

CONSORCIO EL TROJE - OYACOTO

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DIQUE EN LA ESCOMBRERA "EL TROJE 4" (FASE PRELIMINAR)

1

Autor: Ing. Vladimir JÁTIVA SEVILLA

Quito, 26 de diciembre / 2017

INDICE

Página

1	ANTECEDENTES	3
2	OBJETO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA	3
3	UBICACIÓN	3
4	ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
4.1	Morfología	
4.2	Litologías	
4.3	Estructuras	
5	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	4
6	ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE LOS ESCOMBROS	4
6.1	Índice de consistencia	
6.2	Capacidad de retención del suelo	
7	MODELO GEOTÉCNICO	6
7.1	Aceleración sísmica	
8	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	8
8.1	Resultados de los cálculos	
8.1.1	Dique y relleno sin saturación	
8.1.2	Dique y relleno semi saturados	
8.1.3	Dique y relleno saturados	
8.1.4	Dique y relleno sin saturación con sismo	
8.1.5	Dique y relleno semi saturados con sismo	
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
9.1	Conclusiones	
9.2	Recomendaciones	
10	BIBLIOGRAFÍA	13
11	ANEXO FOTOGRÁFICO	14

2

1 ANTECEDENTES

El CONSORCIO EL TROJE – OYACOTO ha sido contratada por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito para el manejo de escombros de suelos, materiales de construcción y basuras en general, en la escombrera denominada TROJE ubicada al Sur de la ciudad, cerca de la población de Tambillo.

En la escombrera El Troje los suelos procedentes de la excavación para la construcción del METRO de Quito y otros escombros de construcciones y basuras, son depositados en cubetos según su grado de contenido de humedad; los suelos con poca humedad, se los coloca en cubetos para ese tipo de suelos mientras que los suelos muy húmedos, saturados o sobre-saturados se los mezcla con otros con menor humedad y se los vierte en cubetos destinados al drenaje de su alto contenido de agua. Los escombros de materiales de construcción que contienen elementos rígidos (como piezas de hormigón hidráulico, fragmentos de ladrillos, baldosas, etc.) se los mezcla con suelos para su depósito. Los desechos de basuras en general (maderas, llantas, restos de pasto, colchones, etc.) son depositados en lugares específicos para su parcial reciclado aunque han contaminado al resto de suelos.

Es importante señalar que en algunos taludes se observa la presencia de desechos de construcción como llantas, plásticos, mangueras, etc. mezclados con los suelos de excavación del Metro, lo que indica que los materiales acumulados son heterogéneos en su composición.

En la noche del 05/12/2017 a las 23h20' aproximadamente, se produjo el deslizamiento del paramento externo de un dique (muro) de retención de suelos y lodos, los cuales se desplazaron ladera abajo, a manera de un líquido viscoso, en una longitud inclinada aproximada de 680m medidos con GPS tipo Navegador.

El Contratista para el manejo de los escombros ha solicitado al autor del presente informe, su punto de vista respecto al deslizamiento suscitado.

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO y METODOLOGÍA

- Conocer el Factor de Seguridad (FS) estática y con aceleración sísmica del dique (muro) elaborado con suelo compactado antes del deslizamiento de su paramento externo.
- Igualmente, conocer el FS en condiciones de relleno con suelo totalmente saturado en condición estática y con injerencia de un sismo.
- Redacción de Informe Geotécnico.

Para cumplir con el objetivo antes indicado, la Constructora Alvarado ha entregado al Consultor, los datos topográficos, de Mecánica de Suelos y otros necesarios que permitan establecer el Modelo Geotécnico sobre el cual se calculará, mediante programa de estabilidad de laderas, la condición de estabilidad de la obra en condiciones normales de la construcción y en condiciones extraordinarias (suelo retenido saturado, lluvias fuertes sobre el paramento externo, aceleraciones sísmicas, etc.).

Cabe resaltar que los parámetros y datos topográficos y sísmicos con los cuales se realizará el Modelo Geotécnico y los cálculos del FS, son aproximados o estimados.

3 UBICACIÓN

En el centro del deslizamiento de la escombrera EL TROJE se encuentra a 5 km al Este de la población (barrio) de Guamaní, en el sector Sur de la loma de Bellavista, en el punto de coordenadas UTM siguientes:

776545 E / 9'963284 N (Datum WGS – 84) o 776803 E / 9'963659 N (Datum SAM – 56)

4 ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1 Morfología

El sitio donde se halla la escombrera de El Troje, es el flanco oriental de la loma de Bellavista - Guamaní, la cual forma parte de la cadena de levantamientos del lado oriental de la ciudad de Quito y que se prolonga hacia el lado Norte hasta las lomas de Guangüiltagua y El Batán.

4.2 Litología

La zona de la escombrera EL TROJE, se encuentra ubicada en una zona cubierta por cenizas volcánicas, lapilli de pómez y arenas finas volcánicas, depositadas en forma periclinal y que forman parte de la Formación Pleistoceno-Holocénica Cangahua, la cual cubre a los depósitos Vulcano-sedimentos Machángara.

Estos depósitos volcánicos conocidos en nuestro medio como "cangahuas", tienen una potencia estimada de 50m (DGGM, 1978)

4.3 Estructuras

El mapa geológico Hoja "Quito" (DGGM, 1978) indica la presencia cercana a la escombrera, de una probable falla geológica de 12 km de longitud y dirección variable entre N20E en la zona sur a N30E en la zona norte.

5 PERFIL ESTRATIGRAFICO

En el talud de corte de la vía "Simón Bolívar" (UTM: 776151E/ 9'963787N; Datum WGS – 84) se observa el siguiente perfil estratigráfico desde la superficie hacia abajo.

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN
0.00 a 1.00	Suelos limosos arenosos de coloración gris a negros en estado húmedo, con raíces. Suelo orgánico
1.00 a 5.00	Tobas coloración café rojizo a amarillento, con clastos de pómez de diámetro entre 3 a 5mm, débiles. Poco compactas.
5.00 a 5.70	Capas y lentes discontinuos de arena volcánica fina mezclada con granos de pómez de 2 a 10mm de diámetro. Disposición periclinal. Propensos al deslizamiento. La inestabilidad de estos niveles arenosos ha obligado para que se realicen calces en el talud.
5.70 a 20	Tobas coloración café oscura, compacidad media.

Nivel freático: No observado

Por la cercanía del afloramiento a la escombrera y por el idéntico origen geológico, se acepta que esta distribución de los suelos volcánicos aflorantes en el talud será aproximadamente similar (si no los mismos) que en el subsuelo de los materiales de la escombrera Troje 4.

6 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE LOS ESCOMBROS

La gran mayoría de los escombros de suelos provienen de la excavación del túnel para la construcción del Metro de Quito.

Dependiendo de la zona de excavación, estos suelos tienen diferentes composiciones granulométricas. Así, estudios de Mecánica de Suelos realizados por la Pontificia Universidad Católica de Quito (PUCE) realizadas el **noviembre / 2017** indican:

UBICACIÓN	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMOS Y ARCILLAS (%)	SUCS	LÍMITES DE ATTERBERG
BERMA 13	1	28	71	ML	LL= 37 LP = 26 IP = 11
BERMA 4	0	32	68	ML	LL= 34 LP = 25 IP = 9

Fuente: PUCE

Otros parámetros de los suelos analizados son:

UBICACIÓN	DENSIDADES (KN/m ³)		Relación de vacíos (e)	Humedad natural w (%)	Grado de saturación Sr	Cohesión c (kPa)	Ángulo de fricción φ (°)
	γ _d	γ _s					
BERMA 13	14.88	18.53	0.71	25	89.22	88.09	26.73
	14.59	18.17	0.75				
	14.77	18.58	0.73				
	Media = 14.75	Media = 18.43	Media = 0.73		Media = 88.87		
BERMA 4	14.36	17.81	0.78	26	80.58	46.16	32.37
	15.12	18.17	0.69				
	15.13	18.22	0.69				
	Media = 14.87	Media = 18.07	Media = 0.72		Media = 78.14		
						Medio= 67.12	Medio= 29.55

Fuente: PUCE

6.1 Índice de Consistencia I_c

En estado plástico del suelo, el I_c se expresa por: $I_c = (LL - w) / I_p$ [Llorenz J.]

Para los valores de la plasticidad y humedad medidos en laboratorio, el Índice de Consistencia I_c del suelo obtenido en las bermas estudiadas, estuvo entre Consistente a Firme, lejos de una condición blanda (0.5 < I_c ≤ 0.75), pastosa (0 ≤ I_c ≤ 0.5) o fluida (I_c = 0) que fue la condición del suelo recibido en la escombrera en grandes cantidades y proveniente de la excavación del Metro.

UBICACIÓN	LL	W	I _p	I _c	CONSISTENCIA
BERMA 13	37	25	11	1.09	Consistente
BERMA 4	34	26	9	0.89	Firme

Es decir, los suelos muestreados provenientes de las bermas # 13 y # 4 tuvieron un nivel de consistencia alto al momento de ser analizadas en el laboratorio para la medición de sus parámetros físico-mecánicos fundamentales, lo cual permite concluir que los valores de la cohesión c y ángulo de fricción φ del material, son superiores a los que tendría un suelo de similar granulometría y origen geológico pero con mucho mayor contenido de humedad, como fueron los suelos estocados a finales de noviembre/2017 y en la primera semana de diciembre/2017 antes del deslizamiento de barro.

6.2 Capacidad de retención del suelo

Así se denomina al valor mínimo a que puede reducirse el contenido de humedad de un suelo sujeto al drenaje por gravedad.

Para suelos arenosos, el drenaje por gravead del agua contenida es continuo durante mucho tiempo mientras que en suelos finos es escaso e intermitente.

Los suelos de la escombrera son de tipo ML de SUCS, es decir, "limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad". (Lambe & Whitman, 1979) es decir, suelos finos, los cuales retienen mayores volúmenes de agua.

Se ha podido observa que los suelos de la zona deslizada, mantienen altos niveles de humedad aún después de 15 días, lo que indica además su alto contenido de suelos arcillosos antes que arenosos.

"En el terreno, todo proceso de drenaje por gravedad va periódicamente acompañado de la incorporación de agua proveniente de las lluvias... cuyo efecto sobre el contenido medio de humedad del suelo depende no solo de la cantidad de agua incorporada y de la evaporación, sino que también en gran parte de detalles de la estratificación del terreno." "Por ello, no hay correspondencia definida entre la capacidad de retención del agua del suelo después de drenado en laboratorio y la misma capacidad de retención en el terreno." K. Terzaghi y R. Peck (1978)

Por lo indicado, algunos sectores de la escombrera pueden drenar más que otros cuyo contenido en elementos arcillosos retienen durante mucho tiempo el agua y a los cuales debe dotarse de elementos drenantes especiales para su drenaje oportuno.

7 MODELO GEOTÉCNICO

Fue desarrollado a partir de la sección topográfica del dique y que corresponde al levantamiento topográfico elaborado por la Constructora Alvarado en noviembre / 2017. En el modelo se adjuntó la disposición de las capas piroclásticas del subsuelo del dique, asimilando en sus características y dimensiones aproximadas, a las indicadas en el Perfil Litológico.

El modelo geotécnico utilizó los siguientes parámetros físico-mecánicos para cada capa:

CAPA N°	DESCRIPCIÓN	PESO VOLÚMICO (T/m ³)		COHESIÓN (T/m ²)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)
		γ _d	γ _s		
1	Limos arenosos compactos. Cangahua, densidad alta	1.63	1.83	15.29	38
2	Lentes de arenas volcánicas finas	1.63**	1.83**	0	35
3	Limos arenosos semi compactos. Cangahuas	1.63	1.83	10.19	35
4	Limos arenosos con materia orgánica. Raíces. Suelo vegetal.	1.12	1.73	1.02	25
5	Escombros de suelos con basuras y desechos de construcciones.	1.33	1.63	1.02 / 0.51*	20
6	Escombros de limos arenosos compactados (dique)	1.50	1.88	6.84 / 1.02*	30

* En condición saturado.

** Valores menores a los de arenas puras, ante la mezcla con clastos pumíticos.

7.1 Aceleración sísmica

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC, 2011, capítulo 2, la ciudad de Quito se encuentra en la Zona Sísmica V, con un valor del Factor Z = 0.4 es decir de peligro sísmico alto.

Para conocer el Factor de Seguridad (FS) del dique frente a la aceleración sísmica de la NEC, el cálculo de la estabilidad del dique en condiciones normales de operación (no semi-saturado ni saturado) ha empleado una aceleración sísmica horizontal equivalente al 50% del Factor Z y una aceleración vertical de 0.05g No se ha producido un sismo que genere en el sitio esa aceleración, por lo que sus resultados se circunscriben al análisis de su estabilidad en condición 'normal' de operación.

De datos obtenidos de la página Web del IG-EPN se conoce que el día 03 de diciembre / 2017 a las 06h15'AM (es decir, a 65 horas antes del deslizamiento del dique) se produjo un sismo con epicentro estuvo a 13.2 km de Bahía de Caráquez en el punto de coordenadas 0.49°S / 80.39°W. Este sismo tuvo una Magnitud epicentral de 6.2 Richter y un foco sísmico a 20 km de profundidad. .

Este sismo fue sentido en gran parte del País. En la ciudad de Quito fue sentido por casi toda la población.

El radio sísmico hasta la zona de El Troje fue de 207.28 km (distancia horizontal de 206 km y 23 km de profundidad del foco sísmico desde la cota de El Troje) y la aceleración sísmica aproximada que produjo este evento en el sitio del dique de El Troje 4, calculada con la ecuación de Esteva (1969), fue de

$$a_{\max} \approx 0.013 \text{ g} \quad (= 12.75 \text{ cm/s}^2)$$

Esta es una aceleración relativamente pequeña pero que sí pudo haber producido licuación en los depósitos de limos arenosos sobre-saturados y también alguna fisura en el dique, dada la heterogeneidad de los materiales que lo compusieron y por ende sus valores de compactación.

Cabe señalar que en la zona del El Troje no existen acelerógrafos instalados que permitan establecer con mayor precisión el valor de la aceleración en el sitio.

8 ANALISIS DE ESTABILIDAD

Para el cálculo de la superficie de deslizamiento más crítica, se ha calculado mediante programa computacional, referido al Método del Equilibrio Límite, ecuaciones de Bishop y bajo el concepto de equilibrio límite global que considera el equilibrio de la masa de terreno individualizada por igual a la superficie sometida a las fuerzas de contorno. La resistencia al corte necesaria para el equilibrio y que actúa a lo largo de la superficie de deslizamiento, es calculada mediante las ecuaciones de la estática y el factor de seguridad (FS) es asumido constante en toda la superficie de deslizamiento. El análisis es efectuado en condiciones de deformación plana.

En la definición del FS de los modelos, se han empleado 1010 superficies posibles para cada cálculo.

Al "muro" que formó el cubeto, se lo ha analizado como si hubiese sido un dique conformado por la compactación de suelos limosos arenosos con arcillas y basuras (pedazos de hormigón de diferentes tipos, fragmento de ladrillos y azulejos, piedras de diferentes tamaños, plásticos, llantas, varillas de hierro, etc.) con contenido de humedad no saturado, semi-saturado (nivel freático bajo) y saturado con nivel freático alto, a nivel de superficie.

El dique tuvo las siguientes dimensiones:

- Altura del paramento de aguas abajo: 24m
- Altura del paramento de aguas arriba: \approx 17m
- Altura del relleno respecto al cimacio: \approx 4m
- Inclinación del paramento de aguas abajo y arriba: 32° (2x:1y)
- Ancho del cimacio: 9.5m

Los análisis iniciales desarrollados son en CONDICIÓN ESTÁTICA o sin sismo, pues al momento del acontecimiento, (05 de diciembre / 2017 // 23h20') no se produjo ningún sismo o aceleración que le pudiese afectar.

La existencia de una aceleración de origen sísmico ocurrida 2 días antes del deslizamiento, pudo haber generado un proceso de licuación de suelos en los lodos del relleno y discontinuidades al interior del dique.

Los análisis de estabilidad ejecutados, contemplan 3 condiciones de análisis concordantes con las condiciones variables que tuvo el dique y los materiales del relleno:

- a) Del dique y relleno sin saturación de agua.
- b) Del dique y relleno semi-saturados de agua.
- c) Del dique y relleno saturados.

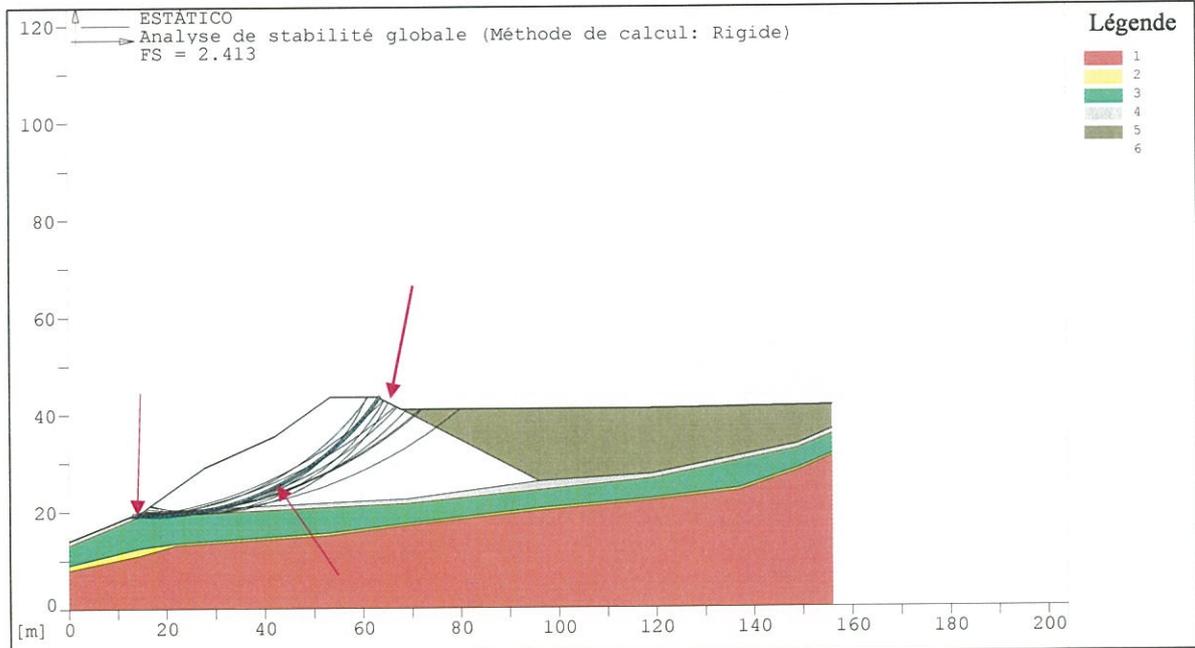
Los análisis con inclusión de sismo se realizaron para las condiciones a) y b) anteriores. Para la primera, usando como aceleración horizontal el 50% del valor del Factor Z establecido por la NEC para la zona de El Troje y una aceleración vertical de 0.05g

Para la 2da. Condición se utilizó como aceleración horizontal el valor producido en la zona de El Troje, por el sismo de Bahía de Caráquez de 6,2 de Magnitud Richter.

8.1 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

8.1.1 DIQUE Y RELLENO SIN SATURACIÓN: Análisis estático

Es la condición del dique reflejada por los datos de laboratorio.



Vérification de la stabilité globale : ESTÁTICO

Forces mobilisées dans les renforts selon la méthode rigide

Analyse de stabilité avec des surfaces circulaires selon la méthode de Bishop

Facteur de sécurité évalué FS =: **2.413**

El FS = 2.413 calculado por el programa, indica que el dique tuvo alta seguridad; es decir, el dique y el relleno fueron estables.

En el gráfico anterior se indica (con flechas rojas) la ubicación de la superficie de menor factor de seguridad (FS = 2,413) la cual nace de una zona del paramento aguas arriba y recorre por el cuerpo del dique hasta su pie. La rotura es por el cuerpo del dique.

A lado derecho del gráfico, los niveles de suelos descritos anteriormente.

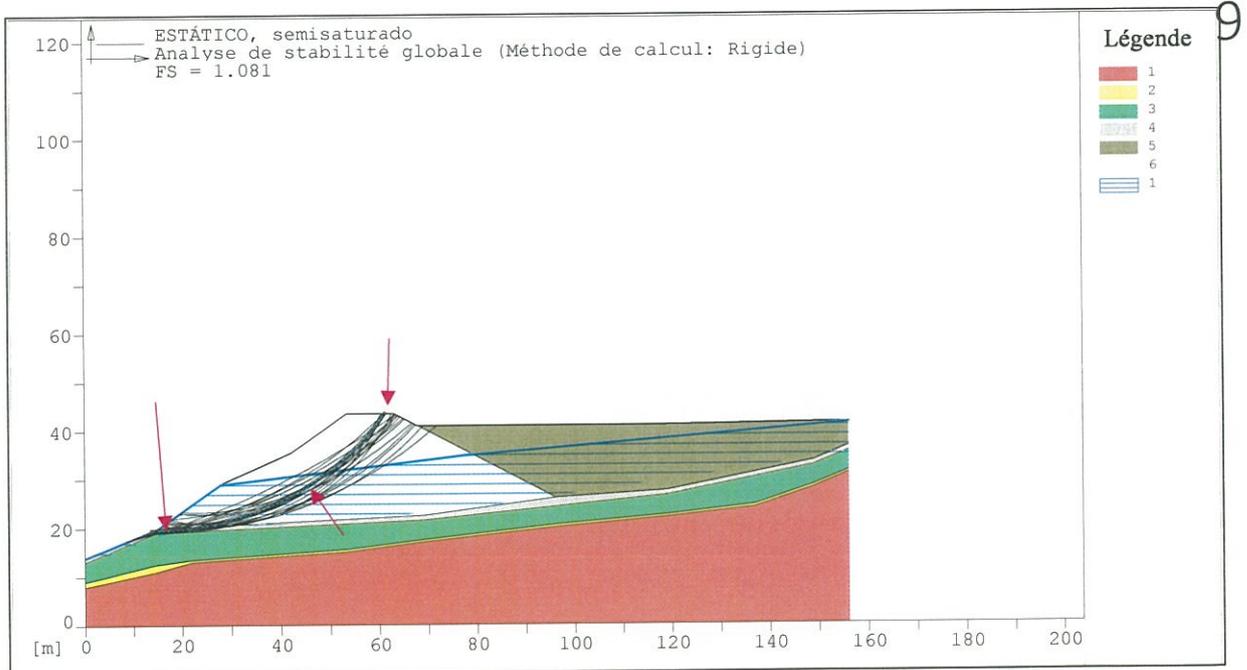
8.1.2 DIQUE Y RELLENO SEMI SATURADOS : Análisis estático

Esta fue la condición inicial de trabajo del dique y del depósito de lodos ante los aportes de suelos saturados y semi-saturados que fueron controlados con mezcla con suelos menos húmedos.

El valor del FS calculado en condiciones estáticas, indica que el dique tuvo un FS = 1.081 es decir, el dique y el relleno tuvieron estabilidad aunque a un nivel crítico.

En el gráfico inferior se indica (con flechas rojas) la superficie de menor factor de seguridad, la cual nace en un sector externo del cimacio y recorre por el cuerpo del dique hasta su pie.

A lado derecho del gráfico, los niveles de suelos descritos anteriormente y en líneas azules, la posición del nivel de saturación.



Vérification de la stabilité globale : ESTÁTICO, semi-saturado

Forces mobilisées dans les renforts selon la méthode rigide

Analyse de stabilité avec des surfaces circulaires selon la méthode de Bishop

Facteur de sécurité évalué.....: 1.081

8.1.3 DIQUE Y RELLENO SATURADOS: Condición estática

Bajo esta condición de alto humedecimiento trabajó el dique ante los aportes de suelos saturados y sobresaturados que han sido depositados en el cubeto, a lo que se sumó la presencia de lluvias fuertes ocurridas durante 2 días antes de la rotura del dique.

La saturación y sobresaturación de los materiales inciden negativamente en las propiedades geotécnicas de los suelos (tanto del dique - en menor medida- cuanto en los lodos del embalse) disminuyendo notablemente sus valores de la cohesión y afectando también a su ángulo de fricción, con lo cual las condiciones de estabilidad del conjunto dique – lodos embalsados desmejoran notablemente.

El valor calculado por el programa, indica que el dique tuvo un $FS = 0.953$ es decir, el dique y el relleno tuvieron inestabilidad por la alta saturación reflejada en presión hidrostática adicional a la de los suelos; disminución notable de la cohesión y en menor medida del ángulo de fricción de los materiales del dique y del relleno.

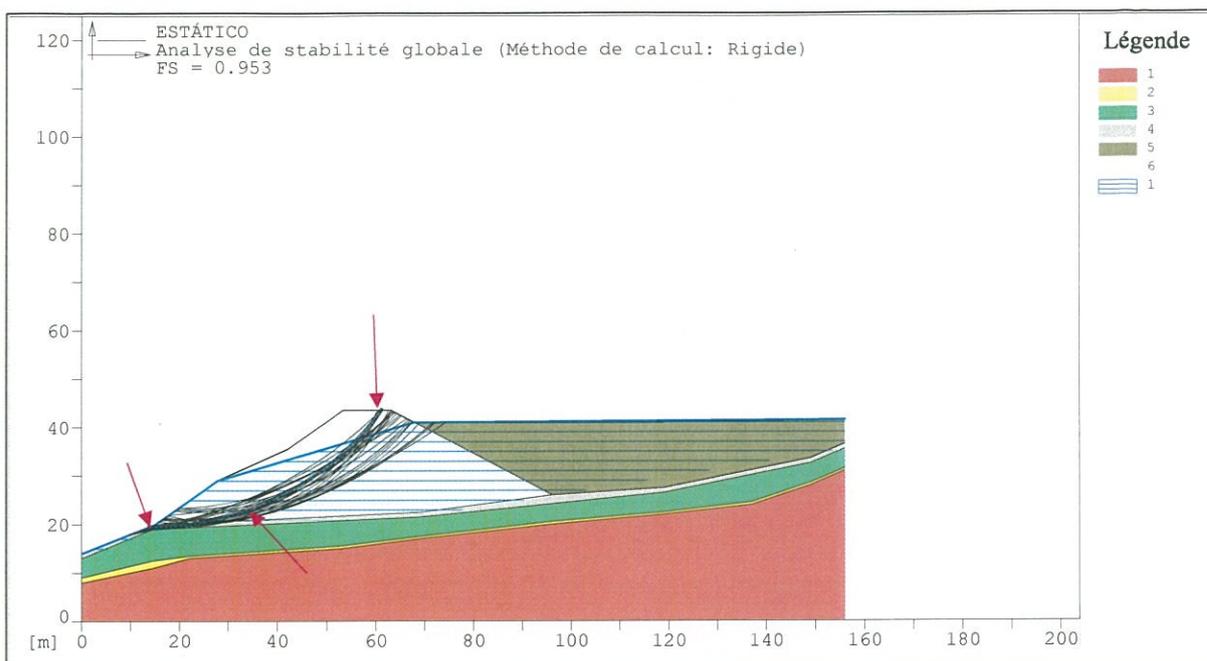
Bajo esas condiciones críticas, existe también la posibilidad de que pudo haberse generado una línea de agua por el interior del dique o por sus empotramientos como consecuencia del sismo de Bahía de Caráquez (Magnitud 6.2) ocurrido 65 horas antes de la rotura del dique.

Además, las lluvias fuertes ocurridas 2 días antes de la rotura del dique pudieron haber formado cárcavas de erosión, tanto en el paramento de aguas abajo como de aguas arriba, con lo cual la sección del dique pudo haber disminuido, facilitando la salida de los lodos embalsados y produciendo un fenómeno de rotura del dique por sumersión con flujo de los lodos sobresaturados retenidos.

En el gráfico inferior se indica (con flechas rojas) la superficie de menor factor de seguridad, la cual nace en 1/3 del ancho del cimacio y recorre por el cuerpo del dique hasta su pie.

Forma una superficie curva de gran radio, con tendencia a la superficie plana.

A lado derecho del gráfico, los niveles de suelos descritos anteriormente y en líneas azules, la posición del nivel de saturación.



Vérification de la stabilité globale : ESTÁTICO

Forces mobilisées dans les renforts selon la méthode rigide
 Analyse de stabilité avec des surfaces circulaires selon la méthode de Bishop

Facteur de sécurité évalué FS =: **0.953**

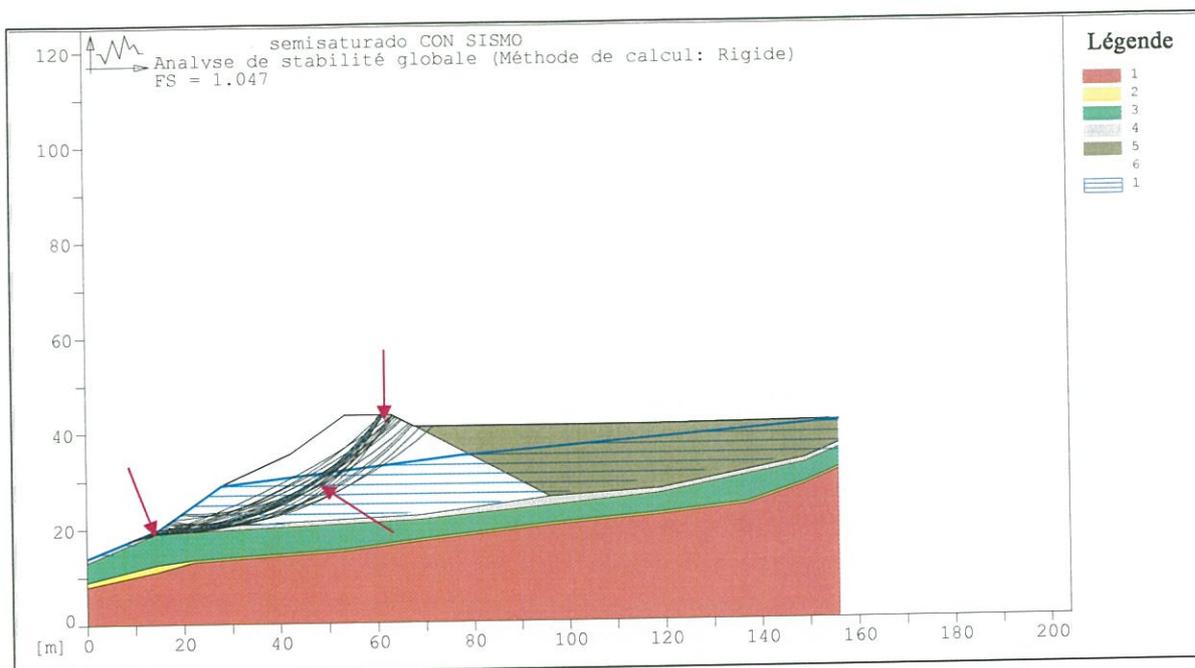
8.1.4 DIQUE Y RELLENO SIN SATURACIÓN con sismo

El FS = 1.642 y el plano de deslizamiento ocupa lugares aproximadamente similares al de la condición estática.

8.1.5 DIQUE Y RELLENO SEMISATURADO con sismo

En el gráfico siguiente se indica (con flechas rojas) la superficie de menor factor de seguridad, la cual nace aproximadamente a 1/4 del ancho del cimacio y recorre por el cuerpo del dique hasta su pie. Forma una superficie curva de gran radio, con tendencia a la superficie plana.

A lado derecho del gráfico, los niveles de suelos descritos anteriormente y en líneas azules, la posición del nivel de saturación.



Vérification de la stabilité globale : CON SISMO, semisaturado
 Forces mobilisées dans les renforts selon la méthode rigide.

Analyse de stabilité avec des surfaces circulaires selon la méthode de Bishop

Facteur de sécurité évalué.....: **1.047**

12

Este valor de FS = 1.047 (< a 1.081 en condición estática) fue calculado en condiciones sísmicas con inclusión de una aceleración horizontal de 0.013g que es la aceleración producida en El Troje por el sismo de Bahía de Caráquez del 03 de Diciembre / 2017.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

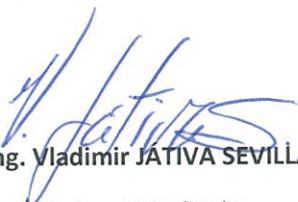
9.1 Conclusiones

- El deslizamiento de lodos ocurrido en la escombrera El Troje 4 tuvo características dramáticas por la afectación que ocasionó a un canal embaulado ubicado a aproximadamente 500m ladera abajo.
- El canal de agua tiene losas de cobertura NO CONFINADAS, las cuales fueron muy fácilmente desplazadas por la corriente de lodo afectando al canal y a la provisión de agua para la ciudad de Quito.
- Los suelos aportados por la excavación del Metro, acusan alta capacidad de retención de agua.
- El dique tuvo un Factor de Seguridad FS = 2.41 en condiciones estáticas y de 1.64 calculada con una aceleración sísmica horizontal de 0.2g y de 0.05 g vertical.
- Los lodos provenientes de la excavación del Metro fueron mezclados con suelos menos húmedos para su almacenamiento en la escombrera. Estos lodos aportaron con humedad a un nivel calificado como semi-saturados.
- Los factores de seguridad calculados para el conjunto dique- relleno con suelos semi-saturados, arrojan un FS = 1.081 en condición estática y de FS = 1.045 incluida una aceleración sísmica horizontal de 0.013g debida al sismo de Bahía del 03 de diciembre/2017 ocurrido a 65 horas antes deslizamiento del dique. Siendo el FS > 1, el dique tuvo estabilidad.

- Dos días antes del deslizamiento del dique (que ya tuvo un nivel de semi-saturación de los materiales del dique y lodos embalsados) se produjeron lluvias fuertes en la zona de Tambillo - El Troje, las cuales aportaron con mayor humedad al dique y a los lodos, saturándolos y generando una negativa condición geotécnica.
Bajo esas condiciones, los materiales perdieron significativamente sus propiedades mecánicas, como son la gran disminución de su cohesión y de su ángulo de fricción, a más de un incremento notable de la presión hidrostática, todo lo cual redundó en la disminución de la seguridad del dique a un $FS = 0.953$ y su rotura con posterior arrastre de los lodos embalsados.
- La aceleración sísmica producida 65 horas antes de la rotura del dique pudo haber producido líneas de agua que lo atravesaron, dadas las facilidades que presentan obras de tierra heterogéneas por presencia de escombros y basuras.

9.2 Recomendaciones

- Disponer que los lodos con contenidos de humedad mayores al 50% sean trasladados a otro botadero, como el de Oyacoto, por ejemplo.
- Confinar, de manera URGENTE, las losas de cobertura del canal de agua que lleva las aguas al Sur de la ciudad de Quito y no dejar espacios por donde puede contaminarse al agua.



Ing. Vladimir JATIVA SEVILLA
Quito, 2017/12/27

10 BIBLIOGRAFÍA

- 1 **PUCE**, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Laboratorio de Materiales, Oficio N° CTO-Q-2017 – 23 de fecha 30 de agosto/2017
- 2 **Llorenz J.** “El terreno y el estudio geotécnico”. CSCAE/ETSAB/UPC – 2007
- 3 **DGGM**, Hoja geológica “Quito”, E = 1/50.000, 1978
- 4 **LAMBE T.W. & WHITMAN R.V.** “Mecánica de Suelos”, LIMUSA, 1979, p. 47
- 5 **K. TERZAGHI & R. PECK**, “Mecánica de Suelos en la ingeniería práctica”, El Ateneo, 1978, p 138
- 6 **NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN**, NEC, 2011, Capítulo 2, p. 2-10, 2-19
- 7 **ESTEVA 1969**: “Presas de tierra y enrocamiento”, R. Marsal, LIMUSA, México, 1975

11 ANEXO FOTOGRÁFICO



Foto 1 Vista del lado norte del dique destruido. Talud del dique: 2H:1V y del suelo bajo el dique de 8H:1V. Nótese el flujo de los lodos que estuvieron saturados al momento de la rotura y fluyeron ladera abajo. VJ 2017/12/07

15



Foto 2 Materiales observados en las zonas altas de la escombrera Troje 4 VJ 2017/12/08



Foto 3 Lodos completamente húmedos 4 días después de ocurrido el evento. Observe a la piqueta clavada en un fango con alta capacidad de retención de agua. Sectores por los cuales no era posible transitar por su casi ninguna resistencia o capacidad de carga. Las grietas (ancho 50cm, profundidad 70cm) fueron formadas naturalmente ante la pérdida de agua por escorrentía y evaporación. Suelo sobre-saturado en proceso de secado. VJ 2017/10/2017



Foto 4 Altura aproximada d la lámina de lodo sobre el suelo natural: $h \approx 1.80\text{m}$. Altura del lodo sobre la vía: $H \approx 3\text{m}$. Centro-abajo: coberturas de hormigón sobre el Canal de agua para Quito. VJ 2017/12/07



Foto 5 Canal en reparación en su muro lateral derecho en una $l \approx 25\text{m}$. Las losetas de hormigón empleadas como tapas de cobertura del canal, tiene un largo de $3,30\text{m}$, un ancho de $1,00\text{m}$ y un espesor de 20cm y no tienen confinamiento en el canal, lo cual les hace propensas a su desplazamiento ante aludes como el ocurrido. VJ 2017/12/08



Foto 6 NO CONFINAMIENTO de las tapas de cobertura del canal y espacios abiertos peligrosos porque pueden caer niños o animales. VJ 2017/12/08