansión (% de Altura Inicial)	0,5	0,9	1,8
Sobre carga (Kg.)	5,040	4,947	5,027
Razón de soporte de la muestra (sumergida o no) (%)	11		
Información específica del material o procedimiento de ensayo	Sin observaciones		
Fecha de inicio ensayo	26 de agosto de 2014	---	---
Fecha término ensayo	1 de septiembre de 2014	---	---

**Resultados** de Clasificación Según Depart. de caminos Públicos de USA-Sist. AASHTO, Según ASTM D2487 - 00.

<b>(*) Clasificación USCS</b>	ML - Limo inorgánico de baja compresibilidad
<b>(*) Clasificación AASHTO</b>	A 4 (1) - Suelo limoso

**INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-62, v1**  
**Correlativo de Obra N° 0003/2014**

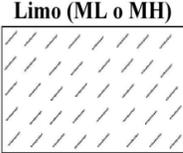


<b>MANDANTE</b>	: Ilustre Municipalidad de Lota.
<b>OBRA</b>	: <b>Estudio Mecánicas de Suelos Diversos Sectores de la Comuna de Lota, ID 3020-28-LE14.</b>
<b>CODIGO MUESTRA</b>	: N° 42761 – Área Suelo
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>	: N° 036786

**- DESCRIPCIÓN CALICATA N° 03 (Pavimento)**

**ESTRATIGRAFÍA**

De la exploración realizada se puede definir el siguiente perfil estratigráfico del pozo de prospección:

HORIZONTE N°	COTA (m)	CLASIFICACIÓN USCS	DESCRIPCIÓN DEL SUELO (Apreciación Visual en Terreno)
1	0,00 a -2,00	Limo (ML o MH) 	Estrato N° 1, corresponde a material Limo inorgánico de baja compresibilidad, tamaño máximo 4,75 mm., color café, olor putrefacto, densificación suelta, plasticidad alta, en estado saturado, consistencia media, estructura homogénea, origen natural, sin indicios de materia orgánica.

**Nota:** A la fecha de prospección se detecta napa freática a los -1,60 m.

- **Nota:** Los Ensayos marcados con (\*), Clasificación de suelo (AASHTO y USCS), según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO, no forman parte del alcance de nuestra acreditación según convenio INN-MINVU.
- Certificado de Calibración anillo de CBR (F-1-09), CESMEC SMH-14245, Enero 21 del 2014
- Los Resultados del presente informe se refieren únicamente al Ítem ensayado
- Laboratorio Pampa Austral Ltda., asegura la veracidad de los resultados del ensayo y/o control solicitado y NO la información declarada por el solicitante.
- **Este informe no es válido sin firma y sello**

**LUIS ANTONIO RUZ LARIIGA**  
 Gerente Técnico - Constructor Civil  
 Profesional Responsable Área Suelo y Hormigón