

Cálculo preliminar del retiro de las obras civiles del borde de la terraza de Mérida, Venezuela

Preliminary calculation of the separation of civil works on the edge of the Mérida terrace, Venezuela

Belandria Norly^{1*}; Úcar Roberto¹; Herrera Francisco²

¹Escuela de Geológica. Grupo de Investigaciones en Geología Aplicada. (GIGA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

²Postgrado de Ingeniería Vial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

* nbelandria@ula.ve

Resumen

En la presente investigación se realiza un estudio preliminar de estabilidad de taludes con el propósito de determinar el retiro mínimo que deben tener las obras de ingeniería a lo largo del borde de la terraza de Mérida para minimizar el riesgo de la población al momento de la actuación de algún factor externo como lo es, el sismo y el agua. Para ello, se buscan datos previos de líneas ReMi mostrándose los espesores y densidades de las capas de la terraza, así como, las velocidades (V_s y V_p) los cuales permiten determinar de manera aproximada, con ayuda del coeficiente de balasto y rangos propuestos por esta investigación las propiedades mecánicas como, la cohesión y el ángulo de fricción interna. Posteriormente, se realizan perfiles de los taludes a lo largo del borde de la terraza con sus respectivas capas, para luego analizar la estabilidad de los taludes a través de los métodos de rebanadas perteneciente al equilibrio límite, determinándose el Factor de Seguridad igual a uno y la respectiva curva de rotura a través de Bishop simplificado, Fellenius, Janbu y Morgenstern -Price. Finalmente se determina el retiro mínimo considerando las tres primeras capas del talud de la terraza (aproximadamente 50 m) con carga sísmica ($K_h = 0,3$ y $K_v = 0,2$) arrojando valores de 10 a 89 metros, y valores de retiro con saturación de 100% de agua en el talud de la terraza, oscila entre 26 a 166 metros, siendo el factor externo de la carga sísmica la más probable en ocurrir.

Palabras claves: Coeficiente de Balasto, Factor de Seguridad, líneas ReMi, Retiro.

Abstract

The present investigation is a preliminary study of the stability of the slopes with the purpose of determining the minimum separation that must have the engineering works along the border of the Merida terrace, to minimize the risk of the population in the moment of the performance of some external factor as, earthquakes and water. For this, the previous data of ReMi lines are looked for, showing the thicknesses and the unit weight of the terrace layers, as well as, the velocities (V_s and V_p) that determine of approximate way, with the coefficient of ballast and the proposed ranges by this research the mechanical properties as, the cohesion and the angle of the internal friction. Also, slope profiles are made along the border of the terrace with their respective layers, and analyze the stability of the slopes through the slice methods belonging to the limit equilibrium, determining the safety factor equal to one and the respective failure curve through Simplified Bishop, Fellenius, Janbu and Morgenstern -Price. Finally the minimum separation in the first three slope layers of the terrace (approximately 50 m) with seismic load ($K_h = 0,3$ and $K_v = 0,2$) is determined, getting values of 10 to 89 meters, and separation values with saturation of 100% of water in the slope of the terrace, is between 26 to 166 meters, being the external factor of the seismic load the most probable to occur.

Keywords: Coefficient of ballast, Safety Factor, ReMi lines, Separation.

1 Introducción

Actualmente, la población en la ciudad de Mérida se encuentra en constante crecimiento, lo que ha llevado a la construcción de obras civiles en lugares no adecuados de la terraza de Mérida. Es por ello, que esta investigación, abarca el estudio de la estabilidad de los taludes a lo largo del borde de la terraza de Mérida, utilizando el método de equilibrio límite, el cual permite determinar el factor de seguridad en donde la curva de rotura obtenga un valor de uno con el propósito de determinar una franja vulnerable con relación al borde del talud, la cual permita diseñar viviendas suficientemente separadas de esta zona de alto riesgo. También se considera la carga de las fuerzas externas como el sismo, debido a que la ciudad de Mérida se encuentra en una zona donde es atravesada por diferentes fallas y la más importante es la de Boconó. Por consiguiente, se pretende crear una normativa que sea llevada a los organismos competentes cuya finalidad es evitar cualquier tipo de construcción futura, asimismo, llevarla a la población que ya presenta construcciones en dicha área con el propósito de crear conciencia de la vulnerabilidad y riesgo de la zona donde habita.

La terraza de Mérida está ubicada en el municipio Libertador, estado Mérida, el área de estudio abarca desde el sector Vuelta de Lola al noreste de la ciudad hasta el sector Zumba al suroeste de la ciudad, bordeada por los ríos Mucujún y Chama. Incluye las líneas sísmicas que se muestran en el Tabla 1, que se encuentran ubicadas al borde de la terraza de Mérida (Figura 1).

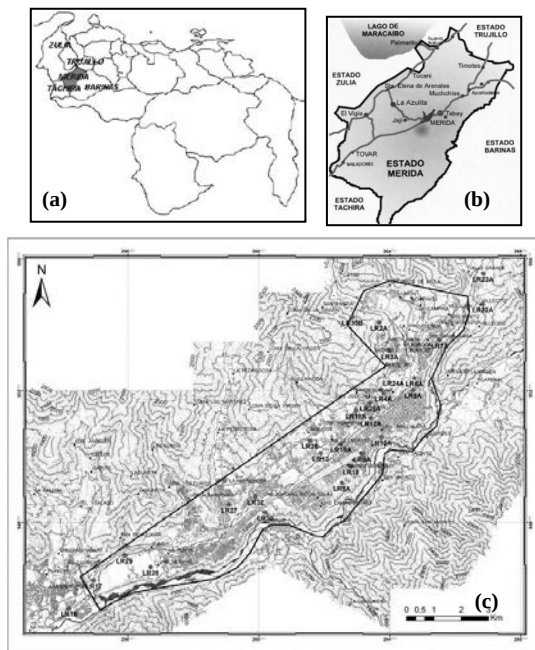


Fig 1. Ubicación de la Terraza de Mérida. (a) Mapa de Venezuela. (b) Estado Mérida. (c) Terraza de Mérida.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las líneas sísmicas. Fuente: Funvisis y Laboratorio de Geofísica de la ULA.

LÍNEA ReMi	ESTE	NORTE	Lugar de referencia
LR5A	264709	952032	Facultad de Forestal
LR6A	264748	952385	Avenida Universidad
LR7A	265526	953536	Vuelta de Lola
LR8A	262536	949205	Campo de Oro
LR9A	263157	950097	Facultad de Medicina
LR10A	263737	950593	Estadio Lourdes
LR18	262814	949703	Aeropuerto Alberto Carnevali
LR28	256694	946650	Zumba
LR30	260195	948308	Avenida Andres Bello

2 Metodología empleada

Para la realización de esta investigación en primer lugar se recopila la información de las líneas sísmicas en cuanto a las velocidades Vs y Vp, espesores y densidades de cada una de las capas que conforman la terraza de Mérida de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis) y del Laboratorio de Geofísica de la Universidad de Los Andes y a la data base de la topografía y obras de ingeniería civil es suministrada por el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del estado Mérida (Impradem). Es importante señalar que la topografía del terreno influye significativamente en la intensidad de los movimientos sísmicos y puede mostrar un efecto amplificador o atenuador. Según (Sauter 1989) ha determinado analíticamente que en el borde de los valles y en las crestas de laderas hay un incremento en la intensidad de vibración (amplificación), mientras que en el fondo de los valles un efecto atenuador.

Luego se consulta el material bibliográfico correspondiente a estudios geotécnicos de estabilidad de taludes publicados en revistas (Salcedo y col., 1989), (Bongiorno, y col., 2011), (Belandria, y col., 2014), (Belandria, y col., 2015) y (Contreras y col., 2014), así como, trabajos de investigación (Belandria 2008) y (Belandria 2016) e informes técnicos realizados por (Úcar 2010) en el parque de los conquistadores de la terraza de Mérida, en donde se indica la determinación del coeficiente sísmico horizontal y comparándolo con la norma que considera en el caso de la estabilidad de terrenos en pendiente, que la aceleración máxima sólo actúa por un corto período de tiempo, y que las aceleraciones tampoco son constantes a lo largo de la altura del talud deformable, aceptando en el análisis el uso de coeficientes sísmicos menores que los indicados en la norma, siempre que sean mayores que:

$$K_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot \varphi \cdot A_0$$

(1)

Donde: $\alpha = 1,10$ (para una vida útil de la estructura de 70 años) y $\varphi = 1$ (factor de corrección del coeficiente horizontal).

También es oportuno mencionar, tal como lo ha determinado (Carrillo y col., 1996), que las zonas cercanas a los bordes de las mesetas amplifican las ondas sísmicas mucho más que las zonas lejanas a dichos bordes. De acuerdo a los mencionados autores, esta amplificación posiblemente se genera por la poca consolidación de estos suelos motivado a la falta de confinamiento de los mismos, como resultado de su cercanía con la cara del talud, donde se obtienen espectros de gran amplitud. Lógicamente, este es un resultado que alarma e inquieta, ya que de ocurrir un terremoto de gran magnitud en zonas cercanas a los bordes de taludes donde exista una alta densidad poblacional, causaría grandes pérdidas de vidas, además de las implicaciones sociales y económicas debidas a los efectos y consecuencias del evento sísmico. Además, no hay que olvidar que el desarrollo urbanístico, en algunos casos desordenado, aunado a la expansión industrial han llevado a una amplificación y agravación, al crearse riesgos de creciente peligrosidad que todavía son difíciles de controlar y dominar.

Posteriormente se determinan las propiedades de cada capa con la ayuda del coeficiente de reacción o de balasto o reacción, (Soletanche 1981 en Úcar 2004). Además el coeficiente de reacción o balasto K, en términos de Vs, (Tezcan y col., 2007)

$$K = 4 \cdot \gamma \cdot V_s$$

(2)

Donde: γ , es el peso unitario. Vs, Velocidad de onda S.

Finalmente se realizan simulaciones los taludes del borde de la terraza donde se aplican los métodos de equilibrio límite en rebanadas de Fellenius, Bishop simplificado, Morgenstern – price, Janbu simplificado, utilizando software geotécnicos y analizándose el factor de seguridad, considerando la carga sísmica y ubicando la curva donde el factor de seguridad sea igual a uno (Figura 2), con el propósito de determinar la distancia mínima de alejamiento o retiro que deben tener en cuenta las obras de ingeniería civil a lo largo del borde de la terraza de Mérida.

3 Resultados y análisis

3.1 Determinación de las propiedades del suelo

A lo largo del borde de la Terraza de Mérida, se tienen registros de 9 líneas sísmicas en donde se indican que la terraza está constituida predominantemente entre 3 a 6 capas. La capa 1 presenta espesores entre 5 a 27 m, la capa 2 con espesores de 5 a 59 m, la capa 3 entre 4 a 65 m, la capa 4 y

5 solo se presenta espesores determinados en las líneas LR28 y LR30 (Tabla 2).

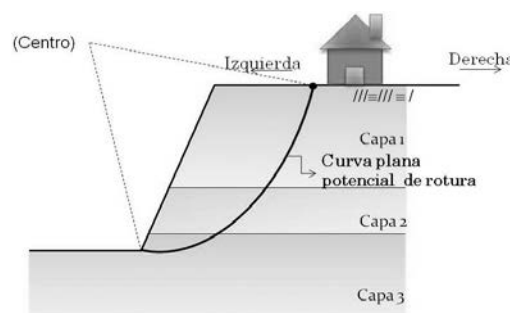


Fig. 2. Representación de la curva de rotura y la colocación de las obras civiles por detrás de la misma indicando retiro del borde del talud.

Tabla 2. Espesores de las capas.
Fuente: Funvisis y Laboratorio de Geofísica de la ULA.

LINEA ReMi	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
Espesor (m)						
LR5A	25,90	35,50	5,60	ind		
LR6A	21,00	54,80	ind	ind		
LR7A	15,00	16,40	18,31	ind		
LR8A	5,44	35,1	33,19	ind		
LR9A	13,95	58,5	68,4	ind		
LR10A	18	35	ind	ind		
LR18	26,4	36,6	29,4	ind		
LR28	6,78	4,47	4,5	31,72	ind	
LR30	10,99	13,18	21,42	26,92	33,52	ind

Los pesos unitarios bajos se observan en la línea LR5A y LR30 en las primeras tres capas con pesos unitarios menores a 20 kN/m³, ya que, para las otras líneas sísmicas, la capa 1 es la que presenta pesos unitarios bajos a excepción de la LR10A y LR18 (Tabla 3).

Tabla 3. Peso unitario de las capas. Fuente: Funvisis y Laboratorio de Geofísica de la ULA.

LINEA ReMi	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
Peso Unitario (kN/m ³)						
LR5A	15,68	16,86	18,62	26,26		
LR6A	16,86	18,62	24,89	0,00		
LR7A	16,66	18,42	20,78	25,48		
LR8A	18,23	19,40	21,95	25,09		
LR9A	16,07	18,03	19,40	26,66		
LR10A	19,99	23,13	24,89	0,00		
LR18	21,36	20,97	20,38	24,11		
LR28	17,44	19,40	19,99	23,32	24,70	
LR30	16,27	17,25	18,03	19,21	21,56	23,52

Las velocidades Vp y Vs se observan en la tabla 4. La capa 1 presenta velocidades P bajas, menores a 1000 m/s a

excepción de la capa LR18 y en las capas LR8A y LR30 no se determinó la velocidad de la onda P. Asimismo las velocidades de la onda S son bajas, menores a 600 m/s a excepción de la capa LR30.

Tabla 4. Velocidades V_p y V_s . Fuente: Funvisis y Laboratorio de Geofísica de la ULA.

LINEA ReMi	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
Velocidad P (m/s)						
LR5A	438,74	673,51	1040,9	1759,3		
LR6A	737,22	1909,7	2642,4			
LR7A	725,49	959,99	1411,39	2249,7		
LR8A	no se determinó					
LR9A	726,34	1037,4	1143,0	3050,5		
LR10A	1008	2181,8	2410,7			
LR18	2067,9	1915,5	1194,4	3246,3		
LR28	514,92	1501,1	1348,4	1548,0	1759,3	
LR30	no se determinó					
Velocidad S (m/s)						
LR5A	253,32	388,86	600,98	1015,7		
LR6A	426,14	1103,8	1527,4			
LR7A	419,36	554,91	815,83	1300,4		
LR8A	707,4	731,12	995,43	1100,4		
LR9A	419,36	598,96	659,96	1761,2		
LR10A	582,02	1259,7	1391,9			
LR18	1195,3	1107,2	690,45	1876,4		
LR28	297,29	866,66	778,56	893,77	1015,7	
LR30	331,25	598,96	795,5	846,33	995,43	1141,1

El coeficiente de reacción o de balasto se determina a través de la ecuación 2, tal como se muestra en la tabla 5, dicho valor es necesario para determinar las propiedades mecánicas de cada una de las capas. Para ello, primero se aproxima un valor de la cohesión dependiendo del rango del coeficiente de balasto (Tabla 6) el cual es propuesto en esta investigación (Figura 3) para luego determinar el ángulo de fricción interna (Soletanche 1981 en Úcar 2004). Los resultados se observan en la tabla 7.

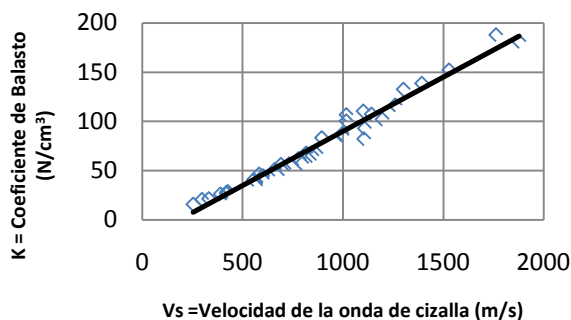


Fig. 3. Relación entre la velocidad de onda S y el coeficiente de Balasto.

Tabla 5. Coeficiente de balasto (K).

LINEA ReMi	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
Coeficiente de reacción o balasto K (N/cm³)						
LR5A	15,89	26,22	44,76	106,71		
LR6A	28,73	82,22	152,09			
LR7A	27,95	40,89	67,80	132,54		
LR8A	51,58	56,75	87,41	110,44		
LR9A	26,96	43,20	51,22	187,79		
LR10A	46,54	116,54	138,59			
LR18	102,15	92,89	56,30	180,95		
LR28	20,74	67,27	62,26	83,39	100,34	
LR30	21,56	41,32	57,38	65,03	85,85	107,36

Tabla 6. Valor de la cohesión en función del coeficiente de Balasto.

Coeficiente de Balasto (N/cm³)	Cohesión (kN/m²)
Menores a 17	10
17 - 27	15
27 - 37	20
37 - 47	25
47 - 57	30
57 - 70	55
70 - 90	60
90 - 110	65
110 - 130	70
130 - 180	75
Mayores a 180	90

Tabla 7. Valores de cohesión y ángulo de fricción para cada capa de la terraza.

LINEA ReMi	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6
Cohesión, C (kN/m²)						
LR5A	10	15	25	65		
LR6A	20	60	85			
LR7A	20	25	55	75		
LR8A	25	30	60	65		
LR9A	15	25	25	90		
LR10A	25	70	75			
LR18	25	60	65	90		
LR28	15	55	55	60	65	
LR30	15	25	30	55	60	65
Ángulo de fricción, ϕ (grados)						
LR5A	20	26	34	41		
LR6A	28	38	44			
LR7A	26	33	36	43		
LR8A	36	36	39	42		
LR9A	26	33	35	45		
LR10A	34	42	44			

LR18	37	40	41	45		
LR28	22	35	36	38	41	
LR30	23	31	32	36	39	41

3.2 Determinación del factor de seguridad a través del método de equilibrio límite, estado seco

Luego de la determinación de todas las propiedades de cada una de las capas se procede a la obtención del factor de seguridad en su estado seco a través de los métodos, ordinario o Fellenius, Bishop simplificado, Janbu y Morgenstern – Price. La tabla 8 muestra los valores del factor de seguridad por los diferentes métodos utilizados, así como, el retiro a lo largo del borde de la terraza de Mérida. Cabe destacar que el retiro solo se presenta en dos taludes, con un retiro máximo de 46 m en aquellos taludes donde el factor de seguridad es menor a uno (LR5A y LR9A).

Tabla 8. Valores de factor de seguridad para taludes en estado seco.

Línea ReMi	Factor de Seguridad (seco)				Retiro en (m)
	Ordinario	Bishop	Janbu	Morgenstern	
LR5A	0,691	0,736	0,682	0,73	40
LR6A	1,259	1,373	1,247	1,367	0
LR7A	1,418	1,444	1,398	1,448	0
LR8A	1,45	1,51	1,429	1,508	0
LR9A	0,744	0,786	0,742	0,778	46
LR10A	1,306	1,371	1,29	1,367	0
LR18	1,174	1,212	1,162	1,206	0
LR28	1,337	1,377	1,316	1,375	0
LR30	1,444	1,506	1,427	1,514	0

3.3 Determinación del factor de seguridad a través del método de equilibrio límite, saturado

Luego se procede a obtener el factor de seguridad saturando 100 por ciento el talud con el propósito de estudiar su condición más desfavorable para el cálculo del factor de seguridad. La tabla 9 muestra el factor de seguridad obtenido para los diferentes taludes estudiados, destacándose que en los diferentes métodos analizados el factor de seguridad es menor a 1, catalogándose como inestables. El rango del retiro se encuentra entre 26 a 185 m.

Tabla 9. Valores de factor de seguridad para taludes con saturación de 100%.

Línea ReMi	Factor de Seguridad (saturado)				Retiro en (m)
	Ordinario	Bishop	Janbu	Morgenstern	
LR5A	0,203	0,265	0,205	0,289	81
LR6A	0,415	0,611	0,49	0,642	76
LR7A	0,631	0,682	0,633	0,708	93
LR8A	0,641	0,731	0,653	0,751	120
LR9A	0,107	0,095	0,022	0,308	185
LR10A	0,48	0,591	0,484	0,632	60
LR18	0,369	0,467	0,33	0,5	130
LR28	0,564	0,674	0,577	0,692	26
LR30	0,556	0,678	0,604	0,706	120

3.4 Determinación del factor de seguridad a través del método de equilibrio límite, con carga pseudo-estática

Posteriormente se analiza el factor de seguridad considerando la carga sísmica, los resultados obtenidos se observan en el cuadro 10. El factor de seguridad para los diferentes métodos analizados prácticamente se encuentra alrededor a uno y menores a este valor, con retiros del borde de la terraza que oscilan entre 10 a 140 m. Es importante señalar que los retiros son menores al considerar la saturación al 100% siendo poco probable conseguir esta condición de saturación.

Tabla 10. Valores de factor de seguridad para taludes con carga pseudo-estática ($K_h = 0,3$ y $K_v = 0,1$).

Línea ReMi	Factor de Seguridad (pseudo-estático)				Retiro en (m)
	Ordinario	Bishop	Janbu	Morgenstern	
LR5A	0,507	0,552	0,498	0,551	81
LR6A	0,932	0,982	0,892	0,988	10
LR7A	1,009	1,036	0,993	1,043	10
LR8A	1,08	1,077	1,019	1,08	28
LR9A	0,537	0,593	0,531	0,592	140
LR10A	0,941	1,003	0,93	1,006	29
LR18	0,856	0,907	0,841	0,907	41
LR28	0,978	1,003	0,955	1,017	23
LR30	1,022	1,04	1,004	1,044	12

3.5 Determinación del factor de seguridad a través del método de equilibrio límite considerando el estudio de diferentes capas

Se determina el retiro del borde de la terraza de Mérida analizando los diferentes taludes en función de las capas (Figura 4), debido a que es probable que la superficie de rotura se encuentre entre las tres primeras capas a profundidades menores a 50 metros. Dicho análisis se muestra en la figura 11 considerando los perfiles con saturación al 100 % y con carga sísmica. Nótese que a medida que se considera mayor cantidad de capas (profundidad) para el análisis de la curva de rotura el retiro es mayor, sin embargo es importante señalar que las primeras capas son más débiles y por ende es probable que la curva de rotura se encuentre allí.

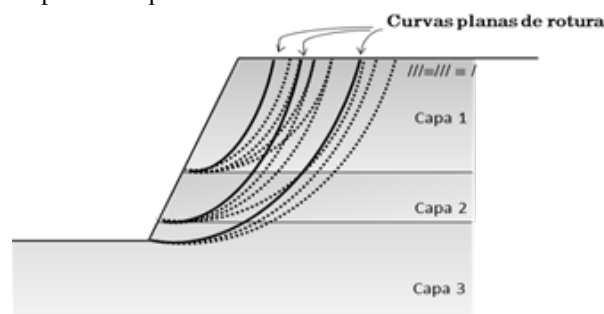


Fig. 4. Representación del estudio de las curvas de rotura y el cálculo del

factor de seguridad para diferentes capas del suelo.

Tabla 11. Valores de los retiros a diferentes profundidades de la curva de rotura.

Línea ReMi	Primera capa	Segunda capa	tercera capa	Todas las capas
	Retiro con saturación 100% (m) / Profundidad de la capa			
LR5A	81 / 26	81 / 61	81 / 67	81 / 121
LR6A	34 / 21	76 / 76	76 / 140	76 / 140
LR7A	1 / 15	23 / 32	34 / 50	93 / 145
LR8A	0 / 6	0 / 41	51 / 74	120 / 182
LR9A	4 / 14	166 / 73	185 / 141	185 / 187
LR10A	19 / 18	45 / 53	60 / 140	60 / 180
LR18	15 / 27	56 / 63	96 / 93	130 / 170
LR28	0 / 7	0 / 11	26 / 48	26 / 62
LR30	3 / 11	13 / 24	84 / 70	120 / 140
Retiro con sismo (m) / Profundidad de la capa				
LR5A	76 / 26	81 / 61	81 / 67	81 / 121
LR6A	10 / 21	10 / 76	11 / 140	11 / 140
LR7A	0 / 15	6 / 32	10 / 50	10 / 145
LR8A	0 / 6	0 / 41	0 / 74	28 / 182
LR9A	4 / 14	89 / 73	136 / 141	140 / 187
LR10A	0 / 18	14 / 53	29 / 180	29 / 180
LR18	2 / 27	21 / 63	41 / 93	41 / 170
LR28	0 / 7	0 / 11	13 / 48	23 / 62
LR30	0 / 11	0 / 24	12 / 70	12 / 140

4 Conclusiones

El borde de la terraza de Mérida se caracteriza por presentar taludes de alturas que oscilan entre 100 a 200 m. Las capas que conforman la terraza oscila entre 3 a 6 capas con propiedades geomecánicas que aumentan con la profundidad, siendo las capas más profundas, más resistentes.

Al analizar las curvas de roturas con un factor de seguridad menor e igual que 1 de los taludes en estado seco, se obtuvo que el retiro de las obras civiles solo se presenta en dos perfiles con retiros menores a 50 m. Luego al realizar el análisis considerando el factor externo del agua con saturaciones del 100 % se obtienen retiros entre 26 a 185 m. Posteriormente se realiza el mismo análisis considerando la carga sísmica con un coeficiente sísmico horizontal y vertical de 0,2 y 0,1 respectivamente, obteniéndose retiros entre 10 a 140 m.

Finalmente considerando que las primeras capas de la terraza presentan velocidades menores a 1000 m/s (aproximadamente 50 metros de profundidad), indicando que son menos resistentes por lo que se realiza un análisis por capas considerando la saturación y carga sísmica, obteniéndose retiros entre 26 a 166 m para la saturación de 100% y retiros entre 10 a 89 m para la carga sísmica. Cabe destacar que de manera preliminar el retiro de las obras civiles a lo largo del borde de la terraza de Mérida, se sugiere utilizar el análisis

realizado con carga sísmica, debido a que la terraza de Mérida se encuentra dentro de una zona sísmica donde la falla más importante es la de Boconó. Por tanto, la zona más riesgosa a construir desde el punto de vista geotécnico se ubica en el borde de la terraza en una zona de separación entre 26 a 166 m.

5 Agradecimientos

Este artículo forma parte del proyecto A del Consejo de Desarrollo Científico Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHTA-ULA) con el código I-1437-15-02-A, otorgando la ayuda para el desarrollo de la investigación. AL VII Coloquio de Microzonificación Sísmica, 2016, por permitir la presentación de esta investigación.

6 Referencias

- Belandria N, 2008, Método Analítico para determinar la distribución de los esfuerzos normales sobre superficies potenciales de rotura. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Tesis de Maestría.
- Belandria N, 2016. Desarrollo de un método para el cálculo generalizado de estabilidad de taludes, basado en técnicas innovadoras del cálculo matemático y computacional. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Tesis de Doctorado.
- Belandria N, Bongiorno F, De Barcia I, Torres J, Riveros F, 2014, Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector Las Cruces, vía Jají - Mérida, estado Mérida. *Geominas*, 42 (64): 123-132.
- Belandria N, Bongiorno F, Rivas D, Moreno S, 2015, Mapa de Riesgo Geotécnico con Fines de Urbanismo en la Vía de Mérida-Jají, Estado Mérida, En: Manzanal D, Sfriso A (ed.), *From Fundamentals to Applications in Geotechnics*. pp. 2948 - 2956. *Geotechnical Synergy in Buenos Aires*. Argentina.
- Bongiorno F, Molina G, Belandria N, Rivero F, 2011, Estudio de las propiedades geomecánicas de los taludes ubicados entre Los Guaimaros y Mesa de Los Indios, Merida - Venezuela". *Geominas*, 39 (56): 135-142.
- Carrillo D, Rengifo M, Estevez E, 1996. Estudio preliminar de la respuesta dinámica en la meseta de Mérida, *Acta Científica Venezolana*, 46: 57-63.
- Contreras I, Fernández E, Belandria N, 2014, Determination of the stability and identification of risk level in slopes between Vuelta de Lola community - El Peñón community. Mérida, Venezuela, En: Alejano L, Perucho A, Olalla C, Jiménez R (ed.), *Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses*. pp. 415 - 420. Taylor & Francis Group. London, Alemania.
- Salcedo D, Sancio R, 1989, Guía simplificada para identificación y prevención de problemas geotécnicos en desarrollos urbanos. Publicación patrocinada por Lagoven S.A., filial de petróleos de Venezuela S.A. Caracas, Venezuela.
- Sauter F, 1989, Fundamentos de la ingeniería sísmica. Edi-

torial tecnológica de Costa Rica, Costa Rica.

Tezcan S, Ozdemir Z, Erkal A, 2007, A Rapid Technique to determine Allowable Bearing Pressure, International Earthquake Symposium. pp. 234 – 241. Kocaeli, Turkey. (22 – 26 october).

Úcar R, 2004, Manual de Anclajes en Ingeniería Civil, U.D. Proyectos. E.T.S.I. Minas – Universidad Politécnica de Madrid, España.

Úcar R, 2010, Análisis de la estabilidad de taludes y diseño del soporte en la cuenca del Chama. Sistema de transporte masivo para el área metropolitana de Mérida– línea 3, trol-cable en la ciudad de Mérida, Venezuela.

Recibido: 10 de febrero de 2018

Aceptado: 15 de junio de 2018

Belandria, Norly: Ingeniero Geólogo. Magister en Matemática aplicada a la ingeniería. Doctora en Ciencias Aplicadas. Coordinadora del grupo de investigación en Geología Aplicada (GIGA). Profesor agregado de la Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela.

Úcar, Roberto: Ingeniero en Minas. Master en Ingeniería de Rocas, University of Missouri - Rolla. Ph.D. Mc.Gill University (Especialidad en Geotecnia – Obras Subterráneas). Profesor titular jubilado de la Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: robertoucar@gmail.com

Herrera, Francisco: Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Vial. Correo electrónico: franvier20@gmail.com

