

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA**



# **ESTABILIZACION DEL TALUD DE LA COSTA VERDE EN LA ZONA DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO**

**Tesis para optar el título de Ingeniero civil**

**Área de Geotecnia**

**Presentada por**

**Arturo Alejandro Pacheco Zapata**

**Lima, Perú**

**- 2006 -**



**A mis queridos padres  
Por su apoyo y comprensión.  
Con mucho cariño.**

## RESUMEN

La presente tesis tiene por finalidad realizar un análisis de la estabilidad del talud de la Costa Verde en la zona correspondiente al distrito de San Isidro. En base a este análisis de estabilidad de taludes se pretende establecer soluciones para los problemas de este tramo específico.

Para lograr hacer una correcta evaluación de la problemática de la zona en estudio se ha hecho una recopilación de información topográfica, geológica y geomorfológica que permita modelar de manera certera el talud en estudio. Para lograr este objetivo se ha utilizado el programa de computación SLOPE/W y el programa de análisis de caída de piedras CRSP.

Además, se ha realizado un trabajo de campo para determinar mediante un catálogo de fallas los diversos problemas encontrados en la zona de estudio y las zonas más críticas donde se encuentran estos problemas.

Una vez concluido el análisis de la problemática de la zona se procede a realizar un análisis de las posibles alternativas de solución que se pueden aplicar para lograr una correcta estabilización del talud. Las soluciones analizadas son tres tipos de muros de contención, a los cuales se les ha hecho una descripción detallada de su procedimiento constructivo, diseño estructural, análisis de precios unitarios y presupuesto.

De esta manera se pudo realizar un análisis comparativo de cada una de las tres soluciones planteadas y determinar en base a parámetros técnicos y económicos cual podría ser la solución más adecuada para la zona en estudio.

# INDICE

<b>Capítulo 1:</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>01</b>
1.1	Antecedentes.....	01
1.2	El problema.....	01
1.3	Objetivos.....	02
<b>Capítulo 2:</b>	<b>Datos de la zona en estudio.....</b>	<b>03</b>
2.1	Ubicación del área de estudio.....	03
2.2	Topografía del área de estudio.....	03
2.3	Clima del área de estudio.....	04
<b>Capítulo 3:</b>	<b>Geología y geomorfología de la zona</b>	<b>05</b>
3.1	Geología y geomorfología de la zona.....	05
3.2	Geología y geomorfología local.....	06
<b>Capítulo 4:</b>	<b>Situación actual – Catalogo de Fallas</b>	<b>08</b>
4.1	Introducción.....	08
4.2	Zonas de estudio.....	08
4.3	Conclusiones.....	19
<b>Capítulo 5:</b>	<b>Análisis de estabilidad de taludes.....</b>	<b>20</b>
5.1	Introducción.....	20
5.2	Tipos de falla de taludes.....	20
5.3	Factores que influencia la estabilidad de taludes.....	21
5.4	Análisis de estabilidad.....	23
5.5	Programa de computación SLOPE/W.....	24
5.6	Parámetros para el análisis de la estabilidad de taludes	26
5.7	Back Análisis.....	28
5.8	Análisis de caída de rocas.....	34

<b>Capítulo 6: Análisis de alternativas de solución para la estabilización de taludes.....</b>	<b>37</b>
6.1 Introducción.....	37
6.2 Descripción general.....	37
6.3 Procedimiento constructivo.....	41
6.4 Diseño estructural y planos (Escala 1:50).....	47
6.5 Metrados.....	60
6.6 Análisis de precios unitarios.....	63
6.7 Presupuestos.....	72
6.8 Análisis comparativo de soluciones.....	75
6.9 Conclusiones y recomendaciones.....	78

<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>79</b>
--	-----------

## Anexos

Anexo 1	Toma de densidad de campo, análisis granulométrico y Gs
Anexo 2	Fotografías del talud de la Costa Verde a través del tiempo
Anexo 3	Perfiles topográficos
Anexo 4	Elección del talud más crítico
Anexo 5	Análisis de caída de piedras
Anexo 6	Muro de gaviones: Procedimiento constructivo gráfico
Anexo 7	Muro de gaviones: Especificaciones técnicas
Anexo 8	Muros convencionales: Especificaciones técnicas
Anexo 9	Muros ASTM C915: Especificaciones técnicas

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**  
**AREA DE GEOTECNIA**

**ESTABILIZACION DEL TALUD DE LA COSTA VERDE**  
**EN LA ZONA DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO**

ALUMNO : ARTURO ALEJANDRO PACHECO ZAPATA  
CÓDIGO : 19980497  
ASESORES : Manuel Olcese Franzero.  
Jorge Zegarra Pellanne.  
TEMA N° :

### **1.0 INTRODUCCIÓN**

En los taludes de la Costa Verde se han incrementado los problemas de estabilidad como consecuencia de la construcción de una pista en la zona inferior y la acción de la brisa marina sobre el talud causando derrumbes y caídas de piedras. En la presente Tesis se analizará el problema y se presentarán alternativas de solución y el diseño de ingeniería para un tramo de 500 m de estos taludes en la zona del distrito de San Isidro.

### **2.0 ANTECEDENTES**

#### **2.1 BREVE RESEÑA HISTORICA-BIBLIOGRÁFICA**

Se realizará un breve comentario de la zona y de distintos estudios realizados en la Costa Verde.

#### **2.2 UBICACIÓN DEL AREA – PLANO GENERAL**

El desarrollo del proyecto se realizará a partir de la cartografía básica existente en el Instituto

Geográfico Nacional, Autoridad Autónoma de la Costa Verde, fotografías de la zona. El alumno realizara un levantamiento topográfico en la zona estudiada.

### 2.3 GEOLÓGIA Y GEOTECNÍA DE LA ZONA

Se realizará una compilación de datos, analizándolas y resumiéndolas para poder definir de la mejor manera posible las características geológicas de la zona.

### 2.4 INFORMACIÓN DIVERSA

Breve análisis de proyectos, artículos periodísticos, comentarios y distintos tipos de información que permitan enfocar el desarrollo y magnitud del problema.

## 3. PROYECTO DE ESTABILIZACIÓN

### 3.1 SITUACIÓN ACTUAL

Se realizara el análisis de los distintos problemas que presentan los taludes de la Costa Verde, estableciendo un catalogo de fallas documentado fotográficamente.

### 3.2 ANALISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

Se efectuará el análisis estabilidad del talud existente en un tramo de 500 m para condiciones estáticas y sísmicas, analizando las alternativas de solución para los distintos problemas, tratando de minimizar los costos de la obra de mejoramiento.

### 3.3 METRADOS-ANÁLISIS DE PRECIOS-PRESUPUESTOS

Los análisis incluirán las condiciones en que se realizarán los trabajos; los cálculos de rendimiento y las inversiones a realizar.

El presupuesto de cada una de las alternativas de talud para el estudio económico, constará de los siguientes partidas.

- a. Limpieza de terreno. Transporte de equipo, materiales y personal. Instalación de campamento.
- b. Construcción de talud, cortes, rellenos. Refines
- c. Sistema de protección contra rodadura de piedras.
- d. Drenaje superficial y obras adicionales.
- e. Gastos generales, imprevistos y utilidades.

#### **4. ELECCION DE UN DISEÑO DEFINITIVO**

Se realizará un diseño de ingeniería en un tramo de 500 m correspondientes a la zona de San Isidro, contemplando la solución o combinación de soluciones que permitan un eficiente desempeño.

##### **4.1 ESPECIFICACIONES**

El alumno formulará las especificaciones pertinentes para la construcción del talud definitivo.

##### **4.2 DOCUMENTACIÓN GRÁFICA**

Se adjuntarán planos, fotos y gráficos respectivos.

#### **5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Lima, 23 de enero del 2004

#### **NOTA**

Extensión máxima: 100 páginas.



## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El creciente desarrollo urbano de la Gran Lima y las necesidades apremiantes de contar con lugares apropiados para la recreación de sus pobladores, ha constituido preocupación de destacados urbanistas nacionales, que han esbozado planes para desarrollar en el litoral marino entre Chorrillos(Lima) y la Punta (Callao), proyectos para construir hoteles, centros de esparcimiento, jardines, vía costanera, conjuntos habitacionales, etc. , entre las playas y los acantilados, lo que se ha denominado Proyecto “Costa Verde”, el que se inició mediante la paulatina construcción de espigones entre Chorrillos y Barranco, continuó entre Miraflores- San Isidro para llegar en la actualidad hasta San Miguel, faltando el tramo San Miguel – La punta.

Con intervención del Gobierno Central, entre Chorrillos y San Miguel se ha buscado controlar la acción del oleaje, mareas y corrientes sobre los acantilados habiéndose formado playas arenosas y pedregosas que han permitido la construcción de un sistema vial costanero entre Chorrillos y San Miguel y la instalación de algunos centros de recreación y diversión a fin de lograr similar desarrollo al que ostentan las riberas litorales de muchas ciudades europeas y norteamericanas.

### 1.2 El problema

El problema de la Costa Verde es básicamente de estabilidad de taludes, a lo que se suma el desconocimiento de alturas críticas, cortes y excavaciones (naturales y artificiales)

Estos problemas se han incrementado como consecuencia de la construcción de una pista en la zona inferior y la acción de la brisa marina sobre el talud causando derrumbes y caídas de piedras.

La importancia de este estudio radica en el hecho de que diariamente 100 mil vehículos transitan por la Autopista Costa Verde, cuyos tripulantes están expuestos a la muerte si llega a ocurrir la caída de alguna piedra; esto es debido a que las piedras al rodar por el acantilado alcanzan grandes velocidades, convirtiéndose en verdaderos

proyectiles, prácticamente imposibles de esquivar por los conductores que se arriesgan a transitar por la autopista Costa Verde.

### 1.3 Objetivo

El objetivo del presente Tesis se centra en analizar el problema y presentar alternativas de solución y el diseño de ingeniería para un tramo de 500 m de los taludes de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro.

Se efectuará el análisis para condiciones estáticas y dinámicas, analizando las alternativas de solución para los distintos problemas, tratando de minimizar los costos de la obra de mejoramiento



## CAPITULO 2: AREA DE ESTUDIO

### 2.1 Ubicación del área en estudio

El área en estudio comprende los acantilados de Costa Verde, ubicados en la parte suroeste de la ciudad de Lima.

Específicamente, la zona de playa de la Costa Verde ganada al mar con material de relleno correspondiente a la jurisdicción de San Isidro tiene una longitud aproximada de 931.16 ml. y esta localizado entre las coordenadas UTM:

A → 276,009.34 E 8'661,245.84 N

B → 276,746.07 E 8'660,953.18 N

La altitud promedio de los acantilados en esta zona es de 60 msnm, comprendiendo el Malecón Luis Bernal García, desde el Parque de la Benemérita Guardia Civil (Ex Pera del Amor) y el Mercado de San Isidro.

El acceso desde la Gran Lima se realiza a través de la bajada San Martín ubicada en el límite con el distrito de Miraflores.

### 2.2 Topografía del área de estudio

La información topográfica, consistente en mapas a escala adecuada, de los cuales se puede determinar la altura de los acantilados y la pendiente de los taludes (natural o artificial) son parámetros principales para proceder al análisis y estudio de la estabilidad del talud

El análisis de la estabilidad de taludes se realiza básicamente a través de perfiles topográficos transversales del área en estudio. En el caso particular de este estudio se requirió conocer la topografía del talud de la costa verde anterior a la colocación del desmonte proveniente de la construcción de la Avenida Vía Expresa en la década de 1960 (topografía antigua) y la topografía que actualmente presenta el talud de esta zona. (*Ver Anexo 3*)

Cabe resaltar que para poder obtener la topografía antigua del talud se hizo uso de técnicas de aerofotogrametría y georeferenciación.

El levantamiento topográfico actual ha sido realizado por la Dirección de Desarrollo Urbano de la Municipalidad de San Isidro, la cual ha sido utilizada como base para el presente trabajo de investigación,

### 2.3 Clima del área en Estudio

El litoral de la Costa verde está sometido a condiciones micro climáticas, particulares dentro de la costa peruana que tipifican al clima como semiárido, bañado por brisas marinas y vientos moderados.

El contenido de humedad relativa varía entre los valores de 94% y 67%, a pesar de esto, la precipitación promedio mensual es muy baja (0.48mm). La zona en estudio se caracteriza por las densas neblinas y tenues lloviznas (garúas) entre mayo y noviembre, que producen sensación de frío aunque la temperatura promedio anual oscila apenas entre 14°C y 18°C. En el verano (diciembre-abril), la humedad disminuye y el sol brilla con intensidad.



## CAPITULO 3: INFORMACION GEOTECNICA

### 3.1 Geología y geomorfología regional

#### 3.1.1 Geología regional

El suelo de la ciudad de Lima se encuentra dentro de los límites de influencia del cono deyeectivo Cuaternario del Río Rímac.

Este cono consiste de material aluvial de estructura lentiforme, donde se superponen depósitos de cantos rodados, arena, arcilla y limo, en forma heterogénea (conglomerado). Estos sedimentos aluviales han sido depositados durante la última etapa del Pleistoceno sobre el zócalo rocoso más antiguo, compuesto por rocas mesozoicas.

Debido a movimientos tectónicos basculantes, el cauce del río ha evolucionado virando de SO a NO, desde fines del Terciario Superior y comienzos del Pleistoceno, en que el río tenía un gran poder erosivo, hasta el Holoceno en que disminuye su poder erosivo, dejando en este lapso terrazas aluviales que caracteriza la geomorfología del área final del cono deyeectivo.

Posteriormente la acción erosiva del mar ha atacado el cono deyeectivo del Rímac, socavándolo y formando el barranco que se extiende desde el Morro Solar, en Chorrillos, hasta las playas de La Punta. Esta línea costera que abarca una longitud de 22.5 kilómetros, es lo que hoy conocemos como la Costa Verde.

En forma general, los acantilados están conformados por un suelo conglomerádico, gravoso de origen aluvial, constituido por bolos y cantos de hasta 0.30m (20%), gravas y gravillas subredondeadas a redondeadas de litología intrusiva y volcánica (60%), en matriz limo-arenosa (20%), no plástica, masiva, semicompacta, seca a ligeramente húmeda, de permeabilidad media a alta.

#### 3.1.2 Geomorfología regional

La geoforma de los conos de sedimentación de los deltas en los ríos Chillón y Rímac son de diferente origen, composición y características; como se indica y destaca en el

Mapa Geomorfológico de Lima; en el cual se observan las fases de evolución de los depósitos cuaternarios llamados terrazas; para este estudio interesará la fase de evolución t2.

La terraza t2 termina en su parte frontal en los acantilados casi verticales producto de la erosión del mar. Esta terraza corresponde a las primeras épocas del Rímac, cuando su cauce seguía la dirección Sur Oeste y va tomando mayor altura de Norte a Sur, adquiriendo mayor desarrollo en Miraflores, donde estaría situada la parte central del cono deyectivo, alcanzando 70 m.

Las grandes cárcavas, zonas de erosión en los taludes de la costa verde, fueron cursos de ramales antiguos del Río Rímac, las cuales han sido modificadas por el hombre, algunas de ellas usadas como vías y caminos para acceder a la actual Autopista Costa Verde.

### 3.2 Geología y geomorfología local

A partir de fotos aéreas e información histórica de la zona de San Isidro, se ha determinado que el talud actual de esta zona está formado por un material de relleno proveniente de la construcción de la Vía Expresa en la década de 1960. Este material de relleno fue colocado sobre el talud original, el cual, como en casi todas las zonas de la costa verde, era un talud casi vertical.

El talud original tiene las mismas características del material de origen aluvial descrito anteriormente, es decir conglomerados con cantos rodados de hasta 40 cm. de Tamaño Máximo, envueltos en una matriz de arena arcillosa.

Las características del material de relleno fueron determinadas a partir de trabajos de campo en los cuales se concluye que el suelo predominante, según la clasificación SUCS, es del tipo GP - GM, con una densidad promedio tomada en campo de 2.1 ton/m<sup>3</sup>. (Ver Anexo 1)



## CAPITULO 4: SITUACIÓN ACTUAL - CATALOGO DE FALLAS

### 4.1 Introducción

En el área de estudio existen fenómenos de geodinámica externa, producto de factores climatológicos, litológicos y la acción erosiva del mar, como son los deslizamientos, derrumbes, erosión de taludes, desprendimientos, rellenos, etc. que son potencialmente riesgosos para la vida y la propiedad en el territorio.

Es por este motivo que se realizó un análisis de los distintos problemas que presentan los taludes de la Costa Verde, estableciendo un **catálogo de fallas** documentado fotográficamente. Esto permitió determinar las zonas más críticas del total de 931 m. que corresponden a la zona de playa del Distrito de San Isidro. (Ver Plano PG-01-Anexo3)

### 4.2 Zonas de estudio

Para hacer el análisis a todo lo largo de la zona correspondiente a la Costa Verde, se ha dividido el área de estudio en 6 zonas que son las siguientes:

#### ZONA 1

LONGITUD: 227 m.

Esta zona abarca 227 m. y es la correspondiente al límite de los distritos de San Isidro y Magdalena. Esta es la zona en la cual no ha habido ninguna preocupación por parte del municipio por proteger a los automovilistas de cualquier derrumbe. Como se puede apreciar en las fotos, el “muro de contención” esta formado por una pila de piedras y desmonte, sin ninguna clase de material conglomerante. Obviamente, este muro ha fallado en muchos tramos, debido a que el muro construido no ofrece ninguna resistencia a la presión que el talud ejerce sobre él.







## ZONA 2

LONGITUD: 12.8 m.

Este es un tramo muy corto que abarca 12.8 m., en el cuál se ha construido un muro de gravedad formado por cantos rodados y mortero, con una altura de 90 cm., construido a una distancia de 2 m de la pista.

En esta zona existe el peligro de que las piedras rueden a través del talud y caigan a la pista.





### ZONA 3

LONGITUD: 112 m.

Esta zona abarca una longitud de 112 m., en la cuál se ha construido un muro de contención de gravedad, con una altura de 2m, a una distancia de 2m de la pista. El muro esta en buenas condiciones pero se aprecia que los cantos rodados están en la cima del muro, listos a caer sobre la autopista, lo que representa un peligro potencial para los automovilistas que transitan estas autopistas a gran velocidad.





#### ZONA 4

LONGITUD: 132 m.

Esta zona abarca una longitud de 132 m., en los cuales se ha construido un muro de contención de canto rodado y concreto. En toda esta zona el material del talud esta en la cima del muro, es decir a punto de caer sobre la pista, lo cual consideramos muy peligroso.

En esta zona el muro de contención tiene una altura de 90 cm., construido a 2 metros de la pista. En algunos tramos el muro se ha fisurado y en otros el muro ha fallado completamente.



## ZONA 5

LONGITUD: 108 m.

Esta zona abarca una longitud de 108 m., la cual se encuentra estable y totalmente cubierta de vegetación.

En esta zona se ha construido un muro de contención formado de piedras y concreto. Este muro tiene una altura de 1.5 m, y esta situado a 2.5 m de la pista.





## ZONA 6

LONGITUD: 339 m.

La zona de la bajada en el límite entre los distritos de San Isidro y Miraflores abarca una longitud de 339 m. En los cuales se ha construido un muro de contención ASTM, también llamado Crib Wall. Esta solución estructural parece haber funcionado muy bien en esta zona, demostrando a la vez que este tipo de muros se adapta muy bien a



los cambios de pendientes. El muro tiene una altura que varía desde los 2 m. hasta los 4 m., y está construido a 3m de la pista.

La zona está en excelentes condiciones de estabilidad y además tiene un aspecto muy bueno. Este es un muy buen ejemplo de los resultados de la combinación de muros de contención con un adecuado trabajo de revegetación del talud.





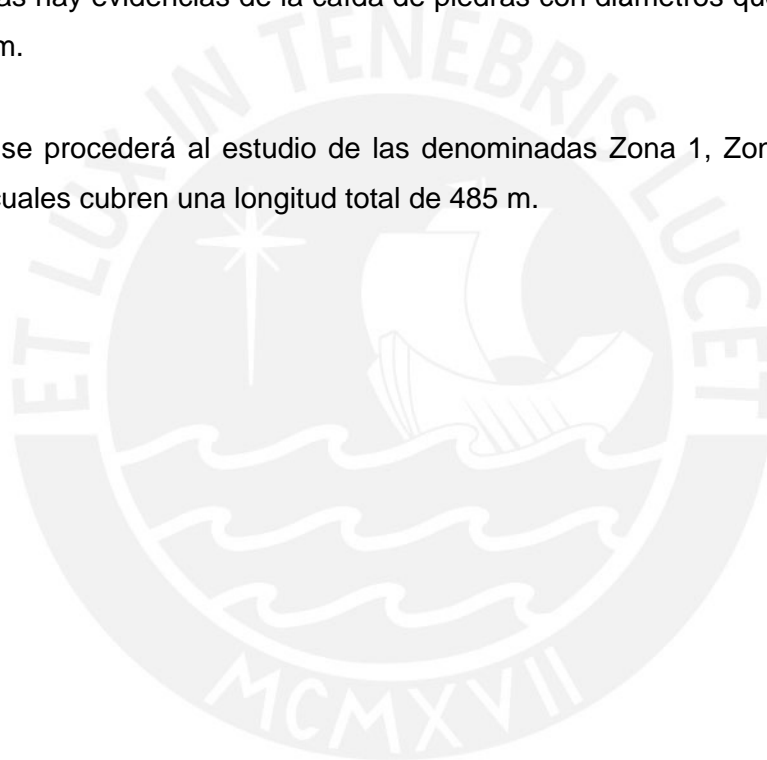
### 4.3 Conclusiones

Se concluye que las zonas en buenas condiciones son la zona 5 y la zona 6. Además, queda demostrado el buen comportamiento de los muros ASTM a lo largo de toda la Zona 6 (339 m).

Las zonas 1, 2, 3 y 4 están en malas condiciones y se necesitarán hacer trabajos en ellas. En estas zonas hay peligro de derrumbes evidentes, en muchos tramos los muros de contención han fallado. Además, en la Zona 1 se ha construido un muro de contención simplemente a partir de apilar piedras y desmonte.

En estas zonas hay evidencias de la caída de piedras con diámetros que varían de los 10 a los 20 cm.

Por lo tanto, se procederá al estudio de las denominadas Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4; las cuales cubren una longitud total de 485 m.



## CAPITULO 5: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

### 5.1. Introducción

Se comprende bajo el nombre genérico de talud cualesquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

Desde este primer punto de vista los taludes se dividen en naturales (laderas) o artificiales (cortes y terraplenes).

En la naturaleza existe el riesgo de que ocurran fallas de grandes volúmenes de tierra y rocas.

El problema está vinculado a las condiciones topográficas, geológicas e hidrometeorológicas que imperan en una región determinada.

Al respecto, en varios países existen experiencias catastróficas que han afectado e inclusive sepultado a poblaciones enteras. Generalmente, la magnitud de los deslizamientos es tal que queda fuera del control humano. Sin embargo, una detección oportuna puede representar la diferencia entre la puesta a salvo de los habitantes o una hecatombe de grandes dimensiones.

### 5.2. Tipos de fallas de taludes

#### Deslizamientos

Los deslizamientos se definen como el movimiento lento o rápido del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca) pendiente abajo, debido a un aumento de peso, pérdida de la consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en el talud.

#### Desprendimientos

Los desprendimientos son fragmentos de roca o suelo que se separan de un talud y caen saltando por el aire en buena parte de su recorrido.

## 5.3 Factores que influyen en la estabilidad de taludes

Los derrumbes y deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Sin embargo, existen ciertos factores que nos ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla.

### 5.3.1 Condiciones climáticas

El clima, de acuerdo con las características que presenta, puede favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar una suficiente cantidad de agua. Ello debido a la presión que ejerce el líquido en los poros y fisuras del suelo. Así mismo, las lluvias y la formación de corrientes de agua por la superficie (escorrentía superficial) favorecen los procesos de erosión.

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de los taludes ya que influye en la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos.

En suelos residuales, generalmente no saturados, el efecto acumulativo del agua puede llegar a saturar el terreno y activar un deslizamiento. Es por este motivo que se deben diseñar sistemas de drenaje acordes a las características del talud. En nuestro caso no se presentan lluvias de consideración, aunque de todos modos se deberá de diseñar algún sistema de drenaje que evite el ingreso de agua al cuerpo del talud.

### 5.3.2 Topografía

Los taludes con pendientes fuertes y desprovistos de vegetación son los que, con más facilidad, sufren deslizamientos. Este no es un factor determinante, ya que, en ocasiones, pendientes de muy pocos grados son suficientes para originarlos, si la roca está muy suelta o hay mucha agua en el subsuelo.

Los deslizamientos más comunes ocurren a lo largo la superficie de contacto de suelos residuales. Esto es debido a que el material meteorizado o suelto no puede mantener la misma pendiente que la antigua superficie del terreno, por ello una fuerte lluvia o un corte al pie del talud pueden activar el deslizamiento de la masa suprayacente. Este es fundamentalmente el problema que se tiene en este estudio: un material de relleno que tenderá a deslizarse sobre la antigua superficie del terreno.

### 5.3.3 Geología

Aporta un número de parámetros importantes para comprender la inestabilidad de las laderas.

#### a. Litología

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos (intemperismo).

#### b. Estructuras

Determinan zonas de debilidad (fallas, diaclasas y plegamientos), y la colocación de los materiales en posición favorable a la inestabilidad (estratos).

#### c. Sismicidad

Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para generar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

### 5.3.4 Erosión

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión por agentes humanos incluye cualquier actividad que permite un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección, como la tala de árboles u otro tipo de vegetación que ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud.

Esto sucede, cuando la actividad humana se realiza sin una adecuada planificación, especialmente en obras viales (carreteras y puentes) explotación de tajos, desarrollos urbanísticos, rellenos mal hechos, corte en el perfil natural de laderas, deforestación, prácticas agrícolas deficientes en la conservación de suelos, entre otros. Todo esto promueve procesos de inestabilidad en suelos que en cierta medida son naturalmente vulnerables a esta clase de fenómenos y que tienen graves consecuencias en el futuro.

## 5.4 Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad se basa en determinar el factor de seguridad que posee el talud en estudio. Este factor se halla comparando los esfuerzos a los que está sometido el talud y los esfuerzos que éste puede soportar.

Para taludes relativamente homogéneos, la superficie de falla se aproxima a un arco circular, a lo largo del cual las fuerzas de ruptura y resistentes pueden ser analizadas. Existen varios tipos de análisis de la estabilidad de taludes y pueden ser clasificados en tres grandes categorías: Método del equilibrio límite, Análisis límite y método de elementos finitos.

El método más difundido es el del equilibrio límite, el cuál asume la validez del criterio de falla de Coulomb a lo largo de la superficie de falla asumida. Se consideran diagramas de cuerpo libre para hacer actuar las fuerzas asumidas o conocidas. El esfuerzo cortante inducido en la superficie de falla asumida es comparado con el esfuerzo resistente del material. El método de las rebanadas, que considera un análisis de falla rotacional, es la solución más comúnmente utilizada dentro del Método del equilibrio Límite.

Este método se basa en el cálculo del factor de seguridad del talud en estudio sometiendo a comparación la resistencia al corte disponible y el equilibrio de esfuerzos de corte:

$$\text{FS} = \text{Resistencia al corte disponible} / \text{Equilibrio de esfuerzos de corte}$$

El factor de seguridad hallado nos indica lo siguiente:

- 1) Si el factor de seguridad es menor a la unidad ( $\text{FS} < 1$ ), el talud es inestable o ya colapsado.
- 2) Si el factor de seguridad es mayor a la unidad ( $\text{FS} > 1$ ), el talud es estable.
- 3) Si el factor de seguridad es menor a la unidad ( $\text{FS} = 1$ ), el talud presenta el riesgo de una falla inminente.

## 5.5 Programa de computación SLOPE/W

### 5.5.1 Introducción

En el presente trabajo se va a utilizar uno de los programas de computación más conocidos para el análisis de estabilidad de taludes: SLOPE/W.

SLOPE/W es un software que utiliza la teoría del equilibrio límite para calcular el factor de seguridad de taludes de roca y de tierra. La formulación comprensible de SLOPE/W hace sencillo el análisis tanto de problemas sencillos como complejos, usando una gran variedad de métodos para calcular el factor de seguridad. SLOPE/W tiene aplicación tanto en el campo de proyectos de geotecnia, ingeniería civil e ingeniería de minas.

SLOPE/W es un software gráfico de 32 bits que opera bajo el entorno MS Windows, lo cual permite aprender a usar este programa muy fácilmente.

### 5.5.2 Aplicaciones del programa

SLOPE/W es un programa de análisis de estabilidad de taludes muy poderoso. Usando el equilibrio límite, tiene la habilidad de modelar suelos heterogéneos, estratigrafías complejas y la geometría de superficies de falla. El análisis puede ser desarrollado usando parámetros determinísticos y probabilísticos. La combinación de todas estas características permite que el programa SLOPE/W pueda ser utilizado para analizar casi cualquier problema de estabilidad de taludes que se pueda encontrar.

### 5.5.3 Características del programa

#### a) Interfase con el usuario

##### Planteamiento del problema

CAD son las siglas de Computed Aided Drafting. El programa SLOPE/W ha implementado un sistema funcional parecido al CAD usando la interfase gráfica de Microsoft Windows. Esto significa que definir los problemas en la computadora es como dibujarlo en una hoja de papel; la pantalla se convierte en el “papel” y el mouse



se convierte en el “lápiz”. Una vez que se ha especificado el tamaño del papel y la escala del dibujo, la posición del cursor es mostrada en la pantalla en las coordenadas ingenieriles reales. Esto permite que al mover el mouse, la posición del cursor se actualice automáticamente. Por lo tanto se puede “dibujar” el problema con solo mover y hacer clic en el mouse.

Las siguientes son algunas de las características de la interfase de definición del modelo:

Se muestran los ejes, se permite la función de adherencia a una malla predeterminada y se cuenta con funciones de zoom.

Se permite hacer gráficos, insertar texto e importar imágenes. De esta manera se puede mejorar los resultados obtenidos, al hacerlos más dinámicos y comprensibles.

El diseño y la edición del problema es completamente gráfico. Mediante el uso del mouse se puede especificar la geometría de los estratos de suelo, superficies de falla, las condiciones de presión de poros, la aplicación de refuerzos y cargas externas.

### **Calculando los resultados**

SLOPE/W calcula el factor de seguridad para todas las posibles superficies de falla predeterminadas. Para análisis probabilísticos, la técnica de Monte Carlo es usada para calcular la distribución del menor factor de seguridad.

### **Viendo los resultados**

Luego de que el problema ha sido definido y las soluciones han sido calculadas, se pueden ver interactivamente/gráficamente los resultados. Las siguientes características permiten rápidamente ubicar la información específica que se necesita:

- Se permite ver los factores de seguridad y las superficies de falla asociadas a estos.
- Se permite ver el D.C.L. de cada rebanada perteneciente a la superficie crítica de falla.

## b) Análisis de estabilidad de taludes

La formulación comprensible del SLOPE/W permite el análisis de estabilidad usando los siguientes métodos: Método Ordinario o de Fellenius, el método de Bishop simplificado, el método de Jambu simplificado, el método de Spencer, el método Morgenstern Price, el método del cuerpo de ingenieros, el método Lowe-Karafiath, el método generalizado de equilibrio (GLE) y el método de elementos finitos.

La gran variedad de métodos que se pueden utilizar en el programa SLOPE/W permite escoger el método más conveniente al problema en estudio.

El efecto de los terremotos puede ser considerado aplicando fuerzas horizontales apropiadas, adicionales al análisis estático.

### 5.6 Parámetros para el análisis de la estabilidad de taludes

Para lograr un correcto análisis de estabilidad de taludes mediante el uso del programa SLOPE/W es imprescindible poder determinar los siguientes parámetros que caracterizan al talud en estudio:

#### 5.6.1 Configuración geométrica del terreno

La configuración geométrica del terreno es un parámetro básico para poder realizar el análisis de estabilidad de taludes.

Para la realización de este trabajo de tesis se obtuvieron 16 secciones transversales a todo lo largo de la zona en estudio a partir de planos topográficos actuales y antiguos. (Anexos 3 y 4)

#### 5.6.2. Estratos

Con el objetivo de realizar el análisis de estabilidad de taludes, se asumió que el talud actual esta compuesto básicamente por 2 estratos:

##### Estrato 1: Conglomerado

Este estrato es el correspondiente al talud original en esta zona.

Se va a considerar un peso unitario de 2.3 ton/m<sup>3</sup>.

*(Dato obtenido de: Cañari Sanchez, Mariella: "Estabilidad de taludes de la Costa Verde" Tesis de Grado FIC UNI)*

## Estrato 2: Relleno

Este estrato es el correspondiente al material de relleno depositado a fines de la década de 1960 sobre el talud original.

Se va a considerar un peso unitario de 2.1 ton/m<sup>3</sup>.

(Densidad promedio tomada en campo - Anexo 1)

### 5.6.3. Nivel de napa freática:

No se va a considerar presión de poros en el presente análisis ya que no se presenta nivel freático en el talud.

### 5.6.4. Esfuerzos cortantes en el material a lo largo de la posible superficie de falla:

Como se mencionó anteriormente, para el presente estudio se va considerar el criterio de falla Mohr – Coulomb, el cual presenta la siguiente ecuación:

$$S = C + s_n \times \text{Tan} (\mathbb{F})$$

Donde:

C: Cohesión del suelo (Kg./cm<sup>2</sup>)

ℱ: Ángulo de Fricción Interna (°)

s<sub>n</sub>: Presión de tapada (Kg./cm<sup>2</sup>)

Para el caso particular de nuestra zona de estudio, la estructura del talud esta formada básicamente por 2 estratos, definidos anteriormente como conglomerado y relleno.

Para poder dar inicio al análisis del talud en estudio se establecieron los siguientes rangos para los parámetros de resistencia del talud:

Para el conglomerado:  $\mathbb{F} = 35^\circ - 47^\circ$   
 $C = 0.2 - 0.8 \text{ Kg./cm}^2$

Para el relleno:  $\mathbb{F} = 35^\circ - 42.5^\circ$

$$C = 0 \text{ Kg./cm}^2$$

Se ha tomado estos rangos como punto de partida del análisis basándonos en la información recopilada del trabajo de Alberto Martínez en su trabajo: “Prácticas de Campo de Maestría 2001” y de lo discutido con el asesor de tesis respecto a las características particulares de la zona en estudio.

Para poder determinar valores más precisos de la resistencia del talud, que cumplan con las condiciones de estabilidad, es preciso realizar el siguiente back-análisis.

## 5.7 Back Análisis

Debido a la necesidad de determinar los parámetros de resistencia del talud en estudio se hizo uso del Back Análisis.

Este método consiste en analizar el talud más crítico (aquel de mayor altura y pendiente) (*Ver Anexo 4*) y someterlo a ensayos de estabilidad utilizando el programa SLOPE/W. Para esto se utilizó el juego de valores antes descritos para cada estrato, posteriormente se fue descartando los valores que nos dieron resultados de factor de seguridad menores a uno ( $FS < 1$ ).

Finalmente, se tomaron los valores de ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión ( $C$ ) que nos dieron el menor factor de seguridad mayor a la unidad, es decir, aquellos valores que permiten que el talud se mantenga estable.

En primer lugar, para hallar los parámetros del conglomerado, se hizo el back análisis sobre el talud original, es decir antes de ser rellenado con desmante. Luego, con los parámetros del conglomerado ya conocidos, se pasó a realizar el back análisis sobre el talud actual. De esta manera se pudo hallar los parámetros del relleno.

En cada uno de estos back análisis, los parámetros de resistencia se obtuvieron luego de hacer dos tipos de análisis: Análisis estático y análisis dinámico.

Para el análisis dinámico se utilizó la mayor aceleración a la cuál estuvo sometido el talud y no se presentaron signos de falla. Esto fue determinado a través de las fotos aéreas antiguas de la zona en estudio (*Anexo 2*).

### 5.7.1 BACK ANÁLISIS DEL TALUD ORIGINAL

Para este primer análisis solo se consideró la geometría antigua del talud, es decir sin considerar el relleno. De esta manera se hallaría en primer lugar los valores de resistencia del conglomerado.

### **1.- Rango de valores de los parámetros de resistencia del suelo.**

Dado que el tipo de material de talud original es una grava arenosa mal graduada (GP) se tomaron los siguientes valores:

$$g = 2.3 \text{ g/cm}^3$$

$$f = 35^\circ \text{ a } 42.5^\circ$$

$$C = 0.2 \text{ a } 0.8 \text{ Kg/cm}^2$$

### **2.- Coeficientes de aceleración**

Para hallar los parámetros de resistencia del talud original, se le sometió a una aceleración de  $269.3 \text{ cm./seg}^2$ , correspondientes al sismo de 1966.

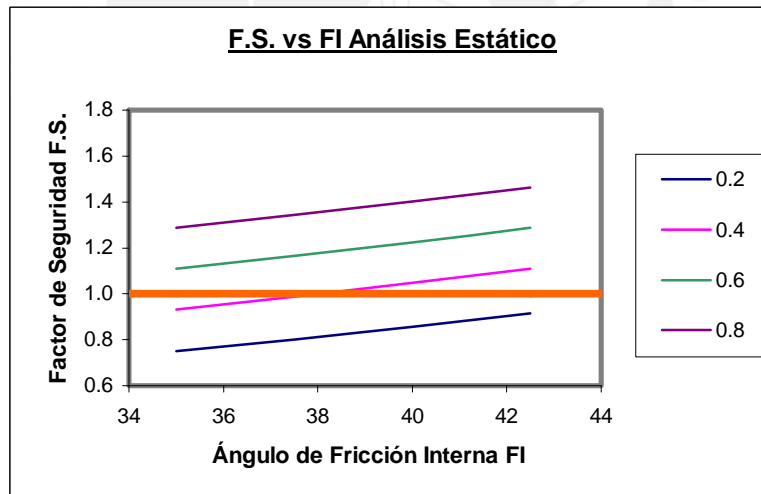
## **PERFIL 08 : back análisis en el corte de talud (solo conglomerado)**

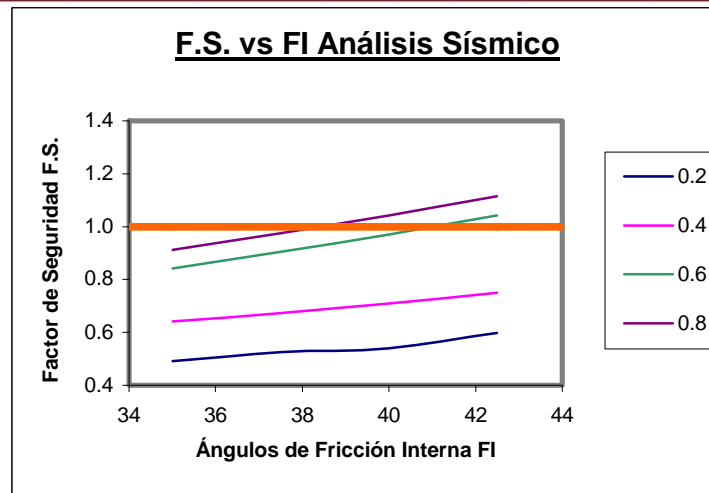
propiedades del  
conglomerado:

$\gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\phi^\circ$	$C \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\gamma \text{ (KN/m}^3\text{)}$	$C \text{ (MPa)}$
2.3	35	0.2	22.56	19.61
2.3	37.5	0.4	22.56	39.23
2.3	40	0.6	22.56	58.84
2.3	42.5	0.8	22.56	78.46

<b>Factores de seguridad para el análisis estático</b>				
C (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$			
0	35.0	37.5	40.0	42.5
0.2	0.750	0.800	0.857	0.916
0.4	0.931	0.986	1.047	1.110
0.6	1.110	1.165	1.224	1.287
0.8	1.288	1.343	1.403	1.464

<b>Factores de seguridad para el análisis sísmico</b>				
$a_{max}$ :	269.3	cm/s <sup>2</sup>	AH :	0.275 g
			AV :	0.165 g
C (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$			
0	35.0	37.5	40.0	42.5
0.2	0.492	0.525	0.540	0.597
0.4	0.641	0.674	0.710	0.750
0.6	0.841	0.905	0.971	1.042
0.8	0.912	0.975	1.042	1.114





Finalmente, los valores que se tomarán como parámetros para el conglomerado son:

$$\phi = 42.5^\circ$$

$$C = 0.6 \text{ Kg./cm.}$$

### 5.7.2 BACK ANÁLISIS DEL TALUD ACTUAL

Para este segundo análisis se consideró la geometría actual del talud, es decir considerando el relleno que se fue arrojando proveniente de los trabajos en la construcción de la Vía Expresa. De esta manera se tendría definido completamente todos los parámetros de resistencia de los estratos que conforman el talud.

En el back análisis del talud actual se hicieron las siguientes consideraciones:

#### **1.- Rango de valores de los parámetros de resistencia del suelo.**

En este análisis se hizo uso de los resultados del back análisis del talud original:

$$g = 2.3 \text{ g/cm}^3$$

$$\phi = 42.5^\circ$$

$$C = 0.6 \text{ Kg/cm}^2$$

Para el material de relleno se hizo uso de los resultados obtenidos de la toma de densidad de campo.

$$g = 2.1 \text{ g/cm}^3$$

Además, por ser un material de relleno del tipo GP se asumió lo siguiente:

$$\phi = 35^\circ \text{ a } 42.5^\circ$$

$$C = 0.0 \text{ Kg./cm}^2$$

## 2.- Coeficientes de aceleración

De acuerdo al análisis hecho en base a las fotografías aéreas se ha determinado que el talud habría soportado el sismo de 1974 teniendo la conformación topográfica actual. (Anexo 2)

Por lo tanto, para hallar los parámetros de resistencia del talud actual, se le sometió a una aceleración de  $207.1 \text{ cm./seg}^2$  correspondientes al sismo de 1974. (En base al análisis realizado de las fotografías aéreas).

### PERFIL 08 : back análisis en el corte de talud

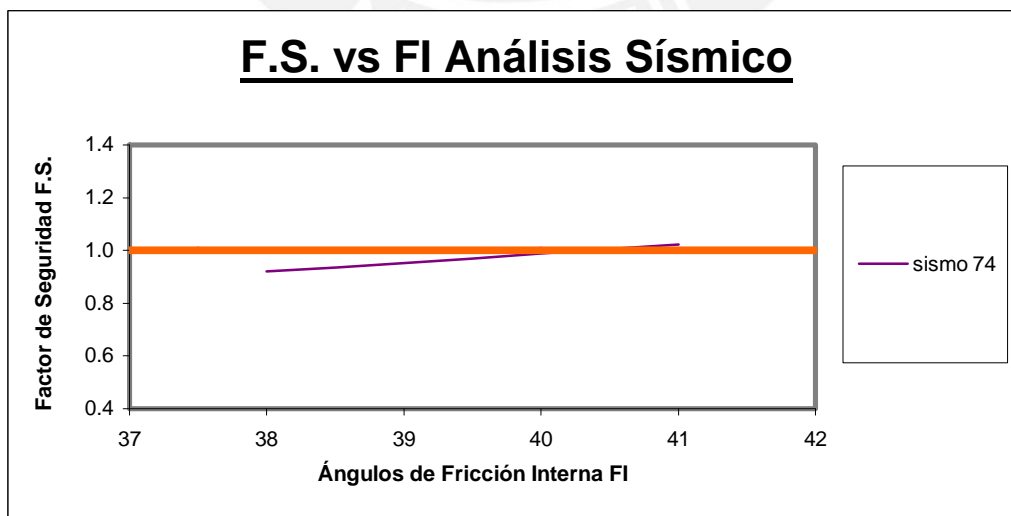
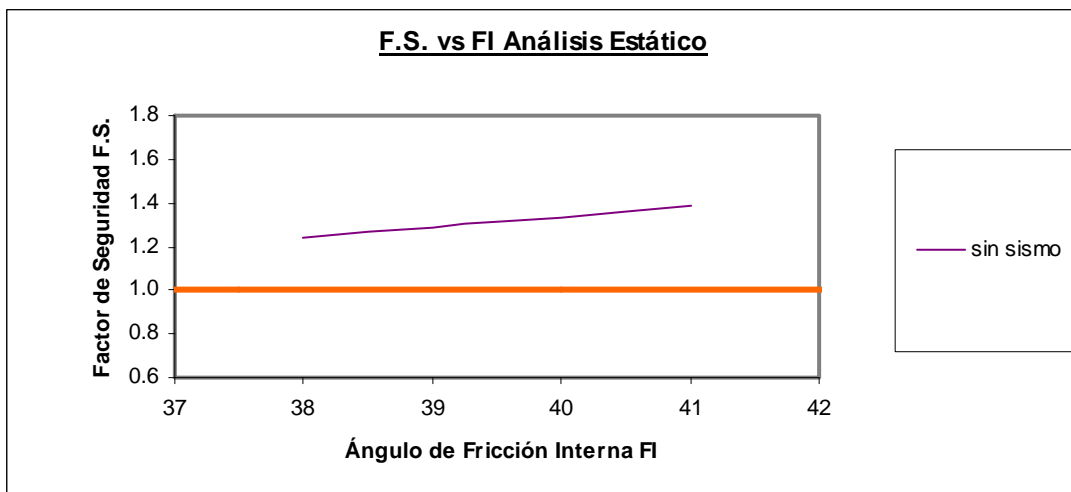
propiedades del relleno:

$\gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\phi^\circ$	$C \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\gamma \text{ (KN/m}^3\text{)}$	$C \text{ (MPa)}$
2.1	35	0	20.59	0.00
2.1	37.5	0	20.59	0.00
2.1	40	0	20.59	0.00
2.1	42.5	0	20.59	0.00



<b>Factores de seguridad para el análisis estático</b>							
C (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$						
	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0	40.5	41.0
0	1.245	1.267	1.290	1.310	1.334	1.361	1.385

<b>Factores de seguridad para el análisis sísmico</b>							
$a_{max}$ :	207.1	cm/s <sup>2</sup>	AH :	0.211 g	(sismo de 1974)		
			AV :	0.127 g			
C (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$						
	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0	40.5	41.0
0	0.920	0.936	0.953	0.970	0.988	1.005	1.023



**5.7.3 Conclusiones del back análisis**

Finalmente, los valores que se tomarán como parámetros para el relleno son:

$$\phi = 40.5^\circ$$

$$C = 0.0 \text{ Kg/cm}^2$$

Con la obtención de estos valores y los datos obtenidos de campo referentes a la densidad del terreno se puede proceder a realizar un adecuado diseño de cualquier tipo de muro de contención como posible solución al problema de estabilidad del talud.

## 5.8 Análisis de caída de rocas

### 5.8.1 Introducción

Tomando como punto de partida el catalogo de fallas recopilado en el Capitulo 4 del presente trabajo, se presentó la necesidad de hacer un análisis de caída de rocas en las zonas más críticas del tramo en estudio.

Para lograr este objetivo se utilizó el Programa de Simulación de Caída de Rocas de Colorado, CRSP Versión N° 4 para Windows (marzo 2000). Este programa modela el talud tomando como datos lo siguiente:

- Geometría del talud
- Propiedades del material del talud
- Geometría de la roca (canto rodado)
- Propiedades del material de la roca.

### 5.8.2 Resultados Obtenidos

Se evaluaron los perfiles más críticos del tramo en estudio, es decir los que presenta el menor factor de seguridad.

De los resultados obtenidos por el programa SLOPE/W se llegó a la conclusión que los perfiles más críticos son el Perfil 08 y el Perfil10. (Anexo 4)

El Perfil 08 se encuentra en el Zona 1 del Catalogo de Fallas (Capitulo 4), por lo que se en el análisis se considera un muro de contención de 0.50m de altura. El Perfil 10 se encuentra en la Zona 3 del catalogo de fallas, en dicha zona se encuentra un muro de contención de 2.00m de altura.

En el Anexo 5 se presentan los resultados obtenidos del análisis de caída de rocas asumiendo diferentes alturas desde donde podría caer alguna roca.

### 5.8.3 Conclusiones del análisis de caída de rocas

Según los resultados obtenidos del análisis de caída de rocas se encontró que no habría ningún peligro para los automovilistas si alguna roca cayera desde la zona alta o media del talud, ya que estas no llegarían a la pista.

En cambio, tanto en el Perfil 08 y 10, se encontró que si alguna roca se desprendiera de la zona baja del talud (es decir de una altura de 10 o 5 metros respecto a la pista), podría haber una pequeña posibilidad (del 2 al 5%) que la roca caiga a la autopista y ocasione algún accidente.

#### CUADRO RESUMEN #1

			# Rocas pasantes en el punto de análisis	Velocidad (m/seg.)	Energía (J)	Altura de Rebote (m)
PERFIL 08	Altura*	10 m	1	4.03	131.00	2.44
		5 m	2	4.96	189.00	1.84
PERFIL 10	Altura*	10 m	0	-	-	-
		5 m	2	4.88	155.00	2.05

**\* Altura: Altura desde la cuál se asume que podría caer las rocas en estudio.**

Del cuadro resumen se puede concluir que la energía con la que estas rocas podrían caer a la pista es muy baja (Menos de 200 joules).

Además, de acuerdo a las alturas de rebote obtenidas respecto al nivel de la pista, se recomienda implementar muros de contención que tengan como más de 2 m. de altura. Para comprobar estos resultados, se volvió a correr el programa considerando la construcción de un muro de contención de 3.00m al pie del talud. Se obtuvieron los siguientes resultados para la contención del 95% de rocas:

## CUADRO RESUMEN #2

			# Rocas pasantes en el punto de análisis	Velocidad (m/seg.)	Energía (J)	Altura de Rebote (m)
PERFIL 08	Altura*	10 m	0	-	-	-
		5 m	0	-	-	-
PERFIL 10	Altura*	10 m	0	-	-	-
		5 m	0	-	-	-

**\* Altura: Altura desde la cuál se asume que podría caer las rocas en estudio.**

Los resultados obtenidos demuestran que no pasarían rocas por encima del muro de contención de 3 metros de altura, esto debido a que la construcción de este muro cambia la configuración geométrica del talud de manera favorable a la contención de la caída de piedras.

Por este motivo se puede afirmar que el peligro de caída de rocas se podría atenuar implementando la construcción de muros de contención en las zonas críticas. De esta manera, la posibilidad de que ocurriera algún accidente prácticamente desaparecería. Cabe resaltar, que el peligro de caída de rocas en esta zona es pequeño debido a las características especiales, anteriormente mencionadas, de la zona de San Isidro.

## CAPITULO 6 Análisis de alternativas de solución para la estabilización de taludes

### 6.1 Introducción

Para solucionar los problemas de estabilidad del talud en la zona en estudio y reducir el riesgo de caída de piedras al mínimo, se ha considerado analizar en detalle las siguientes soluciones estructurales:

1. Muro de Gaviones
2. Muros convencionales
3. Muros ASTM C915 (Crib Walls)

Para cada una de las soluciones planteadas se proporcionará lo siguiente:

1. Descripción general
2. Procedimiento constructivo
3. Especificaciones técnicas (Anexo)
4. Diseño estructural y planos (Escala 1:50)
5. Metrados
6. Análisis de precios unitarios
7. Presupuestos

En base a esta información se realizará un análisis comparativo entre las 3 soluciones planteadas y se determinará qué solución se debe emplear en el proyecto de estabilización del tramo de la Costa Verde en estudio, desde el punto de vista técnico – económico.

### 6.2 Descripción General

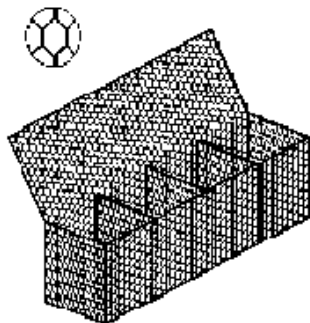
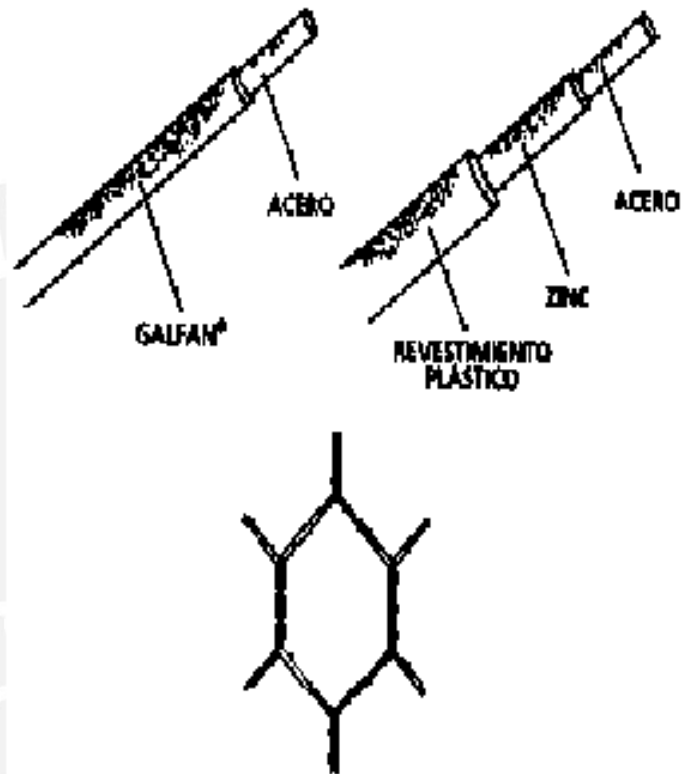
### 6.2.1 Muro de Gaviones

Gaviones, fabricados de cañas, y llenados con rocas, fueron empleados por primera vez por los egipcios hace más de 2000 años para el fortalecimiento y para el control de erosión a lo largo del río Nilo.

Actualmente, los gaviones son elementos estructurales en forma de prisma rectangular fabricados en **mallá hexagonal a doble torsión**, subdivididos en celdas por diafragmas colocados a cada metro durante la fabricación, los cuales además de reforzar la estructura, facilitan su montaje y su relleno.

Las aristas de los paneles de malla son reforzadas con alambres de mayor diámetro. Son fabricados en alambre con revestimiento pesado de zinc y protección adicional en material plástico.

Las unidades son llenadas con rocas y conectadas una a otra para formar finalmente una estructura de retención monolítica de gravedad.

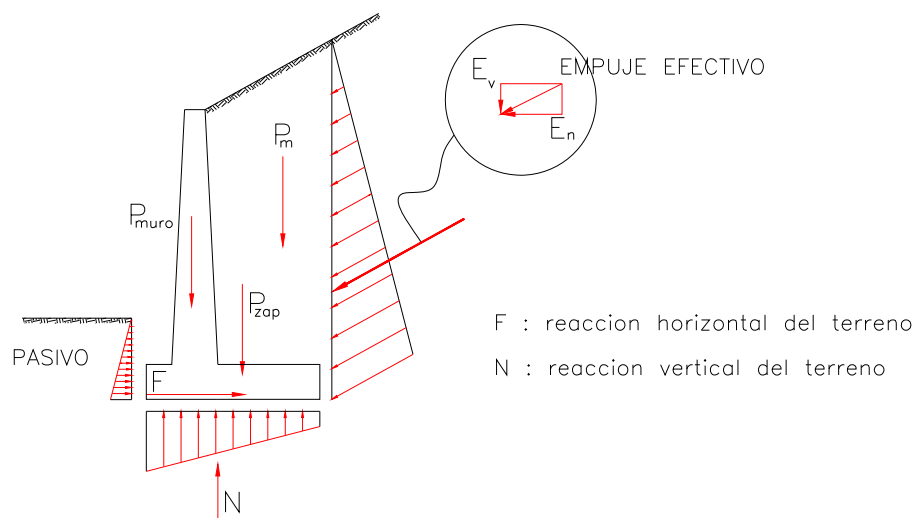


Los gaviones pueden ser fácilmente configurados en un número muy amplio de formas para satisfacer la unicidad de los proyectos de construcción

### 6.2.2 Muros convencionales

Un muro de contención convencional es una estructura de concreto armado que proporciona soporte lateral a una masa de material, y en algunos casos soporta cargas verticales adicionales.

La estabilidad se debe principalmente a su peso propio y al material que se encuentra directamente sobre su base. El material de relleno aporta la mayor parte del peso muerto requerido para evitar el movimiento de la masa de suelo.



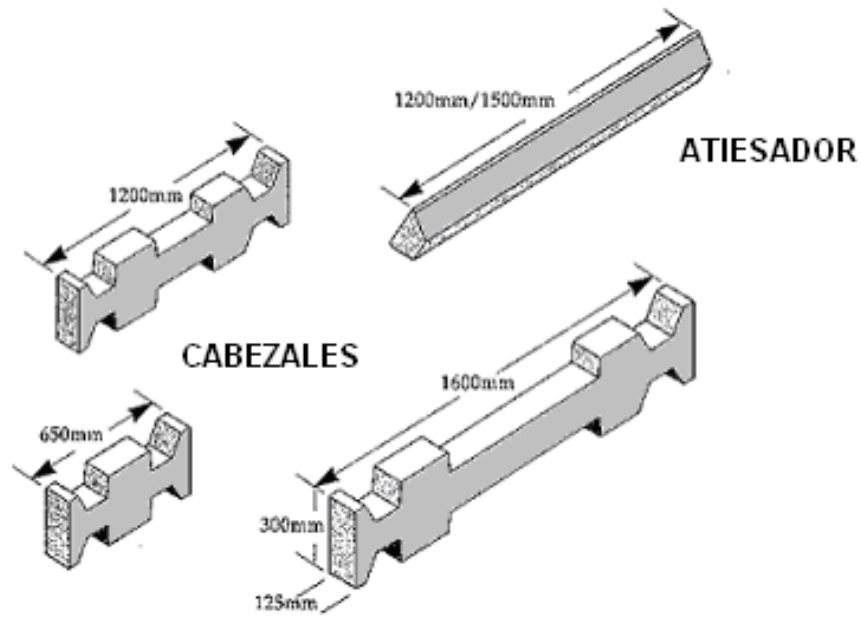
### 6.2.3 Muros ASTM C915 (Crib Walls)

Los muros ASTM C915 (Crib Walls) son muros de gravedad, cuya función principal es la estabilización y control de erosión de taludes.

Básicamente hay dos tipos de muros ASTM C915: los muros hechos de elementos prefabricados de madera y aquellos de concreto armado. Los muros ASTM hechos de elementos de madera tienen el serio inconveniente de tener una vida útil limitada, por lo que para nuestro caso, de una estructura destinada a tener una larga vida útil, sólo vamos a tomar en cuenta los muros ASTM C915 hechos de concreto prefabricado.

En el caso del concreto armado, los muros ASTM C915 se construyen interconectando diferentes piezas de concreto prefabricado: los cabezales (headers) y

los atiesadotes (stretchers), formando una sucesión vertical de celdas rectangulares, es por esta razón que también se les conoce como “muros celulares”.





## 6.3 Procedimiento Constructivo

### 6.3.1 Muro de Gaviones

#### 6.3.1.1 Embalaje.

Para facilitar el manipuleo y el transporte, los gaviones son suministrados doblados y agrupados en bultos. Fajas coloridas pintadas en cada bulto facilitan la identificación de las dimensiones de los gaviones.

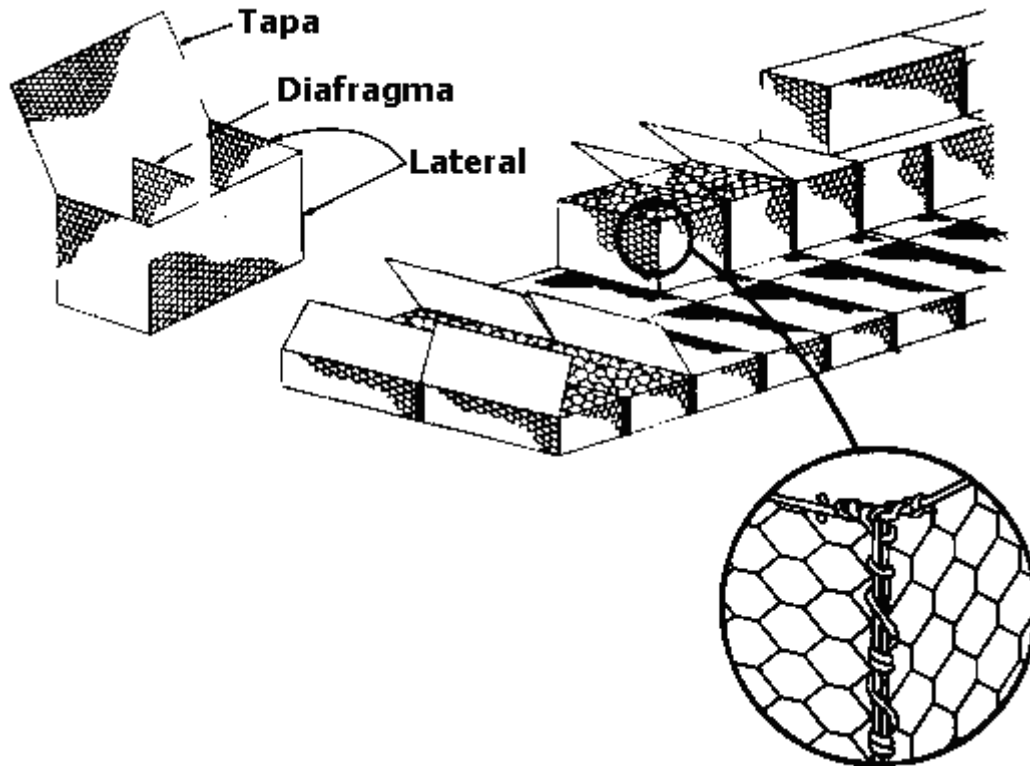
En concordancia con las normas ASTM los gaviones deben de ser pre-ensamblados por el fabricante bajo condiciones de fabricación controladas. De ninguna manera deben de ser suministrados a la obra en paneles separados y ser ensamblados por el contratista. Una unidad pre-ensamblada tiene las siguientes ventajas:

- La conexión de cada unidad no necesitara ser inspeccionada en obra.
- Las conexiones entre paneles tendrán una calidad constante.
- La conexión será la misma a través de la instalación completa.

De esta manera, minimizando la cantidad de conexiones hechas en obra, se logra una solución de mayor calidad.

#### 6.3.1.2 Montaje.

- Abra el bulto y desdoble cada unidad.
- Levante las laterales, las extremidades y los diafragmas para la posición vertical.
- Cosa las aristas en contacto y los diafragmas con las laterales, después, fijando una de las extremidades del alambre grueso que pasa por el borde libre, jale la otra extremidad; enrolle el alambre grueso alrededor de la malla cerrando las extremidades del mismo. Repita la operación para la otra extremidad del saco, dando forma de "caramelo" al mismo.
- La costura es ejecutada con el alambre de amarre que es enviado junto con los gaviones y es producida de forma continua pasándose por todas las mallas, alternativamente con vueltas simples y doble.



#### 6.3.1.3 Colocación.

- Nivela la base donde los gaviones y colchones serán colocados hasta obtener una superficie regular.
- Antes del relleno cosa los gaviones en contacto a lo largo de todas sus aristas, tanto horizontales como verticales. Para obtener un mejor alineamiento y acabado, estos pueden ser estirados antes del llenado, o como alternativa puede ser utilizado un encofrado de madera en la cara externa.

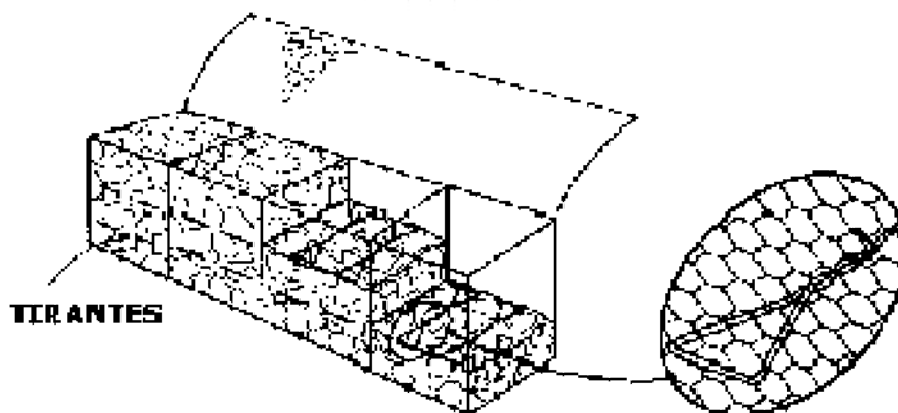
#### 6.3.1.4 Relleno.

- El relleno puede ser efectuado manualmente o con auxilio de equipo mecánico. Deberá ser usada piedra limpia, no friable y con buen peso específico. El tamaño debe ser, en la medida de lo posible, regular y tal que las dimensiones estén comprendidas entre la mayor abertura de la malla y el doble.
- Puede ser aceptable un máximo de 5%, en piedras con dimensiones superiores a las indicadas. El relleno debe permitir la máxima deformabilidad de la estructura, obteniendo el mínimo porcentaje de vacíos, asegurando el mayor peso específico.

- Dado que los gaviones son rellenos de un material granular (cantos rodados), y todos los materiales granulares se asientan ligeramente, se deberá permitir el asentamiento del material de relleno de los gaviones, estos deben de ser sobrellenados 1-2 pulgadas (25-50 mm). La tapa de la unidad es luego estirada sobre el relleno del gavión y atada, para esto se puede usar una palanca o una herramienta de cierre.
- Si no se tomara en cuenta el asentamiento del material de relleno del gavión, el asentamiento producido dejaría un vacío en la parte superior de la caja. Esto podría causar problemas en la instalación; por ejemplo un asentamiento de 1" en un gavión de 3 pies de altura, se traduce en un asentamiento de 5" en una estructura de 15 pies de altura.

#### 6.3.1.5 Atirantamiento.

- Durante el relleno, deben ser colocados tirantes de alambre de la siguiente forma:
- Llene cada celda del gavión de 1.00 m de altura hasta un tercio de su capacidad. Coloque dos tirantes uniendo paredes opuestas, amarrando dos mallas de cada pared.  
Repita esta operación cuando el gavión se encuentre llenado hasta los dos tercios.
- En casos particulares los tirantes pueden unir paredes adyacentes.
- Para gaviones de 0.50 m de altura, coloque los tirantes apenas cuando las cajas estén llenas hasta la mitad.



### 6.3.1.6 Cierre.

- Doble la tapa, luego cosa la tapa a los bordes superiores de la base y de los diafragmas.
- Los gaviones colocados arriba de una camada ya ejecutada deben ser cosidos a lo largo de todas las aristas en contacto con la camada de gaviones ya llenados.

*Ver Procedimiento Constructivo Gráfico – Anexo 6*

*Ver Especificaciones Técnicas para Muros de gaviones – Anexo 7*

## 6.3.2 Muros convencionales

### 6.3.2.1 Excavación

Se deberá emplear una retroexcavadora para realizar el corte y la excavación de cada tramo del muro.

Para evitar posibles derrumbes se deberá trabajar en tramos independientes de 3 metros de largo, dejando tramos intermedios de igual longitud.

### 6.3.2.2 Cimentación

Luego de haber excavado la zanja para la cimentación del muro, se procederá a colocar el acero de refuerzo. Posteriormente se procederá a vaciar la zapata, este vaciado será contra el terreno por lo que no se requiere utilizar encofrado en esta etapa.

### 6.3.2.3 Muro

Al tener vaciada la cimentación, se procederá a terminar el enmallado de acero de refuerzo del muro. Luego, se procede a encofrar ambas caras del muro, este encofrado se apoyara en los cimientos previamente vaciados. Finalmente se procede al vaciado de concreto del muro.

Como se podrá observar, el vaciado de cada tramo de muro se hace en dos etapas: primero se realiza el vaciado de la cimentación y al día siguiente se continúa con el

encofrado y vaciado del muro. Este procedimiento se recomienda para facilitar el proceso constructivo.

#### **6.3.2.4 Relleno**

Luego de haber desencofrado el muro, se procederá al relleno con material propio. Se deberá rellenar solo hasta 40 cm. por debajo de la cresta del muro, para poder colocar en la parte superior tierra de chacra apta para la posterior revegetación del talud. Para evitar el problema de presión de poros, en la parte inferior del muro se deberá colocar una tubería de drenaje de 4" con pequeños orificios a todo lo largo, para permitir la eliminación del agua acumulada en el relleno.

*Ver Especificaciones Técnicas para Muros Convencionales– Anexo 8*

### **6.3.3 Muros ASTM C915 (Crib Walls)**

#### **6.3.3.1 Excavación**

Se deberá de proveer una cimentación firme y compactada a toda la base en donde se van a construir los muros ASTM C915.

#### **6.3.3.2 Construcción**

Cuando la altura total del muro es menor de 6 pies (1.8 m) la cara del muro puede ser vertical. Si la altura del muro excede los 6 pies (1.8m), la pared del muro tendrá una inclinación, indicada según el diseño, la cual no deberá ser menor de 2 pulgadas cada 12 pulgadas (50mm cada 300mm). La base deberá ser ajustada para soportar la referida inclinación de la pared.

Las hiladas de los elementos prefabricados, se deberán de mantener en todo momento horizontales.

#### **6.3.3.3 Relleno**

La estructura será rellena de material granular (grava), lo cual permitirá el drenaje y además evitará los esfuerzos producidos por presión de poros.

El material de relleno será colocado inmediatamente después de terminar de ensamblar cada capa del muro ASTM C915. Es por este motivo que el muro ASTM

C915 es una estructura de contención que funciona plenamente a medida que se va armando verticalmente en cada etapa

#### 6.3.3.4 Transporte

Para evitar demoras en el proceso constructivo, las piezas de concreto prefabricado pueden ser transportadas al lugar de la obra previamente curadas, listas para su colocación.

*Ver Especificaciones Técnicas para Muros ASTM C915 (Crib Walls) – Anexo 9*



## 6.4 Diseño estructural y planos (Escala 1:50)

### 6.4.1 Muro de gaviones

Para realizar el análisis y diseño del muro de gaviones se hizo uso del programa GawacWin 2003, software de uso libre, proporcionado por la firma Maccaferri del Perú SAC.

El programa GawacWin es un sistema de análisis de estabilidad de muros de contención de gaviones sujetos a las más diversas situaciones. Es una herramienta poderosa de auxilio al proyectista de estructuras de contención.

Los métodos utilizados en los cálculos hacen referencia al "Equilibrio Límite", las teorías de Rankine, Coulomb, Meyerhof, Hansen y Bishop (optimizado a través del algoritmo minimizador Simplex) para la verificación de la estabilidad global del conjunto suelo/estructura.

El programa lleva en consideración las características mecánicas de los gaviones, producidos por el Grupo MACCAFERRI; los resultados de los cálculos y análisis no serán reales en el caso de la utilización de otros tipos de materiales.

La primera hipótesis de cálculo adoptada por el programa es la que considera el problema con una configuración plana. Por lo tanto son necesarias solamente las dimensiones del problema en el plano de la sección. Esta hipótesis es comúnmente adoptada en geotecnia, a tal punto que pocas veces se hace referencia a ella. Obviamente un análisis tridimensional sería más preciso, desde el punto de vista de la representación de la realidad.

Por otro lado este tipo de análisis envuelve un aumento en la complejidad de los cálculos, exige mayor cantidad de datos precisos además del aumento en la demanda computacional. Otro factor que debe ser resaltado es que el análisis plano es más pesimista que un análisis tridimensional, conduciendo al usuario a resultados del lado de la seguridad.

Nota: No se considera en el diseño la colocación de un geotextil, en la parte posterior del muro de gaviones, debido a que el relleno que se va a colocar no va a ser compactado.

























### 6.4.3 Muro ASTM C915 (Crib Walls)

Para determinar el diseño de los Muros ASTM (Crib Walls) se utilizó como guía la norma ASTM C 915.

Dado que el muro ASTM C915 construido en el tramo de 339 m (Zona 6) ha funcionado muy bien a través del tiempo, se van a tomar sus características para hacer el diseño de la nueva propuesta.

Para empezar a diseñar un muro ASTM C915 se debe tener definida la altura que se necesita, la cual en este caso es de 3.25 m (Altura promedio del muro ASTM existente actual).

Con este dato se determina que el muro es del Tipo B (Fig. 1 - Norma ASTM C915).

Además, en la tabla de la Figura 2 de la norma se indica que para una altura de 3.25 m (10'-7") se deberá utilizar cabezales (Headers) de 5"x8"x6' y atiesadores (Stretchers) de 6"x6"x6' y de 6"x8"x6'.

La sección transversal se muestra en el plano adjunto, en donde se observa claramente la forma en que se deben colocar cada pieza y su armado total. Se ha comprobado en campo que con estas referencias se ha construido el muro de contención que actualmente existe.





































## 6.8 ANALISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES – VENTAJAS Y DESVENTAJAS

### 6.8.1 Análisis de presupuestos

ITEM	DESCRIPCIÓN	RATIO (S/. / ML)	D1 (S/. / ML)	COSTO DIRECTO	D2 (S/.)	D (%)
01	Muro de gaviones	1,856.11	284.65	669,454.19	102,666.74	18%
02	Muro de contención convencional	1,635.54	64.08	589,897.75	23,110.30	4%
03	Muro ASTM C915 (Crib Walls)	1,571.46	0.00	566,787.45	0.00	0%

Nota:

*D1 (S/. / ML): Diferencial entre el ratio del muro analizado y el muro más económico.*

*D2(S/. / ML): Diferencial entre el C.D. del muro analizado y el muro más económico.*

*D (%): Diferencial en porcentaje del muro analizado y el muro más económico.*

De los resultados obtenidos del análisis del presupuesto de cada una de las opciones se pueden concluir lo siguiente:

1. La opción más económica son los muros ASTM C915(Crib Walls).
2. La opción de muros de contención convencionales tiene un costo 4% mayor que los Muros ASTM C915.
3. La opción más cara son los muros de gaviones, siendo un 18% más costosa que la opción más económica.
4. Desde el punto de vista del presupuesto de construcción, las opciones más convenientes serían los Muros ASTM C915 o los Muros convencionales.

## 6.8.2 Análisis de ventajas y desventajas

### 6.8.2.1 Facilidad de construcción

En cuanto a la facilidad de proceso constructivo, hay una clara ventaja de los muros de gaviones y los Muros ASTM C915 sobre los muros convencionales, ya que los dos primeros se van armando y rellenado a medida que se van construyendo.

Además, por proceso constructivo los muros convencionales tienen que ser vaciados en dos tiempos, primero la zapata y al día siguiente el muro, lo cuál genera demoras en el plazo de construcción.

Otra desventaja de los muros convencionales es que no entran inmediatamente en funcionamiento, ya que se debe esperar a que el concreto obtenga su resistencia de diseño.

### 6.8.2.2 Mano de obra

Los muros de gaviones son elementos de aplicación simple, no requiere mano de obra especializada. Utilizando apenas malla y piedra, permiten rapidez de ejecución y posibilidad de trabajo en locales de difícil acceso y condiciones climáticas adversas, el mismo en presencia de agua.

Los muros ASTM C915 tampoco requieren de mano de obra especializada y son armados fácil y rápidamente. No necesitan de sistemas de cimentación costosos y además los componentes pueden ser movilizadas entre 2 personas.

En cambio, los muros convencionales necesitan mano de obra calificada para la preparación de encofrados y armaduras.

### 6.8.2.3 Permeabilidad

La construcción tipo malla abierta y el uso de materiales drenantes de los muros de gaviones y los muros ASTM C915, eliminan las 2 causas principales de problemas en los muros de contención convencionales: el aumento de presión hidrostática y la presión producida por los sistemas de raíces de los árboles.

### 6.8.2.4 Flexibilidad

Las estructuras en gaviones, debido a su flexibilidad, pueden acompañar asentamientos o acomodamientos sin perder su eficacia y función estructural, contrariamente a las estructuras rígidas o semi-rígidas (Muros convencionales).

Los muros ASTM C915 también pueden seguir curvas suaves, pendientes y terrenos no uniformes, además pueden ser fácilmente construidos en esquinas. Básicamente, la flexibilidad de este sistema se basa en que es un sistema desmontable.

Además, cuando la construcción va a ser por etapas, debido a factores de financiamiento, este sistema es ideal al no haber una conexión permanente entre sus componentes, lo cual permite que se pueda continuar los trabajos en el momento que se requiera.

### 6.8.2.5 Impacto ambiental

Las estructuras en gaviones se adaptan a cualquier ecosistema, no constituyen obstáculos al paso de las aguas y están constituidas por materiales inertes que favorecen la recuperación rápida de la fauna y de la flora.

Los muros ASTM C915 pueden ser sembrados con flores y plantas usando los espacios en la cara del muro, este le permite mimetizarse con cualquier clase de ambiente. Alternativamente se le puede dar acabados especiales (enchapes).

## 6.9 Conclusiones y recomendaciones.

- Luego de haber hecho el análisis comparativo económico y de haber analizado las ventajas y desventajas de los 03 tipos de muro de contención analizados, la decisión de utilizar los muros ASTM C915 es clara y contundente.
- Además, se tiene la experiencia de que es un sistema que ha funcionado bien en la zona en estudio (Catalogo de fallas – Capitulo 4). Esto nos da mayor confianza en su elección, ya que no solo soluciona el problema de la estabilidad del talud, sino que tiene un impacto muy positivo desde el punto de vista ambiental.
- Por lo tanto, por razones económicas, de facilidad de proceso constructivo y de impacto ambiental se recomienda como solución para el problema de estabilidad del talud de la Costa Verde en el Distrito de San Isidro el uso de los muros ASTM C915 (Crib Walls).

## Referencias Bibliográficas

- Cañari Sánchez, Mariella (2001)  
“Estabilidad de Taludes de la Costa Verde”. Tesis para optar el grado de Bachiller. FIC - UNI.
- Colorado Department of Transportation (2001)  
Colorado Rock Fall Simulation Program User’s Guide
- GEO - SLOPE (2002)  
SLOPE/W User’s Guide
- HIDROENERGIA – Consultores en ingeniería (1997)  
“Estabilidad del acantilado de la Costa Verde”
- INGEMMET(1997)  
“Estudio de la Seguridad Física de los acantilados de la Costa Verde”
- Koerner, Robert (1999)  
“Design with geosynthetics” 4th edition Prentice
- Maccaferri de Perú  
Imágenes incluidas en la descripción general de los muros de gaviones  
“Especificaciones técnicas de los gaviones caja plastificados”  
<http://www.maccaferri.com.br/pagina.php?pagina=2313&idioma=2#8678>
- Martinez Vargas , Alberto (1996)  
Estabilidad de Taludes
- Morales Morales, Roberto (2002)  
“Diseño en Concreto Armado”
- Norma ASTM C915  
“Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Crib Wall Members”

- Phygroup  
Imágenes incluidas en la descripción general de los muros ASTM C915  
<http://www.phigroup.co.uk/products/>
- Olcese Franzero, Manuel (2001)  
Material del curso “Ingeniería de cimentaciones”. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Zegarra Pellanne, Jorge (2001)  
Material del curso “Mecánica de suelos”. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Zúñiga, Fidel (2004)  
“Estabilización del talud de la Costa verde - Distrito de San Miguel”.  
Tesis para optar el grado de Bachiller. Pontificia Universidad Católica del Perú

