INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

CONSORCIO ECOPUENTES

OBJETO: Contrato 2200 – Diciembre 2011 para la complementación de los estudios y diseños definitivos (fase III) para la Solución Integral del paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla.

VOLUMEN No. V: ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACION DE TALUDES.

FECHA 28/10/2014

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

CONSORCIO ECOPUENTES

REGISTRO DE APROBACIÓN

PRESENTADO POR: JORGE FANDIÑO RAMÍREZ

REVISADO POR: JORGE FANDIÑO RAMÍREZ

APROBADO POR: JORGE FANDIÑO RAMÍREZ

VIGENCIA: Concordante con la vigencia y/o plazo de ejecución de contrato.

FECHA: 28 / Octubre / 2014

REGISTRO DE MODIFICACIONES

REVISIÓN		DESCRIPCIÓN DE LAS MODIFICACIONES
No.	Fecha	
1	09/05/2014	
2	28/10/2014	Se atiende Comunicación 308-0512
3		
4		

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES. 3
1.1 OBJETIVOS 3
1.2 METODOLOGIA 3
2. LOCALIZACION DEL PROYECTO 4
3. ANTECEDENTES 5
4. TRABAJOS DE CAMPO 5
5. CARACTERIZACIÓN DE PARAMETROS GEOTECNICOS 6
5.1 ENSAYOS DE LABORATORIO 6
5.2 CONSIDERACIONES SÍSMICAS 6
5.3 PARAMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO DE CIMENTACION 7
5.4 CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO 9
6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 12
7. DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS 24
7.1 EJE PEATONAL 1: K0+163 – K0+210 24
7.2 BARRANQUILLA – SANTA MARTA: K0+412 – K0+582 25
7.3 PUERTO – SANTA MARTA 1: K0+097.5 – K0+140.5 25
7.4 SANTA MARTA - BARRANQUILLA: K0+368.5 – K0+550 25
7.5 PUERTO - SANTA MARTA E2.5: K0+363.8 – K0+467.8 26
7.6 MEDIANA CENTRAL: K2+836.94 – K2+956.94 26
7.7 SANTA MARTA - PUERTO: K0+000 – K0+165 26
8. CONCLUSIONES 1
9. ANEXOS 2

9.1 ANEXO 1: REGISTROS DE PERFORACIÓN 2
9.2 ANEXO2: RESULTADOS DE LABORATORIO 2
9.3 ANEXO3: PLANOS 2
9.4 ANEXO4: SOPORTE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA 2
9.5 ANEXO5: ESPECIFICACIONES REFERENCIA 2

1. GENERALIDADES.

El presente informe contiene los estudios de estabilidad y estabilización de taludes para las obras requeridas en las aproximaciones al puente Pumarejo, en los siguientes sectores:

- Eje Peatonal 1: K0+163 – K0+210
- Barranquilla – Santa Marta: K0+412 – K0+582
- Puerto – Santa Marta 1: K0+097.5 – K0+140.5
- Santa Marta – Barranquilla: K0+368.5 – K0+550
- Puerto – Santa Marta 2 a Estribo E2.1: K0+363.8 – K0+467.80
- Mediana Central: K2+836.94 – K2+956.94
- Santa Marta – Puerto : K0+000 – K0+165

Basados en los resultados del plan exploratorio, información recopilada, los requerimientos del proyecto y los análisis geotécnicos realizados, se incluyen en este informe los parámetros geomecánicos estimados de los materiales que conforman el perfil estratigráfico, las condiciones de estabilidad y las recomendaciones de estabilización correspondientes.

1.1 OBJETIVOS

En el presente informe se presentan los resultados del Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes para las aproximaciones al nuevo puente, que sirve como solución al paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla, entre los departamentos de Atlántico y Magdalena, junto con el intercambiador vial. El presente estudio hace parte de los requerimientos exigidos por el INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, dentro del contrato INV 2200 de Diciembre de 2011 para la complementación de los estudios y diseños definitivos (fase III) para la Solución Integral del paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla.

1.2 METODOLOGIA

El marco metodológico que se empleó en el desarrollo de las recomendaciones para las obras requeridas en los accesos al puente Pumarejo se divide en dos etapas que inicia con la recopilación de información de referencia (Geología y Geotecnia) en la que se busca obtener un conocimiento más específico del área

en estudio, de los procesos geológicos y geotécnicos que estén controlando el comportamiento de los sectores en estudio.

La siguiente etapa de trabajo corresponde a los análisis de estabilidad, actividad que se realiza de manera específica para cada uno de los distintos sectores en estudio; esta actividad culmina con las recomendaciones respecto de las obras necesarias para mantener los márgenes de estabilidad de las laderas en condición estática y seudo-estática.

2. LOCALIZACION DEL PROYECTO

El sitio del Nuevo Puente Pumarejo para el paso sobre el Río Magdalena y el intercambiador vial en la margen izquierda anexo a la estructura principal, se localiza en la vía que comunica a las ciudades de Barranquilla y Santa Marta, capitales de los departamentos de Atlántico y Magdalena respectivamente, la cual corresponde a la Ruta Nacional 90. El proyecto contempla la construcción de un nuevo puente paralelo, aguas arriba a la estructura existente en el cruce de la vía con el Río Magdalena en proximidades a su desembocadura en el mar Caribe, y adicionalmente un intercambiador vial ubicado en la margen izquierda del río con ramales viales y peatonales que comunican a la zona portuaria con las ciudades de Santa Marta y Barranquilla. La ubicación del proyecto dentro del mapa de redes viales principales del Instituto Nacional de Vías, para los departamentos de Atlántico y Magdalena, se puede ver en la Figura 1 que se muestra a continuación.

Figura 1 Localización general del proyecto

3. ANTECEDENTES

La información revisada de antecedentes que sirvió de referencia y apoyo para la elaboración del presente estudio es la siguiente:

- Volumen N° III - Geología para Ingeniería, informe final v0, con fecha 15/08/2012, desarrollado por el Geólogo Julio Alberto Triviño.

- Volumen N° IV – Estudio de Suelos para el Diseño de Fundaciones, V1 con fecha 12/11/13, desarrollado por el Ingeniero Edgar Forero Muñoz

4. TRABAJOS DE CAMPO

Con el objeto de conocer las características físicas y obtener muestras de los diferentes estratos que conforman el perfil del subsuelo en el área del proyecto, se utilizó la información obtenida de nueve (9) perforaciones realizadas por SEG SAS, en el mes de Julio del año 2013. En la Tabla 1 se presenta la localización y profundidad de las perforaciones realizadas.

En el Anexo 3- Planos, se muestra la distribución de las perforaciones realizadas.

Tabla 1 Perforaciones realizadas

SECTOR	NOMBRE PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m)	LOCALIZACIÓN PERFORACION	
			ESTE (m)	NORTE (m)
EJE PEATONAL 1	E3.1	25.00	924605.5	1703024.3
	P5.1	25.40	924605.3	1703005.9
BARRANQUILLA - SANTA MARTA	P5.5	39.00	924648.6	1702876.2
PUERTO - SANTA MARTA 1	P3.1	25.00	924633.0	1703043.7
	E5.1	25.40	924629.9	1703028.5
SANTA MARTA - BARRANQUILLA	P5.4	35.60	924613.8	1702896.9
PUERTO - SANTA MARTA 2	E5.2	25.10	924680.5	1702872.8
MEDIANA CENTRAL	E-5		926849.4	1703236.9
	P-27	40.00	926866.8	1703227.1

En el Anexo 1 se presentan los registros de perforaciones, que incluyen información sobre la estratigrafía, el nivel freático y la resistencia del perfil del suelo.

5. CARACTERIZACIÓN DE PARAMETROS GEOTECNICOS

5.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

Algunas de las muestras obtenidas de los sondeos, se seleccionaron para realizar los ensayos de laboratorio necesarios para la caracterización geomecánica, con el fin de obtener parámetros de diseño de cada una de las estructuras involucradas en el proyecto, tal como se indica a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2 Perforaciones realizadas

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	TOTAL REALIZADOS
Ensayo de Penetración Normal y Muestreo con Tubo Partido de los Suelos (Ensayo de Campo)	INV E-111	80
Determinación en Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de suelos, Roca y Mezclas de Suelos-Agregado	INV E-111	119
Limite Plástico e Índice de Plasticidad	INV E-111	57
Determinación Granulométrica para obtener el tamaño de las partículas.	INV E-111	121
Compresión Inconfinada en Muestras de Roca	INV E-111	9
Ensayo de Corte Directo	INV E-111	13

5.2 CONSIDERACIONES SÍSMICAS

De acuerdo a la Clasificación de amenaza descrita la NSR-10 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, para el sector en estudio se tiene:

Zona de Amenaza Sísmica: **Baja**

Aa, Coeficiente de Aceleración Sísmica: **0.10 (g)**

Tipo de perfil se suelo: Determinado a partir de la metodología descrita en el numeral A.2.4.1 **Tipo D**.
Consideraciones para determinar el coeficiente sísmico de diseño para análisis Pseudoestático de taludes:

De acuerdo con el numeral H.5.2.5 de la NSR-10, los valores del coeficiente sísmico de diseño para análisis Pseudoestático de taludes KST tienen valor inferior o igual que amax, dependiendo del tipo de material terreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

Para los suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados el valor es 0.8 amax. Para el presente diseño se realiza la determinación de KST a partir de la NSR-10, con el objeto de alcanzar valores de factores de seguridad de diseño mínimos, reportados en la Tabla H.2.4-1 Factores de seguridad básicos mínimos directos. El coeficiente de aceleración sísmica de diseño es por lo tanto 0.9g.

5.3 PARAMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO DE CIMENTACION

Los suelos de cimentación están compuestos por arenas arcillosas y arcillas de baja plasticidad con compacidad suelta a densa y consistencia media a dura respectivamente; se registra también en este estrato la presencia de turbas y limos con contenido orgánico (OH). De acuerdo con la exploración geofísica complementaria adelantada estos materiales pueden tener velocidades de onda compresional (Vp) entre 290 y 360 m/s, y valores de onda cortante (Vs) de entre 112 y 304 m/s. Se resalta que estos llenos se deben implantar previo retiro de rellenos heterogéneos compresibles, descapote, material orgánico, etc.:

Tabla 3. Muros Reforzados para accesos

Ramal/Estructura	Muro	Longitud (m)	H_{max} (m)
Puente Principal	Acceso Margen Derecha, Apoyo E1	120.0	7.6
	Acceso Ramal Barranquilla - Sta. Marta, Apoyo E2.1	157.8	9.9
	Acceso Ramal Sta. Marta - Barranquilla, Apoyo E2.2	150.0	8.0
Ramal peatonal 1	Acceso apoyo E2.4	47.0	6.4
Puerto - Santa Marta	Acceso Apoyo E1.5	43.0	9.6
	Salida apoyo E2.5	70.4	7.4
	Acceso ramal Barranquiilla - Santa Marta, Apoyo E2.1	33.6	6.4

En lo que tiene que ver con la capacidad de soporte del suelo de fundación para los rellenos proyectados se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 4, a partir de análisis cuyos detalles se pueden ver en las memorias de cálculo del Anexo 4 (lo anterior considerando como suelo de fundación para los accesos en

los apoyos E2.1, E2.2, E2.4, E1.5 y E2.5 los rellenos y horizontes de suelo residual superficiales, y para el acceso por el apoyo E.1 los depósitos de desborde superficiales).

Tabla 4. Resultados Análisis de Capacidad Portante suelos de fundación para terraplenes de acceso

Ramal/Estructura	Muro	B (m)	q_{adm} (T/m²)	B (m)	q_{adm} (T/m²)
Puente principal	Acceso Margen derecha, Apoyo E1	10.0	16.9	12.0	20.3
	Acceso Ramal Barranquilla-Sta. Marta, Apoyo E2.1	10.0	>50.0	12.0	>50.0
	Acceso Ramal Sta. Marta-Barranquilla, Apoyo E2.2	10.0	>50.0	12.0	>50.0
Ramal Peatonal 1	Acceso apoyo E2.4	5.0	20.1	6.0	24.2
Puerto - Sta. Marta	Acceso apoyo E1.5	10.6	36.7	11.6	40.2
	Salida apoyo E2.5	10.6	42.7	11.6	46.7
	Acceso Ramal Barranquilla-Sta. Marta, Apoyo E2.1	10.6	14.6	11.6	15.7

B: ancho de cimentación.
q_{adm}: Presión admisible en el suelo de fundación.

Como puede verse desde el punto de vista de capacidad portante no se presentarían problemas para los materiales de fundación recomendados, el menor valor de presión admisible estimado se registra en el acceso al puente principal por la margen derecha, sin embargo éste último se ha estimado sin tener en cuenta el efecto del sistema de mejoramiento propuesto ante el potencial de licuación detectado en dicha zona. De igual manera se revisaron los asentamientos que podrían desarrollarse por la construcción de estos rellenos, para tal efecto se consideró el software Settle 3D v2.0 contemplando el desarrollo de asentamientos elásticos en los materiales de fundación. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla y los cálculos correspondientes en el Anexo 4.E de Memorias de cálculo.

Tabla 5. Resultados análisis de asentamientos en suelos de fundación para terraplenes de acceso

Ramal/Estructura	Muro	B (m)	S_{max} (cm)
Puente principal	Acceso Margen derecha, Apoyo E1	10.0	7.3
		12.0	7.9
	Acceso Ramal Barranquilla-Sta. Marta, Apoyo E2.1	10.0	4.8
		12.0	5.1
	Acceso Ramal Sta. Marta-Barranquilla, Apoyo E2.2	10.0	5.1
		12.0	5.5
Ramal Peatonal 1	Acceso apoyo E2.4	5.0	3.1
		6.0	3.3
Puerto - Sta. Marta	Acceso apoyo E1.5	10.6	5.0
		11.6	5.2
	Salida apoyo E2.5	10.6	3.4
		11.6	3.5
	Acceso Ramal Barranquilla-Sta. Marta, Apoyo E2.1	10.6	5.5
		11.6	5.6

Los resultados dejan ver la probable ocurrencia de deformaciones máximas en el suelo de fundación, para los accesos de la margen izquierda, de 5.6cm los cuales se consideran como manejables toda vez que la construcción de los rellenos se haga de manera previa respecto a la construcción de la superestructura del proyecto (precarga), con el fin de que se desarrollen tales deformaciones a lo largo de la etapa de construcción. De otro lado para el relleno de la margen derecha se registran deformaciones en el suelo de fundación de aproximadamente 8.0cm, lo que puede preverse teniendo en cuenta las características del suelo de fundación (rellenos y depósitos de desborde compuestos por materiales arcillosos y limosos con aparición ocasional de suelos con contenido orgánico); lo anterior justifica implementar un sistema de mejoramiento del suelo de fundación.

5.4 CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO

Teniendo presentes las características del proyecto y el entorno del subsuelo en la zona de implantación, se ha identificado como principal condición particular de comportamiento el potencial de desarrollo de fenómenos de licuación por excitación sísmica.

Para las zonas de terraplenes, específicamente para la zona del apoyo E1 (perforación P-27) donde se proyecta la ubicación del terraplén de acceso por la margen derecha, se podrían generar eventos de licuación que causen asentamientos en superficie, por lo tanto se propone el mejoramiento del suelo que consista en la densificación del mismo hasta la profundidad donde se prevé que se pueda desarrollar la licuación, además con la construcción de estructuras que permitan la disipación de excesos de presiones de poros que puedan desarrollarse ante eventos sísmicos que se presenten.

Para tal fin se recomienda la implementación de un sistema de inclusiones (por ejemplo: pilotes vibrados o equivalentes) cuyo propósito sea la densificación del terreno hasta alcanzar el nivel del estrato E5 (el cual corresponde al máximo hasta donde se registra la posibilidad de licuación) junto con la construcción alternada de columnas de gravas, que se lleven hasta una profundidad similar, cuyo objetivo primordial será además de densificar con un sistema constructivo de desplazamiento, ayudar a la disipación de eventuales excesos de presiones de poros durante eventos sísmicos, lo que se traducirá en una disminución notable del riesgo de desarrollo de licuación.

El sistema de mejoramiento consiste en la densificación del terreno mediante la implantación de inclusiones alternadas de pilotes vibrados (concreto) y columnas de grava con un diámetro no menor a 0.2m, el espaciamiento entre ejes de inclusiones será de 1.2m y su distribución entre filas será a tres-bolillo. Las inclusiones tendrán una longitud que varía entre 17.5 y 21.0m, llegando hasta el estrato E5 y cubriendo las profundidades en las que se ha identificado el potencial de licuación, y se conectarán con el cimiento del relleno de acceso mediante un "colchón" drenante de un espesor mínimo de 0.5m y una pendiente transversal en la sección típica de 2-3%. Para el caso de las columnas de grava y del colchón drenante puede considerarse la banda de gradación AG-3 propuesta en la especificación 630 del Instituto Nacional de Vías; para los pilotes vibrados puede emplearse concreto clase F, de acuerdo con la especificación 630 del INV, con resistencia de 14 MPa, dado que su uso será orientado más que todo al reemplazo del suelo desplazado al colocar tales inclusiones y no a la resistencia estructural del elemento como tal.

Estas obras de mejoramiento del suelo deberán adelantarse a lo largo de toda la superficie que cubra el relleno de acceso proyectado por la margen derecha, también en un sobre ancho lateral no menor a 2.5 m.

Así mismo, para el sector del intercambiador en el empalme Santa Marta- Puerto, en donde se tiene prevista la construcción de un terraplén en estructura de suelo mecánicamente estabilizado (SME) con una altura máxima de 8.5m y que se desarrolla en una longitud aproximada de 165m, se realizaron análisis de estabilidad adicionales teniendo en cuenta la proximidad del caño la Ahuyama.

Para este tramo se tomaron los resultados de la perforación E2.3, en la cual se detectaron depósitos de desborde (E2) conformados por limos y arcillas de compresibilidad media a alta y consistencia muy blanda a blanda (fluvio-lacustre), un segundo horizonte compuesto por suelos residuales conformado por material predominantemente arenoso de compacidad media a densa, y un tercero consistente en un horizonte más profundo de suelos residuales arenosos con intercalaciones de suelos arcillosos de compacidad y/o consistencia mayor.

De acuerdo a los parámetros geotécnicos establecidos para este estrato, se realizaron análisis de capacidad portante y deformación de suelo, considerando que el relleno sea cimentado directamente sobre el suelo detectado en las perforaciones, obteniendo valores de capacidad portante admisible de 38T/m² y 21 T/m², bajo condiciones drenadas y no drenadas respectivamente. Así mismo, bajo estas condiciones se realizaron análisis de asentamientos teniendo en cuenta la carga del relleno con una altura de 8.5m y un peso unitario de 1.9T/m³ y una carga viva de 1.2T/m², para una sobrecarga a nivel de fundación de 17.4T/m², obteniendo asentamientos hasta de 9cm, resultando excesivo para las condiciones de operación previstas.

De acuerdo a lo anterior, para este tramo se recomienda realizar un mejoramiento del suelo mediante la inclusión de elementos verticales (columnas de grava y pilotes, a manera de pilote vibrado o equivalente) espaciados en ambos sentidos cada 1.2m junto con la colocación de una capa de agregado grueso con un espesor de 0.5m a nivel superficial. De acuerdo con el perfil estratigráfico, se ha estimado conveniente que la longitud de las inclusiones tenga un valor mínimo de 10.0m, con un diámetro de 0.2m, obteniendo bajo

estas consideraciones factores de seguridad adecuados para la estabilidad de la obra y asentamientos máximos de 3.4cm.

En el anexo 4H se presentan las memorias de cálculo de estabilidad correspondiente a las recomendaciones dadas para este terraplén. Los detalles sobre el sistema de mejoramiento propuesto son presentados en el plano F-4 del Anexo 1.

6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis realizado consistió en valorar las geometrías planteadas bajo criterios de estabilidad al deslizamiento, estabilidad al volteo, capacidad portante, falla general y control de deformaciones en condición estática y seudoestática, valores que fueron comparados con los propuestos en la tabla H.6.9.1 de la NSR-10 y se resumen a continuación.

Tabla 6 Resumen de los FS obtenidos para los análisis de estabilidad interna

Localización Muro Tipo		F.S. deslizamiento		F.S Volteo		F.S. Capacidad Portante		Cumple
Tramo	Abscisa	obra	norma	obra	norma	obra	norma	
Eje Peatonal 1	K0+100 - K0+215	1.6	≥1.5	3.7	≥3.0	3.0	≥3.0	Si
Barranquilla - Santa Marta	K0+342 - K0+586	1.5		5.6		3.0		Si
Puerto - Santa Marta 1	K0+000 - K0+415	1.5		4.6		3.0		Si
Santa Marta - Barranquilla	K0+314 - K0+554	1.5		3.9		3.3		Si
Puerto - Santa Marta 2	K0+370 - K0+470	1.8		3.7		4.3		Si
Mediana central	K2+840 - K3+000	1.7		3.9		3.7		Si

Adicionalmente se valoró la estabilidad general de los muros en varias secciones transversales a lo largo del alineamiento de la obra, en condición estática y seudo-estática con un coeficiente sísmico 0.10g para condiciones permanentes, a continuación se presentan los resultados.

- **Tramo:** Eje Peatonal 1

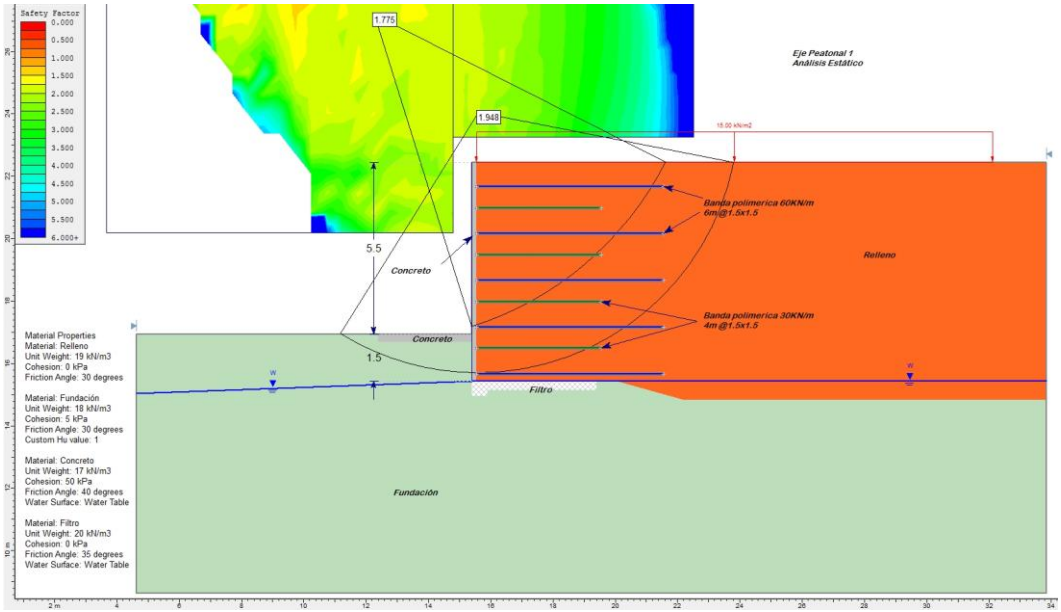

Figura 2. Eje Peatonal 1. Análisis de estabilidad - Condición Estática

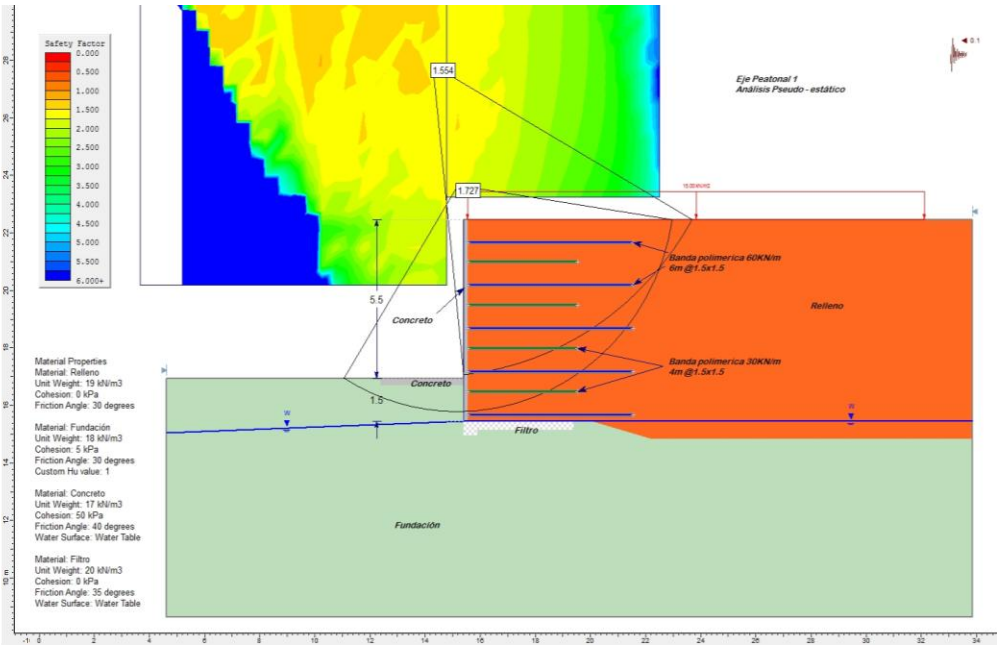

Figura 3. Eje Peatonal 1. Análisis de estabilidad - Condición Pseudo-estática

- **Tramo:** Barranquilla – Santa Marta

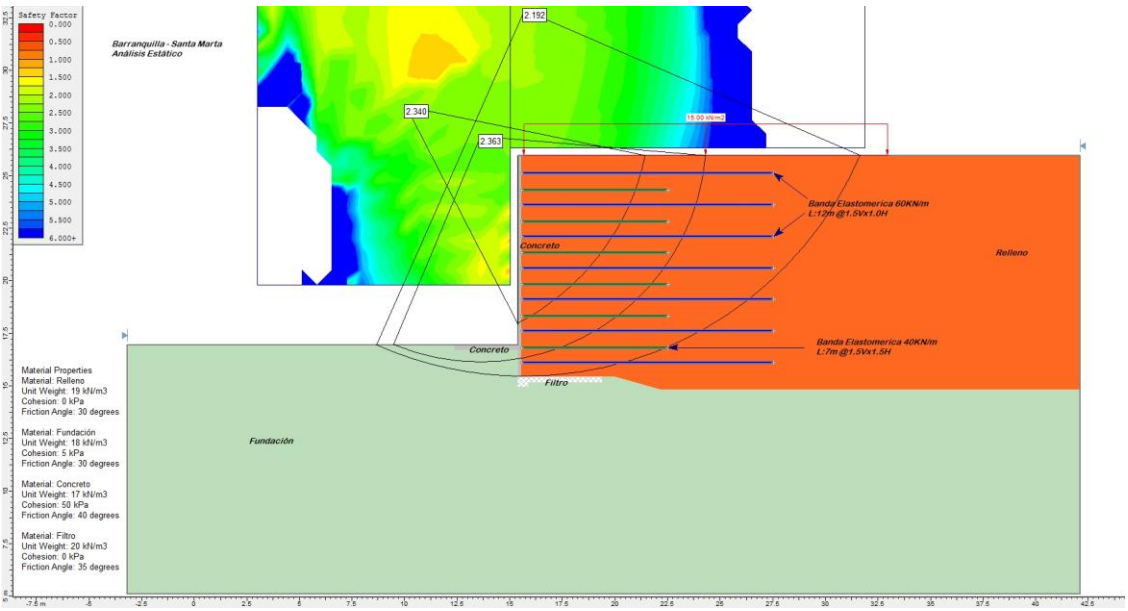

Figura 4. Barranquilla – Santa Marta. Análisis de estabilidad - Condición Estática

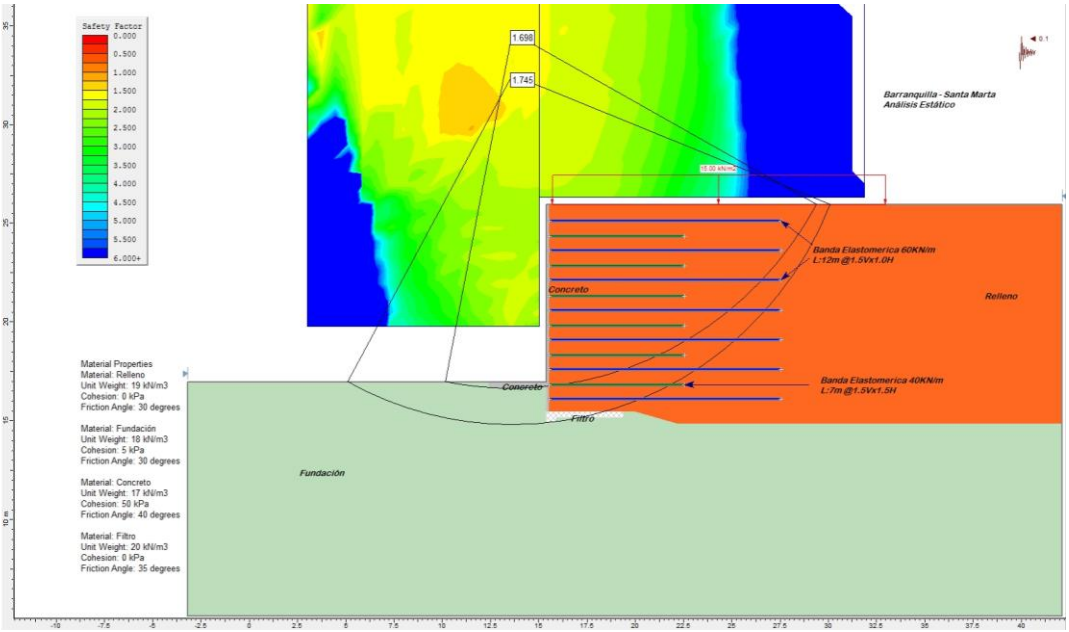

Figura 5. Barranquilla – Santa Marta. Análisis de estabilidad - Condición Pseudo-estática

- **Tramo:** Puerto – Santa Marta1. E1.5

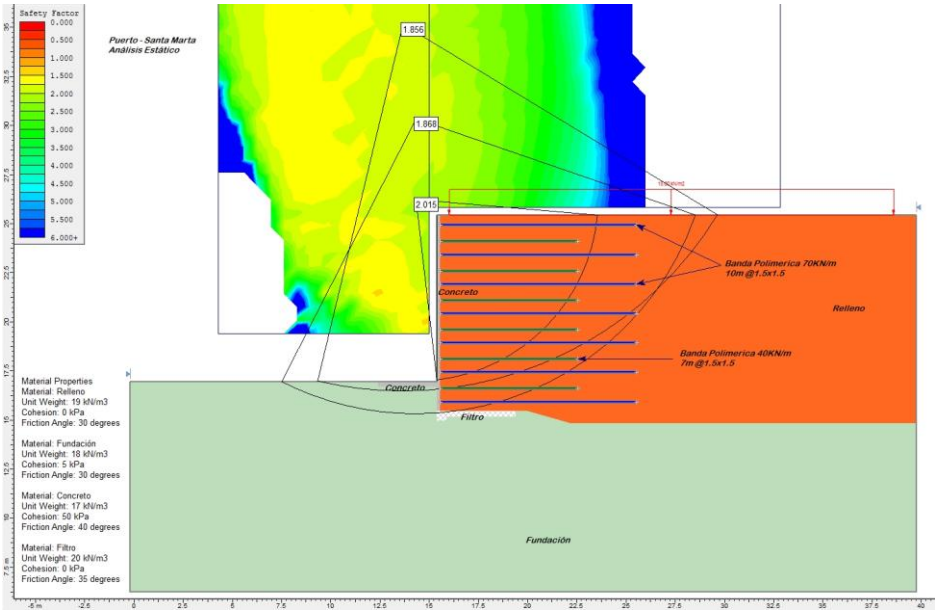

Figura 6. Puerto – Santa Marta. Análisis de estabilidad - Condición Estática

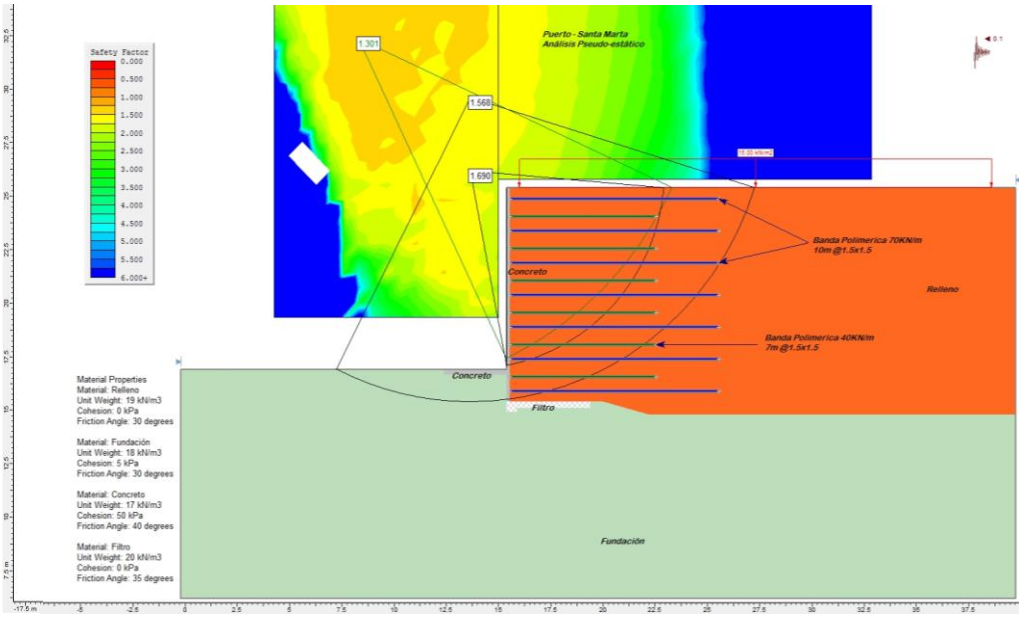

Figura 7. Puerto – Santa Marta. Análisis de estabilidad - Condición Pseudo-estática

- **Tramo:** Santa Marta – Barranquilla

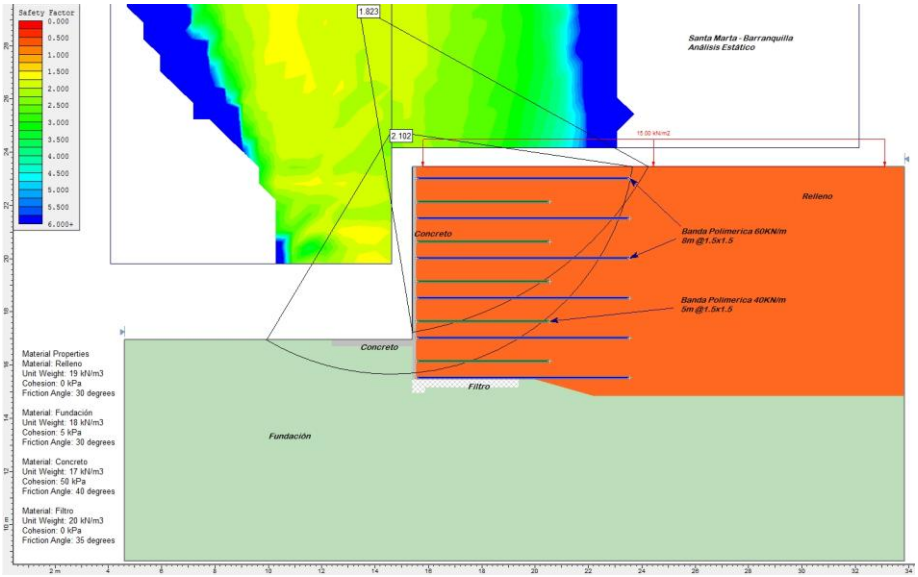

Figura 8. Santa Marta - Barranquilla. Análisis de estabilidad - Condición Estática

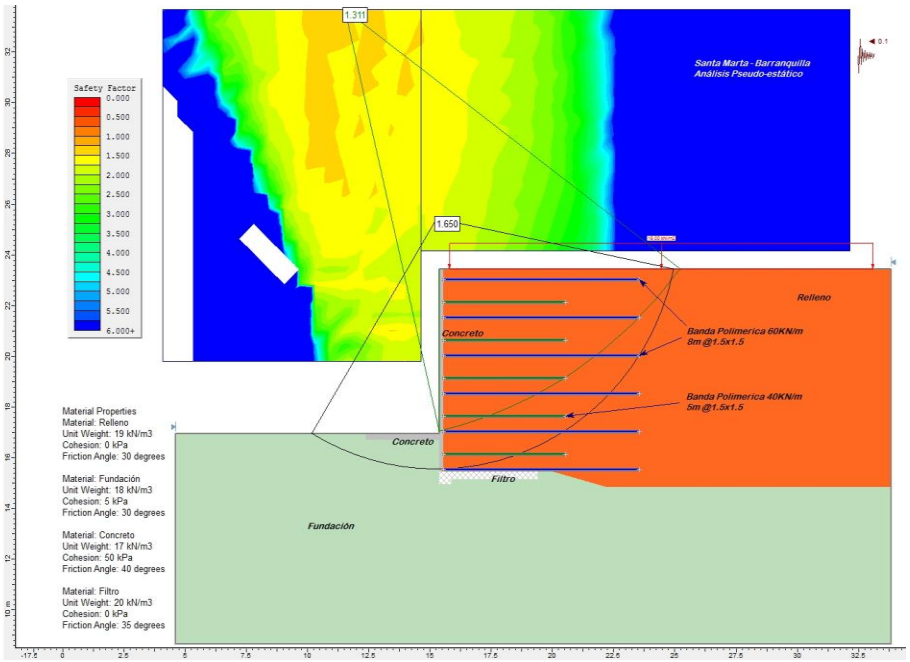

Figura 9. Santa Marta - Barranquilla. Análisis de estabilidad - Condición Pseudo-estática

- **Tramo:** Puerto - Santa Marta E2.5

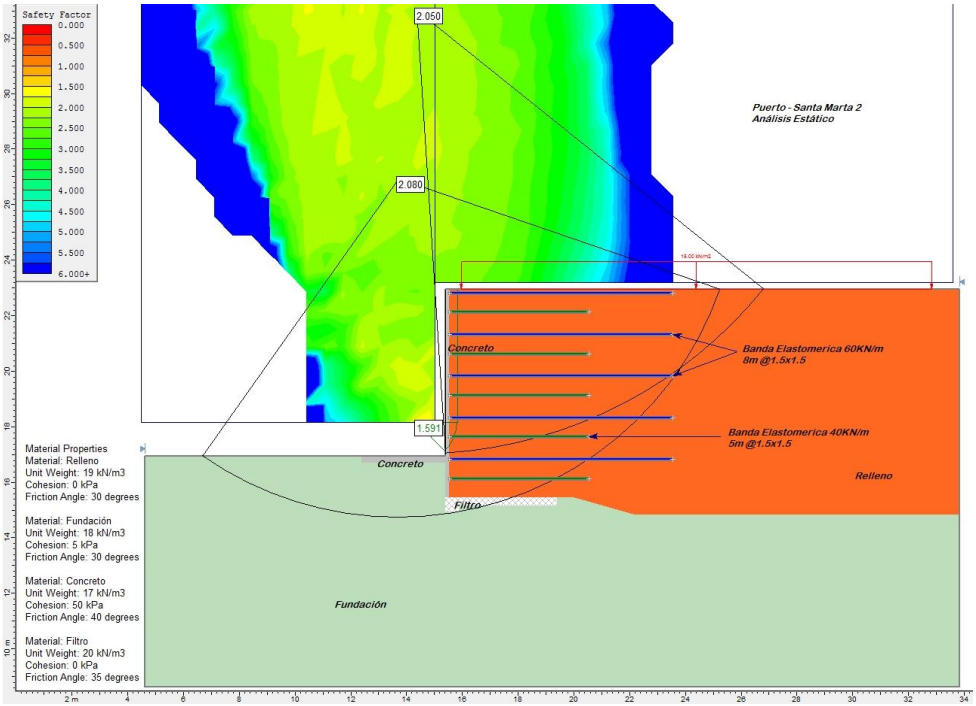

Figura 10. Puerto - Santa Marta. Análisis de estabilidad - Condición Estática

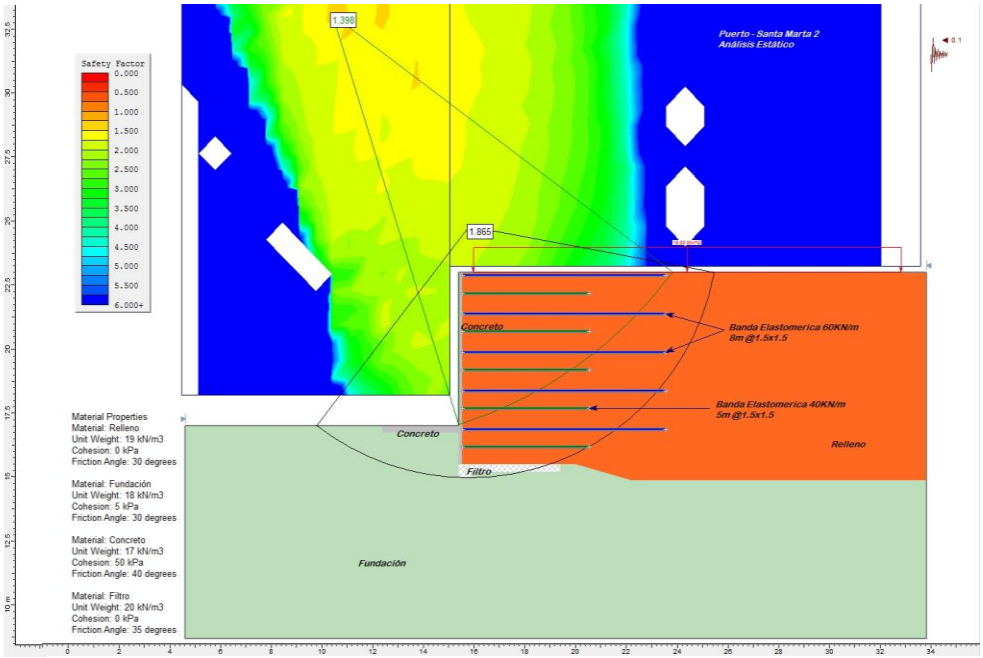

Figura 11. Puerto - Santa Marta. Análisis de estabilidad - Condición Pseudo-estática

- **Tramo:** Mediana Central

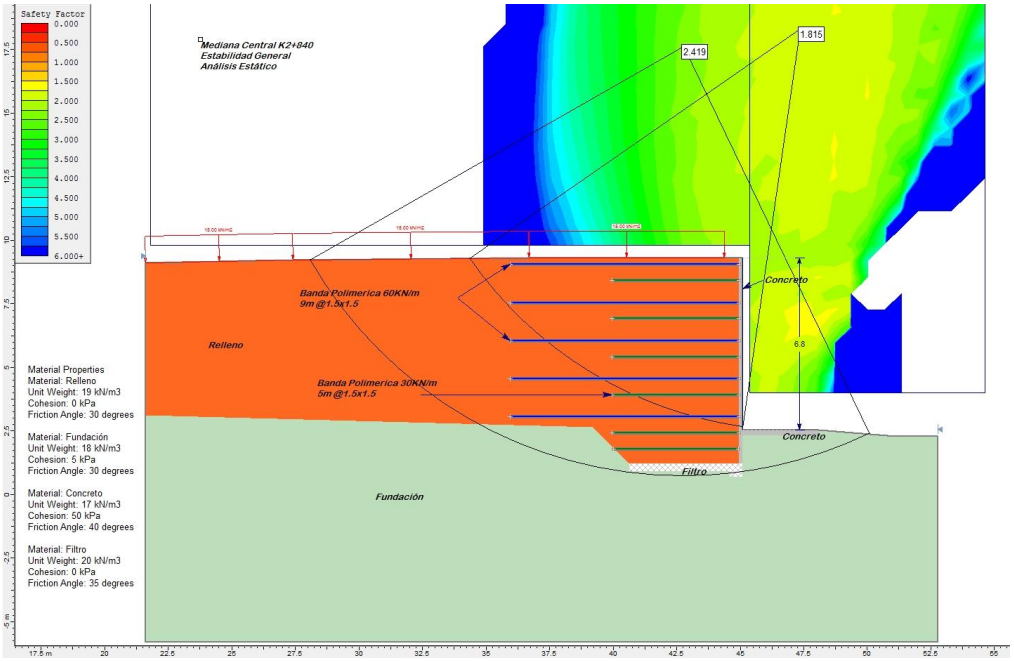

Figura 12. Mediana Central. Análisis de estabilidad - Condición Estática

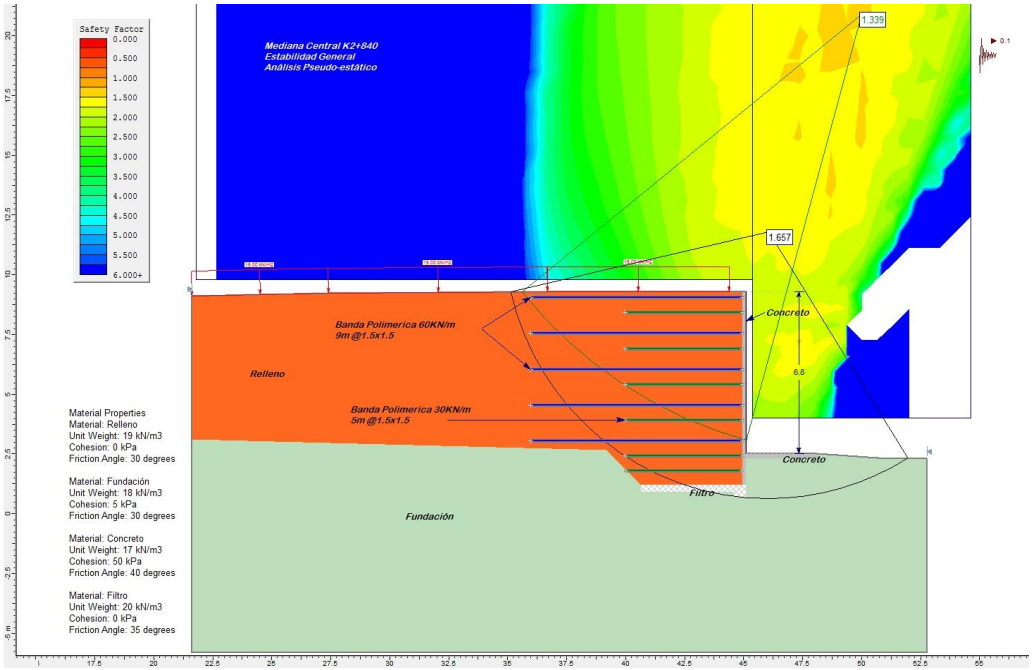

Figura 13. Mediana Central. Análisis de estabilidad - Condición Pseudo-estática

- **Tramo:** Santa Marta – Puerto

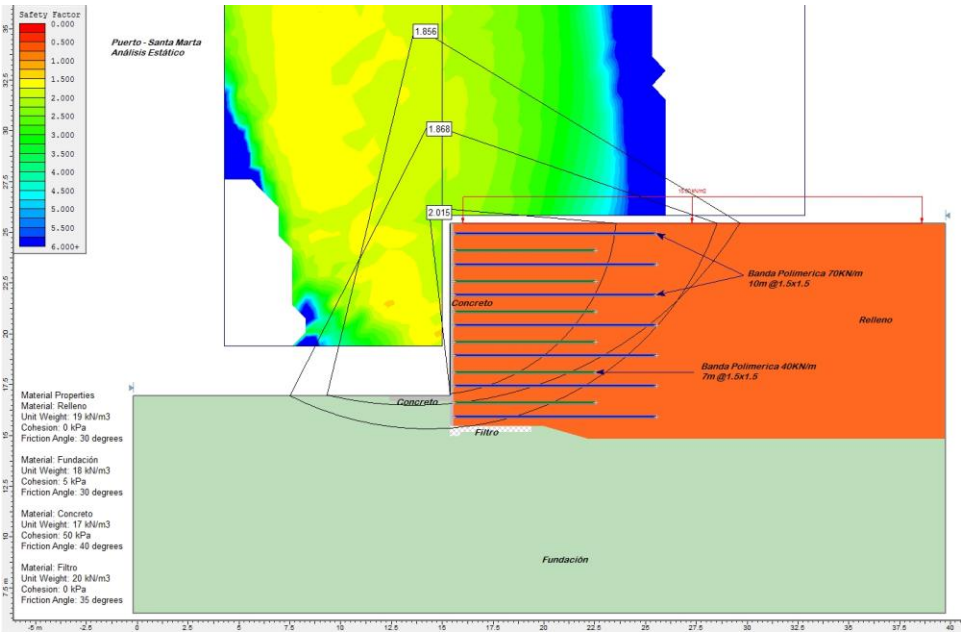

Figura 14. Santa Marta - Puerto. Análisis de Estabilidad - Condición Estática

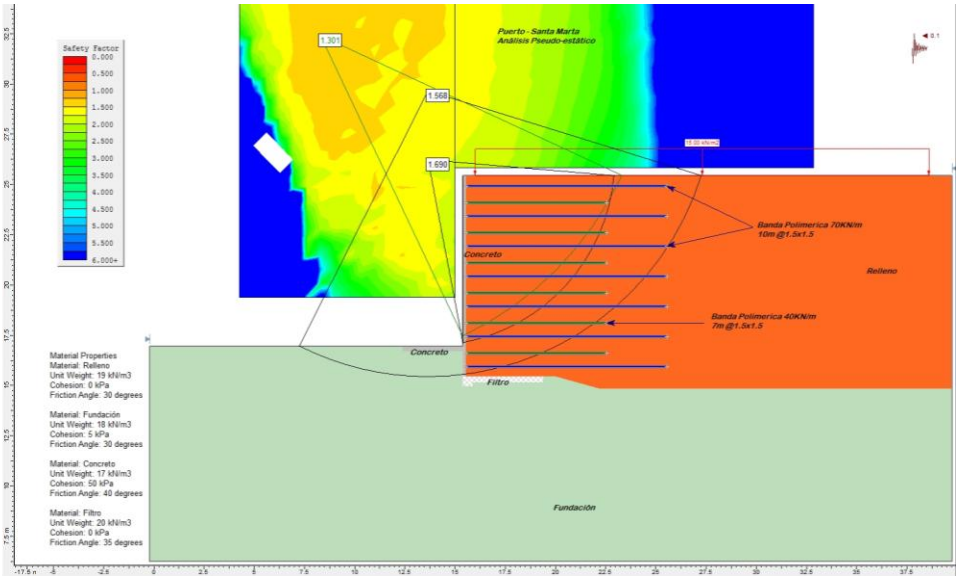

Figura 15. Santa Marta - Puerto. Análisis de Estabilidad - Condición Pseudo-estática

Tabla 7 Resumen de los FS obtenidos para los análisis de estabilidad global

Localización Muro Tipo		Obra implementada – estabilidad permanente				Cumple
Tramo	Abscisa	F.S. Estático		F.S. Seudoestático		
Eje Peatonal 1	K0+100 - K0+215	1.77	≥1.5	1.55	≥1.05	Si
Barranquilla - Santa Marta	K0+342 - K0+586	2.19		1.69		Si
Puerto - Santa Marta E1.5	K0+000 - K0+415	1.85		1.30		Si
Santa Marta - Barranquilla	K0+314 - K0+554	1.82		1.31		Si
Puerto - Santa Marta E2.5	K0+370 - K0+470	2.05		1.39		Si
Mediana central	K2+840 - K3+000	1.81		1.33		Si
Santa Marta - Puerto	K0+165 – K0+000	1.85		1.30		Si

De manera adicional se realizaron análisis de estabilidad mediante la utilización de otro sistema de muro de contención en suelo reforzado, mediante la utilización de mallas metálicas resistentes a esfuerzos de tracción, obteniendo los resultados que se muestran a continuación:

- **Tramo:** Eje Peatonal 1

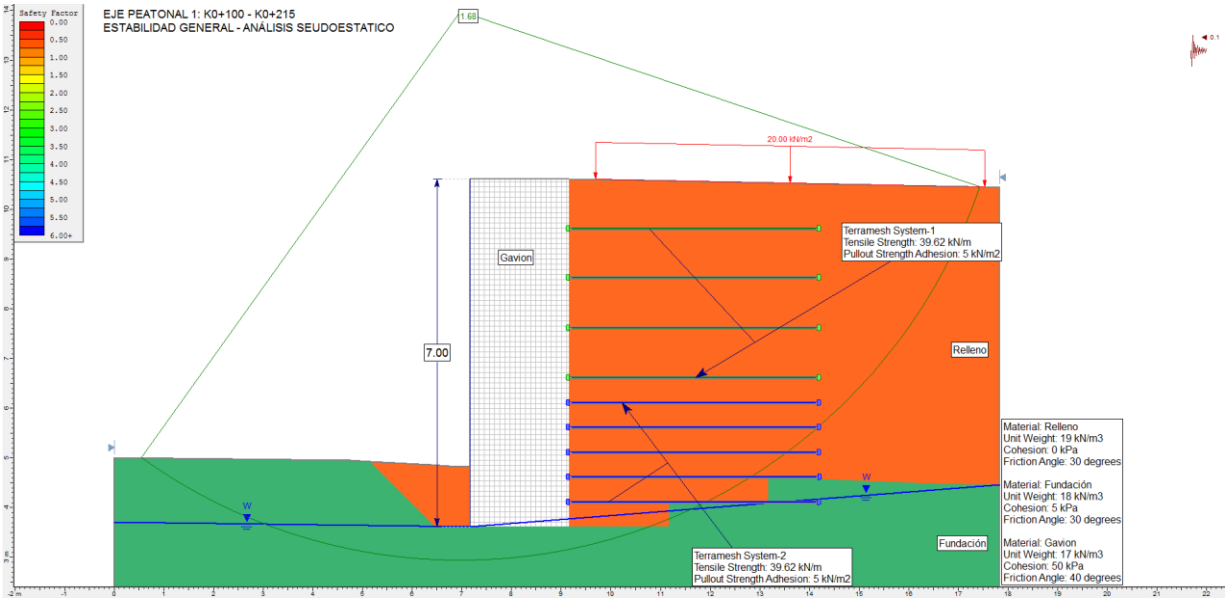

Figura 16 Resultados de estabilidad general – Eje Peatonal. Condición pseudoestatica

- **Tramo:** Barranquilla – Santa Marta

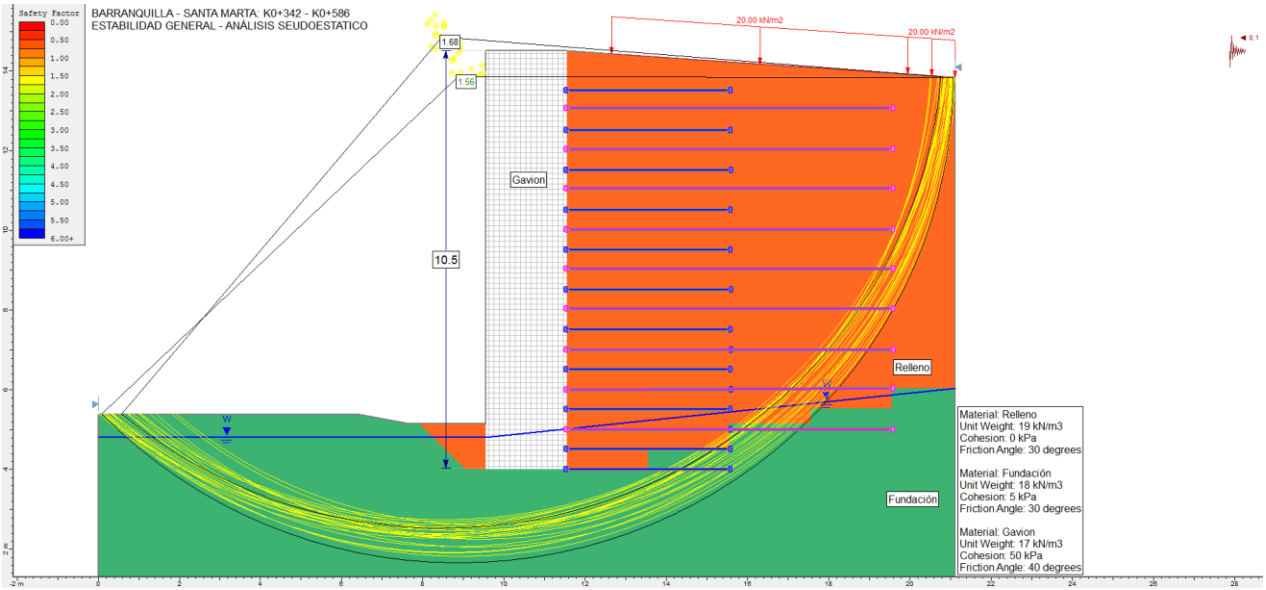

Figura 17 Resultados de estabilidad general – Barranquilla – Santa Marta. Condición seudoestatica

➢ **Tramo:** Puerto – Santa Marta 1

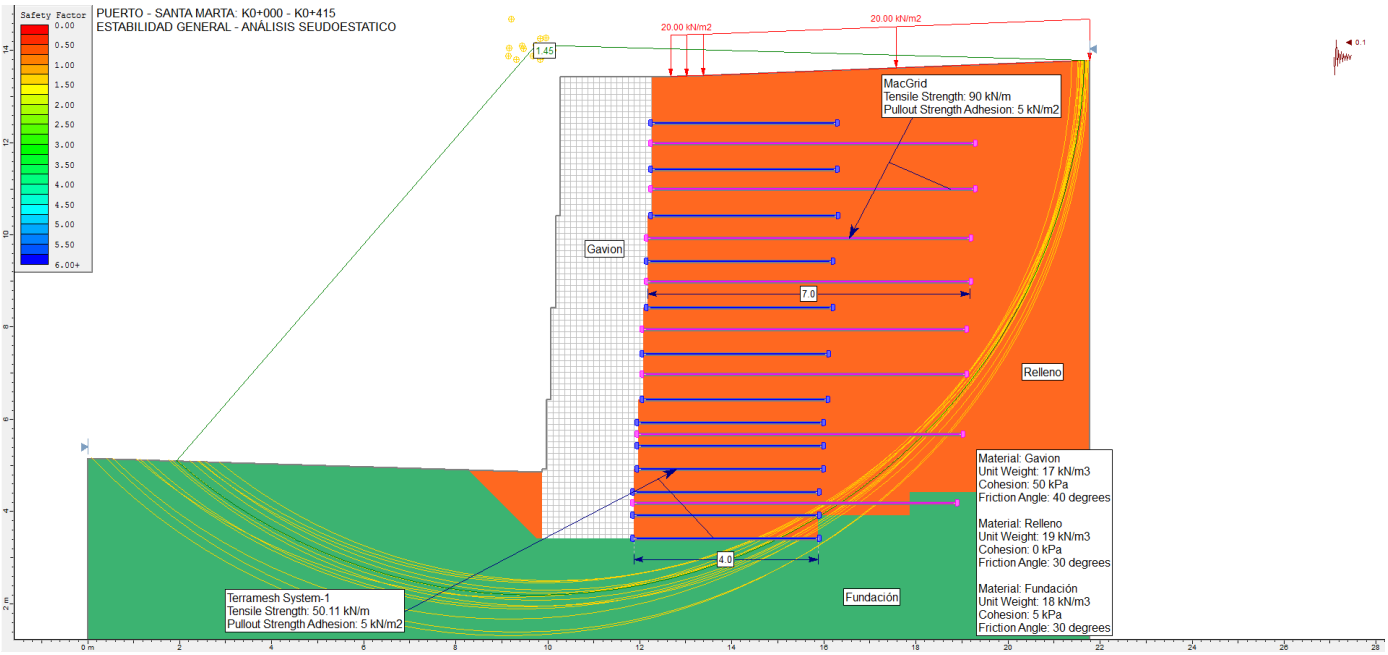

Figura 18 Resultados de estabilidad general – Puerto – Santa Marta 1. Condición seudoestatica

➢ **Tramo:** Santa Marta – Barranquilla

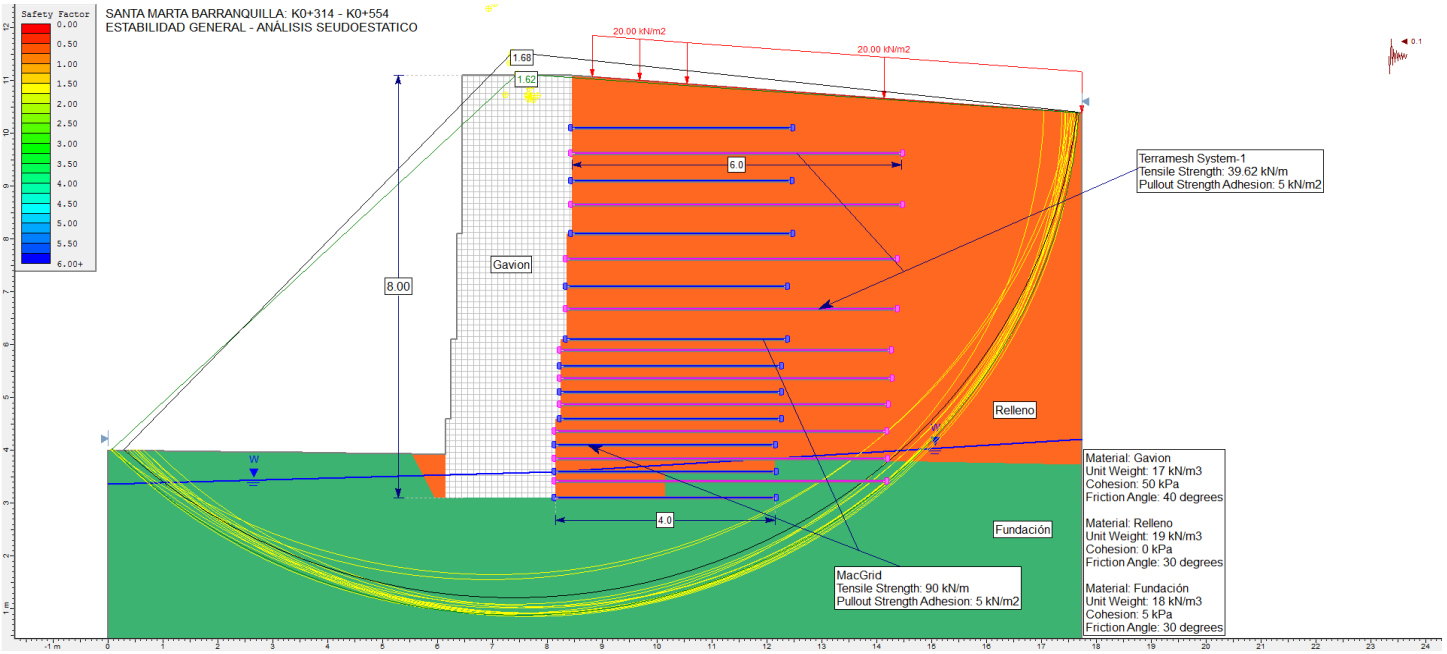

Figura 19 Resultados de estabilidad general – Santa Marta - Barranquilla. Condición seudoestatica

- **Tramo:** Puerto – Santa Marta 2

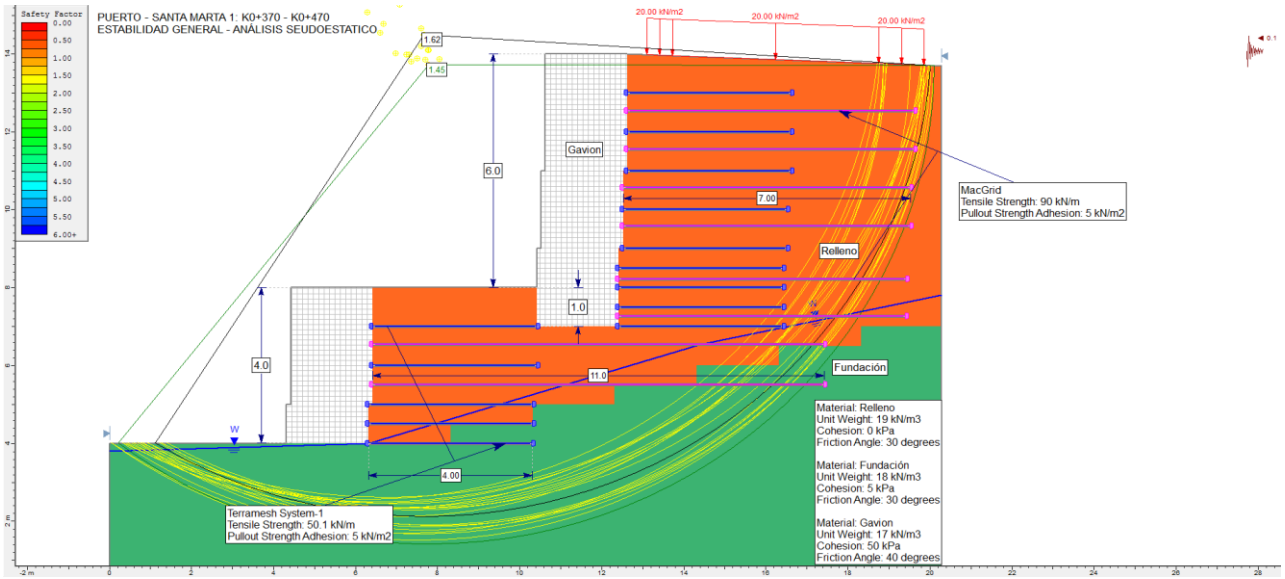

Figura 20 Resultados de estabilidad general Puerto – Santa Marta 2. Condición seudoestatica

- **Tramo:** Mediana central

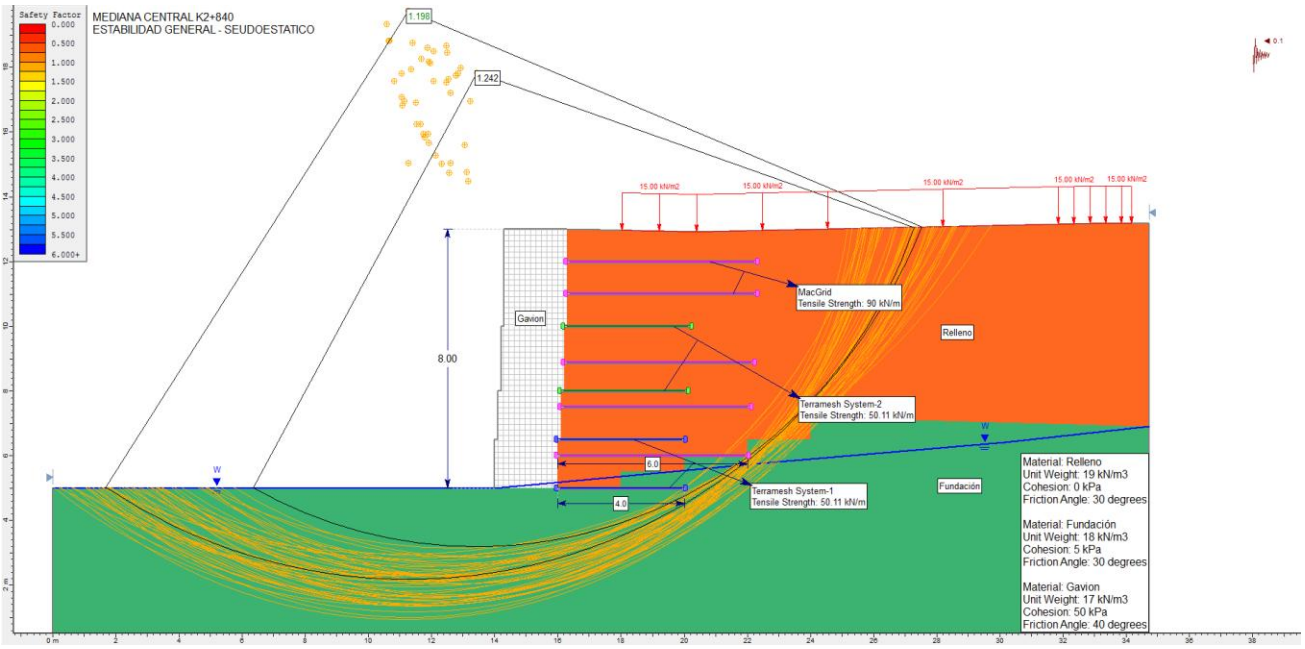

Figura 21 Resultados de estabilidad general – Mediana central. Condición seudoestatica

Luego de realizados los análisis de estabilidad general para la obra de contención propuesta en cada sector, se obtienen los factores de seguridad mostrados a continuación en la Tabla 5:

Tabla 8 Resumen de los FS obtenidos para los análisis de estabilidad global

Localización Muro Tipo		Obra implementada – estabilidad permanente				Cumple
Tramo	Abscisa	F.S. Estático		F.S. Seudoestático		
Eje Peatonal 1	K0+100 - K0+215	1.83	≥1.5	1.68	≥1.05	Si
Barranquilla - Santa Marta	K0+342 - K0+586	1.79		1.56		Si
Puerto - Santa Marta 1	K0+000 - K0+415	1.91		1.45		Si
Santa Marta - Barranquilla	K0+314 - K0+554	1.90		1.62		Si
Puerto - Santa Marta 2	K0+370 - K0+470	1.67		1.45		Si
Mediana central	K2+840 - K3+000	1.45		1.20		Si
Santa Marta - Puerto	K0+165 – K0+000	2.69		2.56		Si

7. DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS

Una vez realizados los análisis de estabilidad tanto global como local, se procede a definir la solución para cada sector en estudio, como se describe a continuación:

7.1 EJE PEATONAL 1: K0+163 – K0+210

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 7m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 60KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 6m de longitud, intercaladas con

bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 30KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 4m de longitud

7.2 BARRANQUILLA – SANTA MARTA: K0+412 – K0+582

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 10.5m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 60KN/m y se distribuirán a razón de 1.5Vx1.0Hm y de 12m de longitud, intercaladas con bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 40KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 7m de longitud

7.3 PUERTO – SANTA MARTA 1: K0+097.5 – K0+140.5

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 10m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 70KN/m y se distribuirán a razón de 1.5Vx1.5Hm y de 10m de longitud, intercaladas con bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 40KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 7m de longitud.

7.4 SANTA MARTA - BARRANQUILLA: K0+368.5 – K0+550

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 8m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 60KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 8m de longitud, intercaladas con bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 40KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 5m de longitud.

7.5 PUERTO - SANTA MARTA E2.5: K0+363.8 – K0+467.8

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 11m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 60KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 8m de longitud, intercaladas con bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 40KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 5m de longitud.

7.6 MEDIANA CENTRAL: K2+836.94 – K2+956.94

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 8m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 60KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 9m de longitud, intercaladas con bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 30KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 5m de longitud.

7.7 SANTA MARTA - PUERTO: K0+000 – K0+165

Para este sector se propone la construcción de un muro en suelo reforzado de 8.5m de altura, mediante la utilización de bandas poliméricas recubiertas de una funda de polipropileno, para dar protección y garantizar la interacción suelo-relleno, conectados al paramento mediante un sistema de conector + pasador.

Las bandas poliméricas deberán ser capaces de soportar una tensión de 70KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 10m de longitud, intercaladas con bandas poliméricas con una capacidad de soporte a la tensión de 40KN/m y se distribuirán a razón de 1.5x1.5m y de 7m de longitud.

8. CONCLUSIONES

- El presente informe corresponde al estudio para la construcción de las estructuras de aproximación al puente Pumarejo en los distintos tramos; en resumen las especificaciones para la construcción de los muros en suelo reforzado son:

  - Previo a la colocación de los rellenos, se deberán retirar rellenos heterogéneos compresibles, material de descapote y material orgánico detectado.
  - Los rellenos a utilizar deberán tener un peso unitario de 1.90 y ángulo de fricción interna ϕ de 30°
  - Para el reforzamiento de los suelos se utilizarán refuerzos horizontales poliméricos capaces de soportar tensiones entre 70Kn/m y 30KN/m, anclados a placas de hormigón prefabricadas que conforman el paramento del muro
  - A los muros en suelo reforzado se les debe proyectar "lloraderos" y filtros con geotextil NT 2100 o equivalente al respaldo para garantizar un adecuado drenaje de los rellenos
  - Los rellenos se deberán construir de manera previa respecto a la construcción de la superestructura del proyecto (precarga), con el fin de que se desarrollen las deformaciones estimadas a lo largo de la etapa de construcción.
  - Para las zonas de transición en donde se proyecten rellenos fuera de los muros de tierra armada se podrán contemplar taludes con inclinaciones de 1.5H:1.0V y se deberán realizar trabajos de empradización en las caras de dichos taludes con el propósito de evitar fenómenos erosivos en su superficie. El material de relleno a usar deberá cumplir los requisitos especificados en la norma INV 220.

- Los muros de acceso a construir para el Acceso Margen Derecha y el ramal Santa Marta – Puerto, se deberán cimentar sobre pilotes vibrados en concreto alternados con columnas de grava, con el fin de densificar el terreno, disminuir asentamientos y evitar posibilidad de licuación.

- Las inclusiones tendrán un diámetro no menor a 0.2m, con un espaciamiento entre ejes de 1.2m y su distribución entre filas será a tres-bolillo.
- La longitud de las columnas de grava y pilotes variará entre los 17.5 y 21.0m, llegando hasta el estrato E5 y cubriendo las profundidades en las que se ha identificado el potencial de licuación, para el acceso margen derecha y de 10m para el ranal santa marta – Puerto..
- Entre la cabeza de las inclusiones y el inicio del relleno se construirá un "colchón" drenante de un espesor mínimo de 0.5m y una pendiente transversal en la sección típica de 2-3%.
- Para el caso de las columnas de grava y del colchón drenante puede considerarse la banda de gradación AG-3 propuesta en la especificación 630 del Instituto Nacional de Vías; para los pilotes vibrados puede emplearse concreto clase F, de acuerdo con la especificación 630 del INV, con resistencia de 14 MPa.
- Estas obras de mejoramiento del suelo deberán adelantarse a lo largo de toda la superficie que cubra el relleno de acceso proyectado por la margen derecha, también en un sobre ancho lateral no menor a 2.5 m.
- El método constructivo para la colocación de las inclusiones tendrá que contemplar el uso de camisas metálicas recuperables con tapa de fondo que permita control de abertura durante la etapa de extracción, las cuales deberán hincarse y extraerse con el uso de martillo vibratorio de la capacidad requerida.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO 1: REGISTROS DE PERFORACIÓN

9.2 ANEXO2: RESULTADOS DE LABORATORIO

9.3 ANEXO3: PLANOS

9.4 ANEXO4: SOPORTE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

9.5 ANEXO5: ESPECIFICACIONES REFERENCIA