

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE

Ing. Mariella Geovanna Cañari Sanchez

Dr. Jorge Alva Hurtado

1.0 INTRODUCCION

La existencia de proyectos de ingeniería como la construcción de modernas edificaciones cercanas a los acantilados, ambiciosos proyectos para la habilitación de áreas turísticas-recreativas, el mejoramiento y ampliación de la vía de comunicación, otorgan en la actualidad, una gran importancia al área de la Costa Verde.

El fenómeno de desprendimientos de suelos sobre esta vía de comunicación, a pesar de ser un problema tan antiguo y un tema sumamente importante (de hecho están en juego vidas humanas), no está aun totalmente solucionado y teniendo en cuenta que estamos en una zona sísmica el problema puede ser de mayores consecuencias que lamentar.

Sabemos que desde años se han realizado estudios, pero la falta de ensayos adecuados y de estudios detallados, a llevado a generalizar los parámetros de los suelos que conforman los acantilados, teniendo ciertas precauciones para realizar un análisis de los acantilados (Ref. 1,2,3 y 4).

Por lo tanto el objetivo principal de esta investigación ha sido realizar estudios al detalle de la geología-geomorfología, la geodinámica externa, sismicidad, ensayos de campo (se ejecutó el ensayo de corte directo in situ) y laboratorio, zonificación en términos de riesgo, análisis de estabilidad de taludes y presentación de alternativas de solución para la estabilización de los taludes.

El área de estudio comprende los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro y Miraflores, desde la bajada de la Av. Bertolotto (San Miguel) hasta la Quebrada de Armendáriz (Miraflores), con una longitud aproximada de 8.5 Km y un ancho aproximado de 55 m. La topografía ha sido realizada para esta investigación a escala 1/500 la cual ha servido como base para los estudios geológico, geomorfológico, de geodinámica externa, zonificación de riesgos y para la obtención de los perfiles de estabilidad.

2.0 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA

Se ha descrito la geología y geomorfología a nivel regional (Ref. 5 y 6) y a nivel local, esta ultima en forma muy detallada. Se determinó la geodinámica externa a través de una zonificación del área de estudio, presentando la ocurrencia de fenómenos de derrumbes y deslizamientos, determinando sus orígenes y obtención de secciones criticas para sus análisis, para tal tarea se

estableció 4 zonas limitadas por los accesos a la vía de la Costa Verde: Zona I: Bajada Av. Betolotto-Subida Av. Brasil (Km 0+000 al Km 1+700), Zona II: Bajada Av. Brasil- Subida a Marbella (Km 2+845 al Km 4+000), Zona III: Bajada a Marbella-Subida Balta (Km 4+000 al 6+755) y Zona IV: Bajada Balta-Quebrada Armendáriz (Km 6+755 al Km 8+460). La geología y la geomorfología a nivel local y la geodinámica externa han sido plasmada en el Plano Geológico – Geomorfológico (P-01).

3.0 SISMICIDAD DEL AREA DE ESTUDIO

Se revisó la información de intensidades históricas y neotectónica existentes en el área de Lima (Ref.7). El estudio probabilístico modela las fuentes sismogénicas como áreas, ya que no existen suficientes datos como para modelarlas como fuentes lineales. Para un período de retorno de 500 años la aceleración máxima es de 0.44 g, mientras que para un período de retorno de 1000 años dicho valor es de 0.53 g. La aceleración del sismo de diseño será de 0.30 a 0.33 g.

El estudio de peligro sísmico nos permite conocer el coeficiente sísmico para el método Pseudo-estático de diseño, obtenido en base al registro histórico e instrumental existente ($K_c=0.20$ y 0.25), para el cual deben de ser proyectadas las diferentes obras de los acantilados. El coeficiente sísmico para el método pseudo-estático de diseño de taludes y muros de contención deberá ser $\alpha = 0.20$ y 0.25 .

4.0 EXPLORACION DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

En la exploración de campo se ejecutaron calicatas y trincheras, para obtener la clasificación y el perfil estratigráfico de los suelos, las calicatas se ubicaron al pie del talud y las trincheras en la cara del talud, además se realizaron ensayos de densidad natural y el ensayo de Corte Directo In Situ (Ref. 8 y 9), ubicado en la corona del talud a la altura del Muelle Uno en Miraflores, obteniendo los parámetros de resistencia cortante del conglomerado, como el ángulo de fricción(ϕ) y la cohesión (C).

$$\gamma = 2.1 \text{ ton/m}^3$$

$$C = 0.55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 40^\circ$$



Foto N°1 Realizando el ensayo de Corte Directo In-situ, en la corona del talud

Como ensayos de laboratorio se realizaron los ensayos estándar de las muestras alteradas e inalteradas obtenidas de las calicatas y trincheras, en forma general los primeros depósitos de suelo encontrados en las calicatas, a partir de la superficie del terreno fueron arcilla limosa (CL-ML), arena limosa (SM), arcilla (CL), limo (ML) hasta una profundidad aproximada de 2.80 m., continuando con los depósitos de grava mal gradada (GP) y grava mal gradada en matriz limosa (GP-GM).

La estratigrafía en las trincheras ejecutadas hasta una profundidad aproximada de 0.50 m., varía de acuerdo al lugar, así en San Miguel se encontró limo (ML), arcilla (CL), arena limosa (SM), arcilla de alta plasticidad (CH), grava limosa (GM), arena mal gradada en matriz limosa (SP-SM), en Magdalena del Mar se encontró grava mal gradada en matriz limosa (GP-GM), en Miraflores se encontró grava mal gradada (GP).

5.0 ZONIFICACION GEOLÓGICO-GEOTECNICA DE LOS ACANTILADOS EN TERMINOS DE RIESGO

Se evaluó el grado de estabilidad de los taludes, a través de la zonificación geológica-geotécnica definiendo los niveles de riesgo en bajo, medio, elevado y muy elevado.

Riesgo Bajo.-Está conformado por todos aquellos taludes que presentan poco peligro para la carretera y las edificaciones que se encuentran hacia el borde superior del acantilado.

Riesgo Medio.- Están comprendidos bajo esta denominación todos los taludes que representan un peligro moderado para la carretera o las edificaciones que se encuentren al borde superior o al pie del talud.

Riesgo Elevado.- Está conformado por todos aquellos taludes que presentan peligro elevado para la carretera, es decir que de ocurrir un derrumbe o desprendimiento importante no solo obstaculizará el tránsito vehicular sino que puede dañar las estructuras o edificaciones que se encuentren al pie o al borde superior del talud, con la consiguiente pérdida de vidas humanas.

Riesgo Muy Elevado.- Estos segmentos están constituidos por todos aquellos taludes que están en un estado muy crítico, con evidencia de movimiento o formación de cárcavas que representan un serio problema para la carretera o edificaciones aledañas.

6.0 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para el análisis de estabilidad de taludes se utilizó el programa PCSTABL que permite realizar análisis de estabilidad de taludes por el método del equilibrio límite, utilizando los métodos de Bishop (Ref. 10) y Janbu (Ref.11), obteniendo los factores de seguridad estáticos y pseudo estático para todos los taludes elegidos y representar de una manera realista el estado actual de los taludes, considerando una aceleración de 0.20g, que refleja el grado de susceptibilidad ante la presencia del fenómeno sísmico.

El programa CRSP mediante la simulación del deslizamiento, caída libre, rebote y rodadura determina las trayectorias de las rocas inestables.

7.0 MEDIDAS DE ESTABILIZACION DE TALUDES

Se presentan diferentes alternativas de solución para estabilizar los taludes o que por lo menos permitan atenuar los efectos previstos.

En algunas zonas de la Costa Verde se ha procedido a corregir los taludes, adoptando el clásico sistema de terrazas, lo cual otorga al talud una mejor estabilidad para efectos de derrumbes y/o desmoronamientos.

En las zonas críticas las viviendas que se encuentran en los bordes deben ser demolidas, si se quiere utilizar la alternativa de solución con las banquetas o terrazas, ya que los cortes de tierra se realizarán para retirar definitivamente el material en peligro de desprenderse, por lo que se deberá reubicar a los vecinos afectados.

La cobertura vegetal evita la erosión eólica y de los rayos solares, se ha determinado una selección de vegetales, su instalación, manejo y cuidado para revegetar los taludes de la Costa Verde por medio de un sistema de riego por goteo.

8.0 CONCLUSIONES

- El estudio de peligro sísmico nos permite conocer el coeficiente sísmico para el método Pseudo-estático de diseño, obtenido en base al registro histórico e instrumental existente ($K_c=0.20$ y 0.25), para el cual deben de ser proyectadas las diferentes obras de los acantilados. El coeficiente sísmico para el método pseudo-estático de diseño de taludes y muros de contención deberá ser $\alpha = 0.20$ y 0.25 .
- El resultado de la zonificación de los acantilados en términos de riesgo es:
 - Bajada Bertolotto - Bajada Brasil:** 59.1% de los taludes presenta un riesgo medio, 15.6% un riesgo elevado y el 25.3% un riesgo muy elevado.
 - Bajada Brasil - Bajada a los Baños de Marbella:** Presenta 90.1% un riesgo medio y 9.9% un riesgo elevado.
 - Bajada de los Baños de Marbella - Altura de la Av. Federico Villarreal:** Presenta 56% de riesgo bajo y 44% de riesgo medio.
 - Altura de la Av. Federico Villarreal - Bajada Balta:** Presenta 16.9% de Riesgo bajo, 46.7% de riesgo medio y 36.4% de riesgo elevado.
 - Bajada Balta – Bajada Armendáriz:** Presenta un 27.4% de riesgo bajo, 34.4% de riesgo medio, 24.6% de riesgo elevado y 13.6% de riesgo muy elevado.
- En el análisis de estabilidad se han considerado los parámetros de resistencia obtenidos de los ensayos de corte directo in situ, éstos son:

Conglomerado	Finos
$\gamma = 2.1 \text{ ton/m}^3$	$\gamma = 1.7 \text{ ton/m}^3$
$\phi = 40^\circ$	$\phi = 28.5^\circ$
$C = 0.55 \text{ kg/cm}^2$	$C = 0.9 \text{ kg/cm}^2$
- El área de estudio de la Costa Verde se ha dividido en sectores para una mejor descripción de los acantilados, en ellos se ubicaron los perfiles para analizar su estabilidad utilizando el

programa PCSTABL, según los métodos de Janbu y Bishop. Se presentan en la Tabla N°1 y Tabla N°2.

TABLA N° 1

ESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE TALL
(PROGRAMA PCSTABL- METODO DE JAMBU)

PERFIL	Factor de Seguridad	
	A. Estático	A. Pseudoestático
P1	1,47	1,13
P2	1,71	1,27
P3	1,76	1,28
P4	1,44	1,08
P5	1,65	1,26
P6	1,5	1,11
P7	1,38	1,02
P8	1,67	1,28
P9	1,07	0,92
P10	1,18	0,94
P11	1,54	1,20
P12	1,54	1,15
P13	1,05	0,82
P14	1,61	1,34
P15	1,04	0,80
P16	1,85	1,39
P17	1,05	0,79
P18	0,99	0,75
P19	1,01	0,77
P20	1,02	0,78
P20'	1,53	1,21
P21	2,09	1,41
P22	1,33	1,01
P23	1,72	1,35
P24	1,37	1,03
P25	1,39	1,08
P26	2,38	1,63
P27	1,07	0,80
P28	1,38	1,04
P29	1,82	1,31
P30	1,43	1,05
P31	1,45	1,08
P32	1,25	0,93
P33	1,42	1,05
P34	1,45	1,08
P35	1,41	1,06
P36	1,63	1,18
P37	1,36	1,03
P38	1,5	1,14
P39	1,51	1,12
P40	1,66	1,21
P41	1,56	1,18
P41'	1,14	0,87
P42	1,56	1,10
P42'	1,54	1,11
P43	1,50	1,08
P44	1,74	1,22
P44'	1,32	0,98
P45	1,56	1,13
P46	1,37	1,00
P47	1,69	1,27

TABLA N° 2

**JMEN DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE TALUD
(PROGRAMA PCSTABL-METODO BISHOP)**

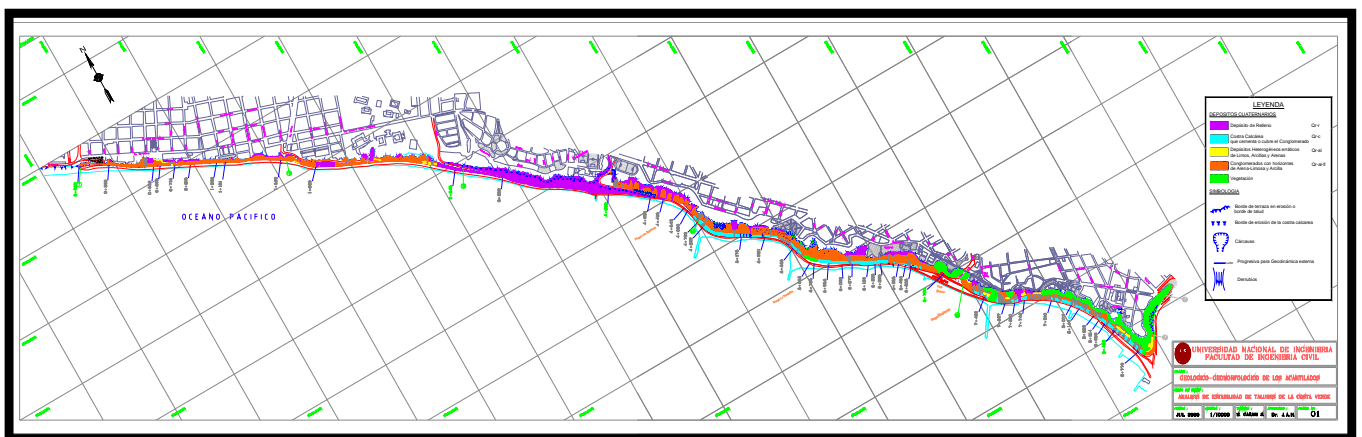
PERFIL	Factor de Seguridad	
	A. Estático	A. Pseudoestático
P1	1,26	1,00
P2	1,46	1,13
P3	1,59	1,19
P4	1,00	1,08
P5	1,74	1,34
P6	1,50	1,14
P7	1,34	1,01
P8	1,62	1,30
P9	0,79	0,66
P10	1,15	0,94
P11	1,52	1,14
P12	1,26	0,95
P13	0,95	0,71
P14	2,84	2,11
P15	0,95	0,74
P16	1,71	1,29
P17	1,03	0,82
P18	0,94	0,77
P19	0,99	0,81
P20	1,34	1,05
P20'	0,94	0,73
P21	1,75	1,25
P22	1,3	1,10
P23	2,06	1,61
P24	1,19	0,88
P25	1,55	1,28
P26	2,29	1,58
P27	0,78	0,55
P28	1,23	0,92
P29	1,82	1,38
P30	1,45	1,08
P31	1,50	1,14
P32	1,36	1,06
P33	1,43	1,1
P34	1,46	1,12
P35	1,35	1,04
P36	1,51	1,15
P37	1,35	1,02
P38	1,42	1,05
P39	1,22	0,93
P40	1,66	1,22
P41	1,53	1,17
P41'	1,68	1,31
P42	1,59	1,16
P42'	1,38	1,04
P43	1,26	0,92
P44	1,66	1,18
P44'	1,35	1,09
P45	1,57	1,13
P46	1,46	1,09
P47	1,78	1,37

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO IN-SITU REALIZADOS EN EL CONGLOMERADO DE LIMA

Ubicación	Clasificación SUCS	Angulo de Fricción (φ)	Cohesión (C)	Esfuerzos Normales Aplicados	Referencias
Banco de la Vivienda Av. Emancipación y Jr. Camaná Cercado de Lima	GP	40°	0.40 kg/cm ²	1.0,2.0,3.0 kg/cm ²	Estudio de Factibilidad Técnico, Económico y Anteproyecto del Sistema de Transporte Rápido Masivo de Pasajeros en el Área Metropolitana Lima-Callao-Metro Lima.
Beneficencia de Lima Av. Abancay y Nicolás de Pierola Cercado de Lima	GP	37°	0.60 kg/cm ²	1.0,2.0,3.0 kg/cm ²	Estudio de Factibilidad Técnico, Económico y Anteproyecto del Sistema de Transporte Rápido Masivo de Pasajeros en el Área Metropolitana Lima-Callao-Metro Lima.
Malecón de la Marina en los acantilados de la Costa Verde Miraflores	GP	39.9°	0.55 kg/cm ²	0.5,1.0,1.5 kg/cm ²	Estabilidad de Taludes de la Costa Verde Hidroenergía Consultores en Ingeniería.
Intercambio Vial, cruce Av. Universitaria y Venezuela Cercado de Lima	GM	34°	0.15 kg/cm ²	1.13,2.18,3.32 kg/cm ²	Intercambio Vial Av. Universitaria-Av. Venezuela Alpha Consult.

OBSERVACIONES:

EL CONTENIDO DE HUMEDAD VARIA ENTRE 2% Y 6%.



PLANO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DE LOS ACANTILADOS, P-01

REFERENCIAS

1. Carrillo Gill A., “Estabilidad Estática Dinámica de los Acantilados de Lima”, Memorias del V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Lima–Perú, 1984.
2. Carrillo Gill. A., “Recientes Experiencias en el Análisis de Estabilidad de los Acantilados en la Costa Verde”. Revista de Ingeniería Geotécnica. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Ingeniería, Lima–Perú, 1984.
3. Sánchez Lara L., “Análisis y Diseño en la Estabilidad de Taludes”, Tesis de Grado, Programa Académico de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima–Perú, 1975.
4. García E., “Análisis de Estabilidad Estática y Dinámica de los Acantilados de Lima”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Lima–Perú, 1982.
5. INGEMMET, “Geología de los Cuadrángulos de Callao, Lima, Chosica y Lurin”, Boletín N° 43, Lima–Perú, 1992.
6. Martínez Vargas y Porturas F., “Mapa Geomorfológico de Lima”, Lima–Perú, 1975.
7. Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V., "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú”, V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna–Perú, 1984.
8. De la Rosa A.F. (1974), “Ensayos de Corte Directo In Situ para los Estudios de Factibilidad del Transporte Rápido Masivo de la Gran Lima”, Tesis de Grado, Programa Académico de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima–Perú.
9. Humala G., “Ensayos de Corte Directo In-Situ en Lima” IV Congreso de Ingeniería Civil, Chiclayo–Perú, 1982.
10. Bishop, A.W. “The Use of the Slip Circle in the Stability Análisis of Slopes-Geotechnique, USA, 1965.
11. Janbu N., “Slope Stability Computation”, Casagrande Volume USA, 1973.