

Análisis de los factores de estabilidad de taludes del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil

Idrovo Cárdenas Carlos, Ing.¹, Pacheco Quintana Guillermo, M.I.², Rodríguez Santos Josué, MS.c.³
 {carlos.idrovoc¹, guillermo.pachecoq², josue.rodriguez³}@ug.edu.ec
 Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Resumen – En el transporte marítimo mundial las “economías de escala” redujeron los costos de traslado (TEU); El Puerto Marítimo de Guayaquil no cumple con los requerimientos vigentes de navegación, imposibilitando el ingreso de buques Post Pánamax a plena carga.

La presente investigación verifica los factores teóricos de estabilidad de los taludes en el canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil, principal hidrovía de transporte marítimo en el Ecuador.

Los taludes (10:1) dragados-construidos con factores teóricos “F.S > 5”, según diseños de consultoras (2013), resultaron inestables; esto esboza la hipótesis de que los parámetros de resistencia del suelo no son correctos, y plantea un retroanálisis de los taludes fallados.

Considerando modelos matemáticos de equilibrio límite se determinó el nuevo parámetro de estabilidad, el cual difiere respecto a los dragados-construidos.

Los taludes (30:1) con “F.S ≈ 1” determinados en el retroanálisis, son concordantes con los estabilizados en el proceso constructivo experimental/investigativo (2014, 2015 - SERDRA), y que no están siendo utilizados en el dragado actual, al ser un fondo móvil existe un cambio constante de sedimentos, debido a condiciones dinámicas naturales del canal.

Es crucial considerar este cambio de sedimentos para el análisis de estabilización de taludes en dragados futuros.

Palabras claves: Análisis de taludes, Parámetros de resistencia del suelo, Estabilidad de Taludes, Canal de acceso, Dragados-construidos.

Abstract – In global maritime transport, "economies of scale" reduced costs of transportation (TEU); however, the Guayaquil Maritime Port does not meet the current navigation requirements, which does not allow the entry of Post Pánamax vessels at full load.

This research aims to verify the theoretical factors of stability conditions of the slopes in the access channel to the Maritime Port of Guayaquil, main waterway of maritime transport in Ecuador.

The slopes (10: 1), which were dredged according to designs developed by consultants (2013), were unstable. This outlines the hypothesis that the soil resistance parameters are not correct, and it proposes a retro-analysis of the failed slopes.

By considering mathematical models for equilibrium limit, the stabilization parameters for the slope were determined, parameters that differed from the dredges. The slopes determined in the retro-analysis are concordant with the

stabilized ones (30: 1), achieved in the experimental / investigative construction process (2014, 2015 - SERDRA), and they are not being used in the current dredging. There is a constant change of sediments, due to natural dynamic conditions in the channel.

It is crucial to consider this sediment change for the slope stabilization for the analysis in future dredging.

Keywords: Analysis of slopes, Soil resistance parameters, Stability of slopes, Access channel, dredges.

I. INTRODUCCIÓN

El Golfo de Guayaquil es parte del estuario más grande de la costa sudamericana del Océano Pacífico, tiene una gran red compleja de ríos que se interconectan entre sí. Los canales que conforman la entrada al golfo son: El Morro, Jambelí, Cascajal, Estero Salado y el Río Guayas. El canal de navegación ubicado en el Estero Salado, principal hidrovía de transporte marítimo en el Ecuador, con 88 boyas (incluidas las zonas de maniobras), tiene una longitud de 94 kilómetros, medido desde la boya de Mar hasta el Puerto [1], según información obtenida de las empresas dragadoras, la APG y el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) [2], el canal cuenta con tres tramos, el primer tramo denominado de aguas exteriores que va desde la boya de Mar hasta la boya 13, el segundo tramo de aguas interiores que va desde la boya 13 hasta la boya 80, y el tercer tramo de zonas de maniobras que va desde la boya 80 hasta filo de muelle; en estos dos primeros tramos se encuentran dos zonas conocidas como barra externa e interna, donde existen obstáculos para la navegación; dichos obstáculos obligan dragar permanente el canal para obtener la profundidad de 9,75 metros, con respecto al promedio de mareas de bajamareas de sicigia (MLWS), establecida en los diseños del canal, los cuales resultan obsoletos para los requerimientos de navegación actual.

El tramo de aguas internas, entre las boyas 13 a 80 (abscisas 19+100 a 91+350) parte en el canal del Morro y continúa a lo largo del Estero Salado; tiene influencia estuarina aunque está sujeto a las acciones de corrientes y mareas, dentro de este tramo se encuentra la barra interna, entre las boyas 33 a 66 (abscisas 46+800 a 77+300), con

presencia de suelos limosos, arcillosos y arenas, (anexo, fig. 1 y 2). [1], [2].

Se considera que las barras se forman debido a procesos de acelerada re-sedimentación por efectos del dragado, la sedimentación natural del canal producto del equilibrio dinámico, factores hidráulicos como el oleaje, la baja velocidad de las corrientes ligadas a su profundidad que aportan sedimentos durante todo el año, variaciones en la geomorfología producto de la dinámica litosférica, los prismas de mareas, velocidades de vientos, deslizamientos de los taludes, etc. [3].

Cabe señalar que las operaciones de dragado se dificultan por las razones siguientes: falta de cultura en la navegación, procesos insuficientes en la metodología del dragado y una draga de poca capacidad; con procesos de dragado ejecutados conforme a diseños de empresas consultoras en los años 2013 y 2016 [1], los taludes no se han estabilizado en la zona más crítica de la barra interna (abscisas 53+500 a 62+500).

Razón por la cual en los años 2014 y 2015 el Servicio de Dragas de la Armada del Ecuador (SERDRA), dragó de forma experimental/investigativa entre las abscisas 53+850 a 54+850, denominado “kilómetro piloto”, en el cual se efectuaron 3 dragados continuos con diferentes configuraciones, y a través de controles de pre - post dragado para una determinada profundidad, se determinó el tiempo que se demoraban en desplazarse los veriles hacia el centro de canal, definiéndose así la estabilidad de los taludes y el comportamiento del material que se encuentra in-situ [3].

II. METODOLOGÍA

INFORMACIÓN DE CAMPO

Valoración de los sedimentos del lecho superficial del fondo marino.

La APG entre el 2011 y 2012 determinó los tipos de sedimentos que conforman el lecho superficial del fondo del canal, tomándose muestras hasta profundidades de 0,25 metros en las épocas fría-seca y cálida-húmeda, muestras denominadas “S-17, S-18 y S-19” [1]. En la época fría-seca, predomina suelo arcilloso y un banco areno limoso (muestra S-18, fig. 3a). En la época cálida-húmeda, predomina suelo limoso, además entre las boyas 43-44 se presenta una zona de arena (fig. 3b).

El INOCAR en Agosto del 2016 (época fría-seca), realiza estudios similares a los realizados por la APG, para las boyas 40 y 48, resultados que se presentan en la tabla I.

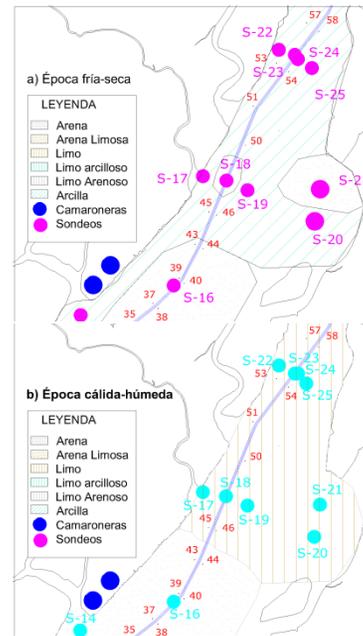


Fig. 3. (a) Tipos de sedimentos, en la época fría-seca; (b) Tipos de sedimentos, en la época cálida-húmeda.
Fuente: APG - [1] – Diciembre del 2011.

Tabla I. Clasificación del sedimento del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil del año 2016.
Fuente: INOCAR – Agosto del 2016.

Canal Interno - “Estero Salado”					
Estación	Grava %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
Boya 48	0,00	11,79	58,61	29,60	Limo Arcilloso
Boya 40	0,08	23,20	49,51	27,21	

Condiciones hidrodinámicas del canal de acceso.

La APG en los años 2011 y 2012 determinó in-situ, las condiciones hidrodinámicas del canal de acceso entre las boyas 45-46 y 48, para las épocas fría-seca y cálida-húmeda, entre los cuales se destacan la dirección y velocidad de corrientes del fondo del canal, la dirección y velocidad de corrientes a nivel superficial, medio y de fondo, densidad, sedimentos del fondo marino y registro de mareas [1], (anexo, tablas II y tabla III).

Tabla III. Alturas de Mareas del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil.
Fuente: APG – [1]– 2012.

Posorja			
Altura de la Marea sobre el Datum			
Pleamar Promedio (m)		Bajamar Promedio (m)	
MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
2,57	2,34	0,23	0,00
Guayaquil			
Altura de la Marea sobre el Datum			
Pleamar Promedio (m)		Bajamar Promedio (m)	
MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
4,16	3,63	0,53	0,00

Geología, geotecnia, sub fondo.

La APG en enero del 2012 realizó perforaciones entre las boyas 45 - 46 y 48 en los costados del canal, hasta la cota - 23,34 metros con respecto a la MLWS, perforaciones denominadas “EG-1 y EG-2”; para la perforación EG-1, se encontraron suelos arenosos, y para la perforación EG-2 se encontraron suelos arcillosos y arenosos [1], (tabla IV).

Tabla IV. Características de las perforaciones EG-1 y EG-2 y resultados de los parámetros de resistencia del suelo.
Fuente: APG - [1]- 2012.

Perforación EG-1			
Suelo Tipo	Cota (m)	Cohesión “c” (kN/m ²)	Ángulo de fricción interna “Φ” (°)
Arena 1	5,79 – 7,40	0	26
Arena 2	7,40 – 23,34	0	31
Perforación EG-2			
Suelo Tipo	Cota (m)	Cohesión “c” (kN/m ²)	Ángulo de fricción interna “Φ” (°)
Arcilla	2,45 – 9,65	10	0
Arena	9,65 – 15,90	0	40

DISEÑO PROPUESTO PARA EL CANAL DE ACCESO.

El INOCAR y el Laboratorio de Hidráulica de DELFT de Holanda, en estudios realizados en el año 1986 [4], recomienda un ancho de fondo de 120 metros para el canal de acceso, considerando la relación de 5,7 B (B = manga del buque de diseño).

La asociación GEOESTUDIOS-CONSULSUA en el estudio realizado en el año 2011 [1], recomienda una inclinación del talud de 10:1 para la zona de la barra interna (tabla V); esta configuración (fig. 4) es la que actualmente se draga, con resultados que tampoco estabilizan los taludes del canal.

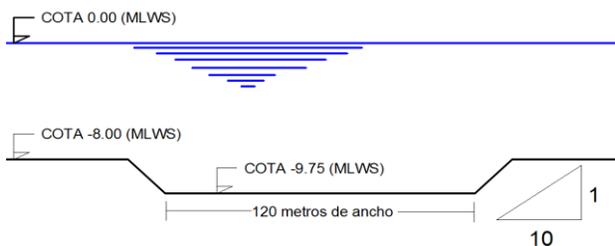


Fig. 4. Diseño geométrico del Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil - Zona de las barra interna.
Fuente: Propia del Autor.

Tabla V. Estabilidad de taludes de las perforaciones EG-1 y EG-2 del canal de acceso.
Fuente: APG- [1]- 2012.

Calado (m)	Ancho (m)	Condición Post-dragado					
		En perforación EG-1			En perforación EG-2		
		Taludes			Taludes		
		2.5:1	5:1	10:1	2.5:1	5:1	10:1
9.60	190.67	2.0	2.7	5.1	2.6	2.6	3.2
10.00	201.04	1.3	2.7	5.0	2.5	2.6	2.8
10.50	210.41	1.3	2.5	4.9	2.0	2.5	2.7
11.00	214.86	1.2	2.2	4.6	1.4	2.3	2.6

RETROANÁLISIS PARA OBTENER PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO DEL CANAL DE ACCESO.

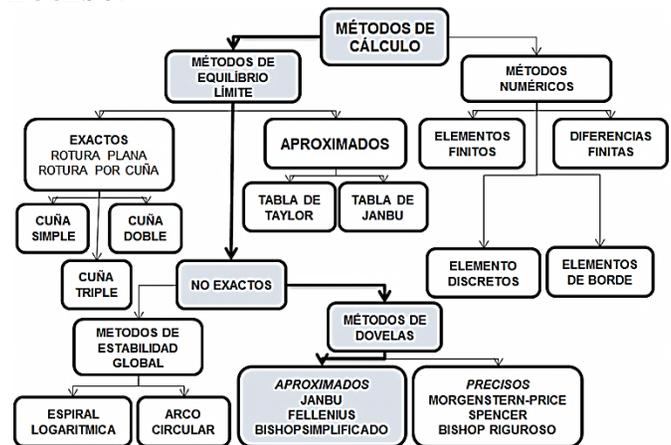


Fig. 5. Métodos de cálculos para estabilidad de taludes.
Fuente: Jaime Suárez Días - [5]- 2009.

Para el retroanálisis, de los métodos de cálculo existentes, se considera el método de equilibrio límite, no exacto, para dovelas en los modelos matemáticos de los métodos de Bishop simplificado, Ordinario Fellenius y Janbú simplificado, (fig. 5); adicionalmente se consideraron 4 tipos de suelos denominados “caso 1: suelos cohesivos, caso 2: suelos friccionantes, caso 3 y caso 4: suelos mixtos; en el análisis se modelaron las condiciones naturales propias del canal de acceso (anexo, tabla VI), con el siguiente procedimiento metodológico:

- a) Determinar la alternativa de análisis
 - Alternativa 1: Casos 1 y 2; suponer F.S = 1, despejar el parámetro que se desea hallar (Cohesión “c” ó ángulo de fricción interna del suelo “Φ”) del modelo matemático en análisis, y considerar el otro parámetro igual a cero.
 - Alternativa 2: Caso 3 y 4; suponer F.S = 1, despejar el parámetro que se desea hallar

(Cohesión “c” ó ángulo de fricción interna del suelo “ ϕ ”) del modelo matemático en análisis, Se puede asumir un rango de valores para el otro parámetro, respaldado por la experiencia geotécnica.

- b) Visualizar la superficie de falla, superponiendo las secciones transversales de Pre y Post dragado una encima de otra (anexo fig. 6).
- c) Trazar la superficie de falla y dividir en dovelas, para posteriormente hallar los datos necesarios para el cálculo, como: áreas de dovelas, altura del agua, ancho de dovela, ángulo de centro de la dovela con respecto al centro del círculo de falla, etc. (anexo fig. 7).
- d) Con los datos hallados en el paso c, aplicamos las ecuaciones despejadas, para determinar los parámetros de resistencia del suelo para cada caso de tipo de suelo propuesto; se realizaron tablas de cálculo en el software Microsoft Excel 2010 para agilizar el proceso, se muestra un ejemplo en el anexo fig. 8.

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DEL CANAL DE ACCESO.

Para determinar el adecuado diseño del canal (que tiene que ser congruentes con los resultados de estabilidad cuando se draga en el sitio del presente estudio), se analizaron los 3 canales propuestos, con un ancho de canal de 120 metros, profundidad de 9,75 metros con respecto a la MLWS, e inclinaciones de 10:1, 20:1 y 30:1 respectivamente [3], aplicando los modelos matemáticos utilizados en el retroanálisis, y considerando cada tipo de caso de suelo propuesto; se realizaron tablas de cálculo en el software Microsoft Excel 2010 para agilizar el proceso de análisis.

Cabe recalcar que la geometría de los diseños de taludes propuestos son idealizados (anexo, fig. 9), ya que la forma final de la sección del canal que se draga, es irregular y no llega a ser exactamente igual la sección del canal propuesto, debido a que el proceso de dragado, es un procedimiento muy dinámico para el tipo de suelo que se encuentra en el sitio, y se ejecuta en condiciones naturales complejas (canal sumergido); por lo tanto el resultado final del cálculo es un aproximado teórico.

III. RESULTADOS

Retroanálisis: en el anexo, tabla VII podemos observar, que el promedio del factor de seguridad está entre el 1,00 para el método de Fellenius, mientras que para los otros dos métodos oscilan entre el 0,98 y 1,05; factores de seguridad “F.S” semejantes a 1 indican que los taludes del canal han alcanzado su estado de reposo y estabilidad, cabe señalar que el “F.S” depende del tipo de suelo, el talud del canal y de las consideraciones que aplica el modelo matemático, condiciones que se describen en la tabla VIII.

Tabla VIII. Consideraciones que aplican los modelos matemáticos para determinar el F.S.

Fuente: Propia del autor.

Método	Consideraciones del modelo matemático		
	Equilibrio	Sup. Falla	Consideraciones
Bishop Simplificado	Momentos	Circular	Considera fuerzas horizontales entre dovelas
Ordinario Fellenius	Fuerzas	Circular	No considera fuerzas entre dovelas
Janbú Simplificado	Fuerzas	Cualquiera	Considera fuerzas horizontales entre dovelas

Además los parámetros de resistencia del suelo son menores a los valores utilizados en los estudios de la APG del año 2012 [1], los cuales deberían reflejar la realidad en el sitio de trabajo cuando se trata de estabilizar el canal de acceso.

Estabilidad de taludes: se puede observar (anexo, tabla IX), que el talud de diseño que actualmente se draga con inclinación de 10:1 y el talud con inclinación de 20:1, son altamente inestables respectivamente; mientras que el talud con inclinación de 30:1, es medianamente estable [3].

Curvas de tendencia y sensibilidad.

En el anexo, fig. 10, se muestran los resultados de los F.S., los parámetros ϕ y c, de los cálculos realizados para cada curva (método de Bishop Simplificado), para los 3 canales analizados y para los 4 casos de tipos de suelos propuestos en el canal de acceso; con estos datos se realizaron las curvas de tendencia y sensibilidad, en donde se pueden observar los F.S vs ϕ , que intersectan una curva que representa una cohesión determinada, de esta manera se puede verificar, que factor de seguridad le corresponde a una determinada combinación de parámetros para un determinado diseño de talud; cabe recalcar que estas curvas son exclusivamente para los casos que se analizaron en esta investigación.

IV. DISCUSIÓN.

Los datos presentados en esta investigación, son de exploraciones, ensayos, experimentos, cálculos y análisis realizados en estudios previos, en el canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil [1], [2], [3], [4].

En la zona de la barra interna (abscisas 56+300 a 58+500); la tabla II, indica que los valores de las corrientes del canal tienen promedios menores a 1,07 m/s y valores máximos de 1,70 m/s (exceptuando la estación EH 7 - estado de marea de flujo); esto confirma que el tramo de la barra interna se puede considerar como una zona abrigada, y a falta de oleaje se la clasifica como un estuario [6].

Según datos históricos de la APG [1], se observó que existe un cambio constante de tipos de sedimentos, durante

todo el año y a lo largo de los años, debido a las condiciones dinámicas naturales del canal de acceso, este cambio de sedimentos es crucial para los análisis que se requieran realizar a futuro.

La geometría del canal que actualmente se draga (fig. 4), da resultados insatisfactorios debido a varios factores, entre estos la inestabilidad de sus taludes, siendo el ancho del fondo del canal insuficiente puesto que en la actualidad navegan por dicha hidrovía, buques con casi el doble de dimensiones que en décadas pasadas [2][7]; dichos buques al pasar por encima del talud, provocan que parte del material se reacomode, y otra parte se deslice hacia el centro del canal. Se recomienda no proponer dragar a profundidades mayores a 10 metros, ya que se ha demostrado que para este tramo crítico, no se puede llegar a las profundidades requeridas de 9,75 metros MLWS; a no ser que, se cree una logística en donde se disponga de un presupuesto elevado, además de equipos y maquinaria (Draga) de mayores capacidades y condiciones para un dragado masivo y constante en el canal de acceso.

En la tabla V, se muestran los F.S. teóricos obtenidos por las consultoras [1], para diferentes escenarios de profundidad e inclinación de los taludes; así, para un talud con inclinación 10:1, y calado de 9,60 metros (MLWS), existiría una condición de estabilidad absoluta (F.S. > 5), lo cual difiere con lo que sucede en el sitio de “dragado y estabilización” del canal de acceso; esto demuestra que los parámetros de resistencia utilizados para el análisis de la estabilidad de los taludes, no son los adecuados.

Los valores definidos en el retroanálisis (cohesión y ángulo de fricción), fueron empleados para calcular el F.S. de los tres canales dragados con dimensiones de 120 metros de ancho y 9,75 metros de profundidad (MLWS), pero con la diferencia de sus taludes, de 10:1, 20:1 y 30:1 respectivamente [3].

Según los resultados obtenidos, los canales de talud 10:1 y 20:1 son altamente inestables, esto es congruente con la realidad, ya que los dos canales no permanecen mucho tiempo sin que el material de los taludes se deslice hacia el centro del canal; no obstante, el canal analizado con talud de 30:1, es medianamente estable según los cálculos de esta investigación al igual que lo observado en el proceso experimental-investigativo en el sitio de dragado cuando se trata de estabilizar los taludes de la zona más crítica del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil [3].

Cabe recalcar que los análisis son válidos únicamente para la zona comprendida entre las abscisas 56+300 a 58+500; Por lo que, se recomienda rediseñar el canal con un ancho adecuado para un “buque de diseño” actualizado [2].

Se debería considerar exploraciones y sondeos, corroborados por estudios paralelos para avalar la información antes sugerida, en la determinación de las características geotécnicas del fondo en los diferentes tramos del canal, para los análisis de estabilidad de los taludes, y así, replicar esta

metodología planteada en la presente investigación, que es congruente con lo observado y ejecutado en campo.

El ábaco de la fig. 10, considera el talud del canal, el coeficiente de fricción y grado de cohesión del suelo, datos a partir de los cuales se puede estimar el F.S.

V. REFERENCIAS

- [1] GeoEstudios-Consulsua, «Estudios de prefactibilidad, factibilidad y de diseño del canal actual y alterno de acceso a los muelles de la Terminal Marítima Simón Bolívar, para determinar el dragado a la profundidad de 11 m. con respecto al MLWS.,» Guayaquil, 2012.
- [2] APG - INOCAR, «Informe de los factores que afectan al dragado del Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil,» Guayaquil, 2015.
- [3] J. I. Ing. Prieto Vega y M. Ing. Gomez de la Torre, Análisis del deslizamiento de taludes de un canal de navegación en una obra de ingeniería de dragado., Guayaquil: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Escuela de Ingeniería Civil., 2015.
- [4] INOCAR - Laboratorio de Hidráulica DELF de Holanda., «Estudios Hidrográficos, Oceanográficos y Geológicos para resolver los problemas de sedimentación en el Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil y en el área de la Esclusa (Río Guayas - Estero Cobina).,» Guayaquil., 1986.
- [5] J. Suárez Díaz, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, I. d. S. Ltda., Ed., Bacaramanga: Publicaciones UIS, 2009.
- [6] S. A. & G. O. L. Silvia S. Ginsberg, «Sistema interconectado de canales de mareas del estuario de Bahía Blanca, Argentina: Evaluación de la circulación de sedimentos como carga de fondo por métodos acústicos.,» *Scielo*, 2009.
- [7] Autoridad Portuaria de Guayaquil, <<http://www.apg.gob.ec>,> 12 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.apg.gob.ec/servicios/estadisticas>. [Último acceso: 12 Septiembre 2016].
- [8] INOCAR, «Datos en bruto de las coordenadas X, Y, Z de las batimetrías en alta y baja frecuencia de la zona en estudio de la barra interna del Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil.,» Guayaquil, 2016.

ANEXOS

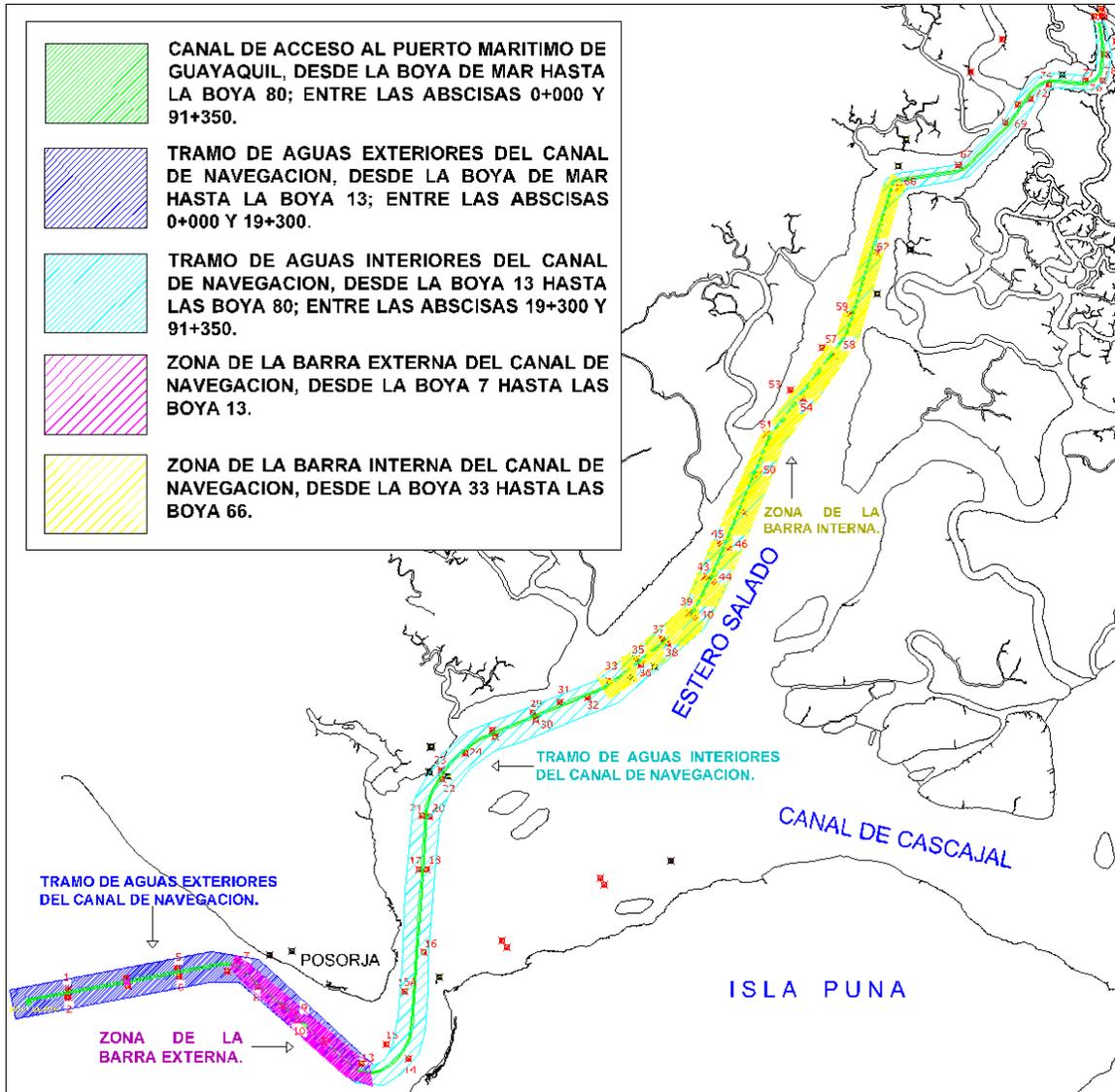


Fig. 1. Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil – Tramos de aguas exteriores e interiores - Zonas de las barras externas e internas.
Fuente: Propia del Autor - APG - [1]- 2012.



Fig. 2. Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil, tramo de aguas interiores, zona de la barra interna, entre las boya 45-46 y la boya 48 (abscisas 56+300 y 58+500).
Fuente: AGP - [1]- 2012.

Tabla II. Velocidades de corrientes para diferentes niveles y estados de marea; densidad promedio, épocas seca y húmeda del canal de acceso.
Fuente: APG – [1]– 2012.

Estación	Estado de marea	Nivel	Época fría-seca					Época cálida-húmeda				
			Velocidad (m/s)		Dirección Grados(°)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Desviación Estándar	Velocidad (m/s)		Dirección Grados (°)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Desviación Estándar
			Promedio	Máxima				Promedio	Máxima			
EH 7	Reflujo	Fondo	0.45	1.20	*	1018,67	0,55	0.41	1.50	*	1016,17	0,66
	Flujo	Superficie	0.88	3.76	74.61	1019,06	0,46	0.84	1.20	35.99	1015,76	1,15
EH 8	Reflujo	Fondo	0.27	1.20	*	1019,76	0,19	0.41	0.70	*	1016,97	0,23
	Flujo	Superficie	1.07	1.70	282.36	1019,81	0,15	0.65	1.30	11.94	1016,95	0,19
EH 9	Reflujo	Fondo	0.31	1.05	*	1019,46	0,20	0.37	1.50	*	1017,32	0,33
	Flujo	Superficie	0.60	1.20	72.66	1019,76	0,11	0.60	1.20	66.84	1017,30	0,29

Tabla VI. Modelo matemático; ecuaciones aplicadas al retroanálisis para definir parámetros de resistencia del suelo (paso 1 y 2).
Fuente: Propia del autor.

Caso (tipo de suelo)	MODELO MATEMÁTICO		
	Bishop Simplificado	Ordinario Fellenius	Janbú Simplificado
	$F.S = \frac{\Sigma \left[\frac{c \Delta l + (W - \mu \Delta l) \tan \phi}{\cos \theta + \frac{\sin \theta \tan \phi}{F.S}} \right]}{\Sigma (W \sin \theta)}$	$F.S = \frac{\Sigma cb + \Sigma (N - U) \tan \phi}{\Sigma (W \sin \alpha)}$	$F.S = \frac{f_0 \Sigma \left[\frac{c b + (W - \mu b) \tan \phi}{\cos^2 \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F.S} \right)} \right]}{\Sigma (W \tan \alpha)}$
Caso 1: cuando $\phi=0$ y $c \neq 0$	$c = \frac{\Sigma (W \sin \theta) \cos \theta}{\Sigma \Delta l}$	$c = \frac{\Sigma (W \sin \alpha)}{\Sigma b}$	$c = \frac{\Sigma W \tan \alpha \cos^2 \alpha}{\Sigma b}$
Caso 2: cuando $c=0$ y $\phi \neq 0$	$\phi = \text{ARCTan} \left(\frac{W \sin \theta \cos \theta}{W - \mu \Delta l - W \sin^2 \theta} \right)$	$\phi = \text{ARCTan} \left(\frac{\Sigma (W \sin \alpha)}{\Sigma (N - U)} \right)$	$\phi = \text{ARCTan} \left(\frac{W \tan \alpha \cos^2 \alpha}{W - \mu b - W \tan^2 \alpha \cos^2 \alpha} \right)$
3: cuando $c \neq 0$ y ϕ se asume	$c = \frac{\Sigma (W \sin \theta) (\cos \theta + \sin \theta \tan \phi) - \Sigma (W - \mu \Delta l) \tan \phi}{\Sigma \Delta l}$	$c = \frac{\Sigma (W \sin \alpha) - \Sigma (N - U) \tan \phi}{\Sigma b}$	$c = \frac{\Sigma (W \tan \alpha \cos^2 \alpha) (1 + \tan \alpha \tan \phi) - \Sigma (W - \mu b) \tan \phi}{\Sigma b}$
4: cuando $\phi \neq 0$ y c se asume	$\phi = \text{ARCTan} \left(\frac{\Sigma (W \sin \theta) \cos \theta - \Sigma (c \Delta l)}{W - \mu \Delta l - W \sin^2 \theta} \right)$	$\phi = \text{ARCTan} \left(\frac{\Sigma (W \sin \alpha) - \Sigma (cb)}{\Sigma (N - U)} \right)$	$\phi = \text{ARCTan} \left(\frac{\Sigma W \tan \alpha \cos^2 \alpha - \Sigma (c b)}{W - \mu b - W \tan^2 \alpha \cos^2 \alpha} \right)$

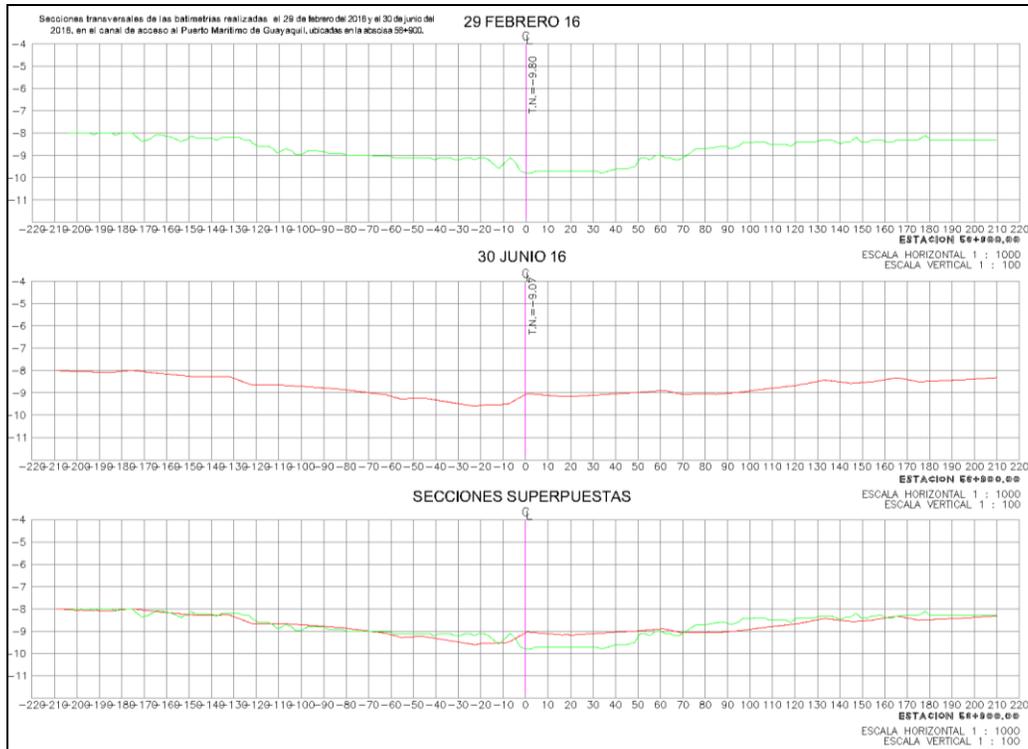


Fig. 6. Secciones transversales de Pre y Post dragado de las batimetrías realizadas el 29 de febrero y el 30 de junio del 2016, en el sector de la barra interna (abscisa 56+900) del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil.
Fuente: [8]- Propia del Autor.

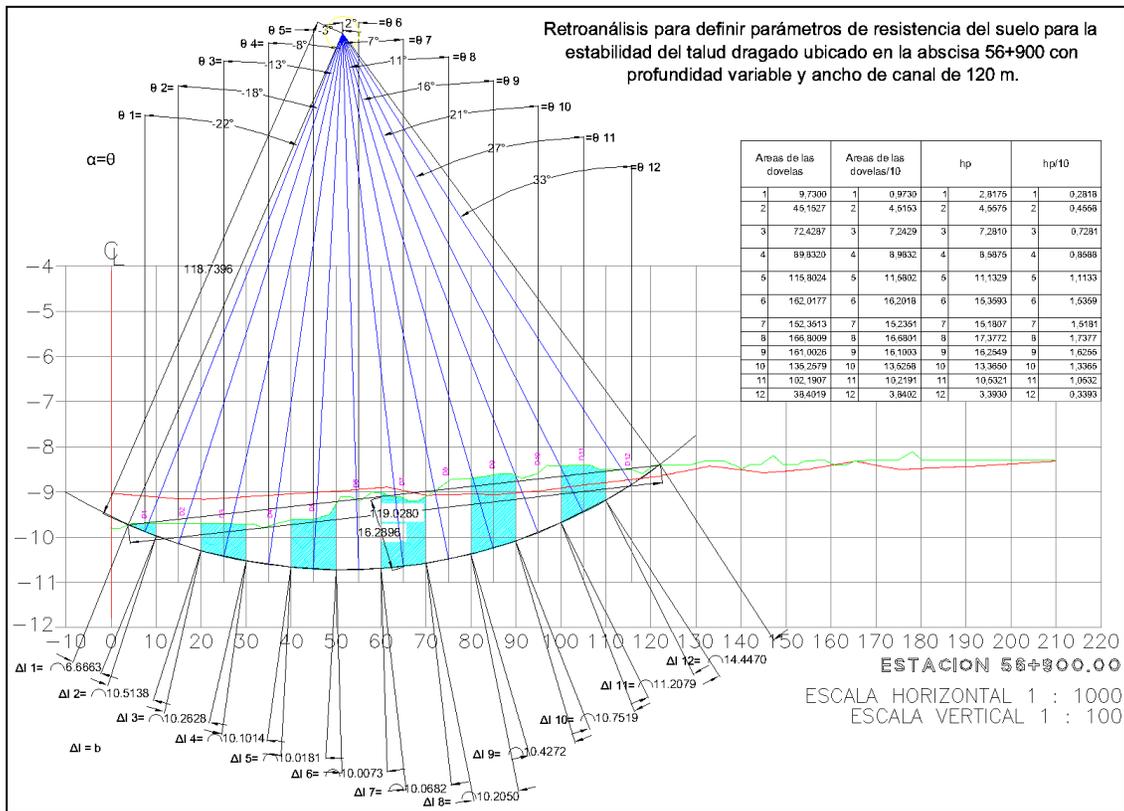


Fig. 7. Trazado de la superficie de falla y datos obtenidos del grafico en el sector de la barra interna (abscisa 56+900) del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil.
Fuente: [8]- Propia del Autor.

Tabla IX. Resultados de los factores de seguridad obtenidos por análisis de estabilidad de taludes para el talud con inclinación 10:1, 20:1 y 30:1, calculados por 3 métodos, para los 4 casos de suelos propuestos en el sector de la barra interna, del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil.

Fuente: Propia del Autor.

MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE Método de las Dovelas	Bishop Simplificado			Ordinario Fellenius			Janbú Simplificado		
Talud de Diseño 10:1	\emptyset°	c kN/m ²	F.S	\emptyset°	c kN/m ²	F.S	\emptyset°	c kN/m ²	F.S
Caso 1, cuando $\emptyset=0$ y $c\neq 0$	-	3,42	0,79	-	3,70	0,80	-	3,42	0,83
Caso 2, cuando $c=0$ y $\emptyset\neq 0$	13,26	-	0,81	16,45	-	0,71	13,26	-	0,87
Caso 3, cuando $c\neq 0$ y $\emptyset=se$ asume	5,00	2,12	0,80	5,00	2,56	0,78	5,00	2,12	0,83
Caso 4, cuando $\emptyset\neq 0$ y $c=se$ asume	5,38	2,00	0,80	6,98	2,00	0,77	5,38	2,00	0,83
Talud 20:1	\emptyset°	c kN/m ²	F.S	\emptyset°	c kN/m ²	F.S	\emptyset°	c kN/m ²	F.S
Caso 1, cuando $\emptyset=0$ y $c\neq 0$	-	3,42	0,87	-	3,70	0,89	-	3,42	0,91
Caso 2, cuando $c=0$ y $\emptyset\neq 0$	13,26	-	0,83	16,45	-	0,86	13,26	-	0,88
Caso 3, cuando $c\neq 0$ y $\emptyset=se$ asume	5,00	2,12	0,85	5,00	2,56	0,87	5,00	2,12	0,89
Caso 4, cuando $\emptyset\neq 0$ y $c=se$ asume	5,38	2,00	0,85	6,98	2,00	0,86	5,38	2,00	0,88
Talud 30:1	\emptyset°	c kN/m ²	F.S	\emptyset°	c kN/m ²	F.S	\emptyset°	c kN/m ²	F.S
Caso 1, cuando $\emptyset=0$ y $c\neq 0$	-	3,42	1,02	-	3,70	1,04	-	3,42	1,06
Caso 2, cuando $c=0$ y $\emptyset\neq 0$	13,26	-	0,88	16,45	-	1,04	13,26	-	0,94
Caso 3, cuando $c\neq 0$ y $\emptyset=se$ asume	5,00	2,12	0,96	5,00	2,56	1,02	5,00	2,12	1,00
Caso 4, cuando $\emptyset\neq 0$ y $c=se$ asume	5,38	2,00	0,96	6,98	2,00	1,01	5,38	2,00	0,99
F.S. Calculado									

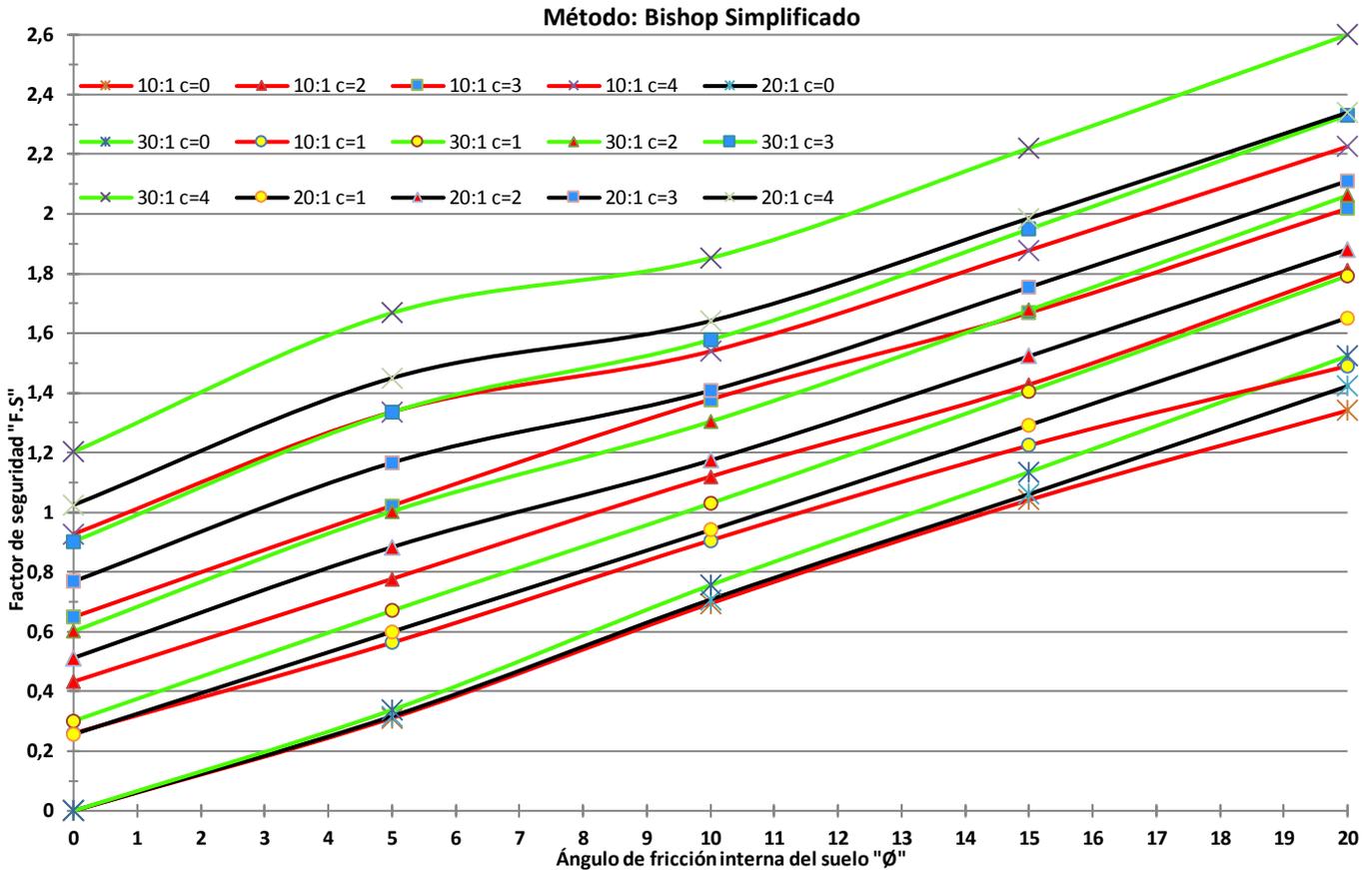


Figura 10. "FCMF-UG", Curvas \emptyset vs F.S: factores de seguridad, obtenidos por análisis de estabilidad de taludes (método de Bishop Simplificado), para el talud con inclinación 10:1, 20:1 y 30:1, para los 4 casos de suelos propuestos en el sector de la barra interna del canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil.

Fuente: Propia del Autor.