CONTRATO NO. S-CON-16-2024-X-0

“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”



Kawsus

CONSULTORÍA Y ASESORÍA

PROYECTO:

“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”

INFORME DE TALUDES

MAYO-2025

Cliente:	**PREFECTURA DEL GUAYAS**
Proyecto:	“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”
Documento:	KAW-PGY-INF-GEO-TLD-001
Título:	INFORME DE TALUDES

Preparó:	KAWSUS CIA LTDA.	
Preparó:	Ing. Mario Almache ESPECIALISTA GEOTÉCNICO Y PAVIMENTOS	Firmado electrónicamente por: LUIS MARIO ALMACHE SANCHEZ Validar únicamente con FirmaEC
Revisó	Ing. Danilo Bustos DIRECTOR DE PROYECTO	Firmado electrónicamente por: CRISTIAN DANILO BUSTOS CABRERA Validar únicamente con FirmaEC
Aprobó	Ing. Byron Chacha ADMINISTRADOR DE CONTRATO	Firmado electrónicamente por: BYRON RODRIGO CHACHA CABRERA Validar únicamente con FirmaEC

CONTROL DE CAMBIOS	
Rev. 00	
Rev. 00	

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. GENERALIDADES 6

1.1 Resumen 6

1.2 Antecedentes 6

1.3 Ubicación General 8

2. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS 10

2.1 Objetivo General 10

2.2 Objetivos Específicos 10

3. DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES 11

3.1 Trabajos realizados en campo 11

3.2 Ubicación y geometría de taludes 11

3.3 Propiedades geomecánicas 11

3.3.1 Parámetros geomecánicos taludes 12

3.3.1.1 Talud 1 Abscisa 12

3.4 Estabilidad de taludes 14

3.5 Análisis dinámico de taludes 16

3.6 Factor sísmico 16

3.7 Perfil del suelo 17

3.8 Determinación del tipo de suelo 19

3.9 Cálculo de coeficiente de aceleración sísmica 19

3.10 Método de equilibrio límite 20

3.11 Resultados de estabilidad de taludes 20

3.11.1 Caracterización Geomecánica y Análisis Cinemático De Macizos Rocosos 21

3.11.1.1 Análisis talud abscisa 1, 5+980 22

3.11.1.2 Tabla resumen factores de seguridad en suelo 24

4. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EXCAVACIÓN EN ROCA 25

5. RESUMEN DE CANTIDADES DE OBRA 26

6. CONCLUSIONES 27

6.1 ESTABILIDAD DE TALUDES 27

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 29
8. ANEXOS 30
ANEXO 2.1 MODELACIÓN EN ROCA 30
ANEXO 2.2 MODELACIÓN EN SUELO 30
ANEXO 2.3 PLANOS 30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Ubicación general del proyecto 9
Figura 3-1: Esquema Estático - Método Morgenstern Price 14
Figura 3-2 Función Half - sine 15
Figura 3-3. Zonas sísmicas para Ecuador (NEC-15). 17
Figura 3-4 Ubicación de estaciones geomecánicas, Sector Dos Bocas 21
Figura 3-5. Condiciones estáticas talud 1 sin cambio de geometría, Fs= 1.541 22
Figura 3-6. Condiciones pseudoestáticas talud 1 sin cambio de geometría, Fs= 1.010 23
Figura 3-7. Condiciones estáticas talud 1 con cambio de geometría, Fs= 1.694 23
Figura 3-8 Condiciones pseudoestáticas talud 1 con cambio de geometría, Fs= 1.176 24
Figura 6-1 Configuración tipo talud de diseño en suelo 27
Figura 6-2 Geometría de diseño talud en suelo 27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Coordenadas inicio-fin vía 9
Tabla 3-1. Identificación de zonas críticas 11
Tabla 3-2. Propiedades geomecánicas de sitios críticos 12
Tabla 3-3 Número de golpes registrados en campo, durante el ensayo SPT – 8 12
Tabla 3-4 Parámetros geomecánicos correlacionados ensayo SPT 8 13
Tabla 3-5. Factores de seguridad según la NEC-15 16
Tabla 3-6. Factor Z en función de la zona sísmica adoptada (NEC-15) 17
Tabla 3-7. Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-15). 18

Tabla 3-8. Coeficiente de amplificación de suelo Fa en la zona de período corto (NEC-15). 19

Tabla 3-9. Coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 475 años. 20

Tabla 3-10: Estaciones geomecánicas 22

Tabla 3-11 Parámetros geomecánicos talud 1, abscisa 5+980 22

Tabla 3-12. Resultados factores de seguridad taludes en suelo 24

Tabla 5-1. Resumen cantidades, obras de estabilización. 26

Tabla 6-1. Resultados factores de seguridad taludes en suelo 28

1. GENERALIDADES

1.1 Resumen

El presente estudio geotécnico forma parte de los estudios y diseños definitivos de la vía Fátima-Villao-Límite Provincial, que incluye la construcción de puentes en el cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas. Este proyecto, impulsado por la Prefectura del Guayas, tiene como objetivo mejorar la conectividad entre comunidades rurales, facilitar el transporte de cosechas y garantizar la movilidad de los habitantes.

Para evaluar las condiciones del terreno y asegurar la estabilidad de las estructuras proyectadas, se realizaron ensayos de campo y laboratorio que incluyeron perforaciones, pruebas de penetración estándar (SPT), estudios sísmicos de refracción y análisis multicanal de ondas superficiales (MASW). Los resultados permitieron caracterizar las propiedades físico-mecánicas del suelo y definir los parámetros críticos para el diseño de cimentaciones.

En el capítulo 3 se añade el diseño de la estabilidad de taludes, se identificaron zonas críticas con alturas que varían entre 19 y 37 metros. Mediante análisis de equilibrio límite y modelaciones computacionales mediante software especializado, se verificó la estabilidad de estas pendientes tanto en condiciones estáticas como dinámicas, garantizando factores de seguridad adecuados según la normativa NEC-15.

En el capítulo 4 se aborda el diseño de muros de contención para la vía en diferente abscisas y muros de ala de las alcantarillas, en las cuales, se determinó los factores de seguridad a volcamiento, deslizamiento y capacidad portante.

En el capítulo 5 se aborda el diseño de cimentaciones para dos puentes, considerando propiedades geomecánicas del terreno y perfiles geológicos obtenidos mediante sondeos. Se determinaron soluciones de cimentación con pilotes de diversas longitudes para soportar las cargas estructurales para el puente 1 y 2

El capítulo 6 incluye el diseño de pavimento de la vía, en el cual, se realiza el cálculo mediante tres métodos, los mismo que son: diseño convencional, diseño con geosintéticos y diseño con suelo-cemento.

En el capítulo 7 se evaluaron fuentes de materiales para la construcción de pavimentos y estructuras complementarias, asegurando su idoneidad mediante ensayos conforme a las normativas ASTM y AASHTO. El informe concluye con recomendaciones técnicas que buscan garantizar la durabilidad y funcionalidad de las obras, así como mitigar riesgos geotécnicos durante la fase constructiva y operativa del proyecto.

El presente informe contiene 5 anexos formando un todo indisociable, en el capítulo 11 se detallan los anexos.

1.2 Antecedentes

En cumplimiento de las funciones, competencias del gobierno autónomo descentralizado provincial y en alineación con objetivos de desarrollo sostenible, con el Plan Nacional de desarrollo y con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, la Prefectura del Guayas, requiere realizar los *"ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO-LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS"* con el objetivo de facilitar

la conectividad entre los recintos, mejorar el transporte de las cosechas y asegurar la movilidad de los pobladores especialmente estudiantes.

Con Oficio OF. N° 149- ASOPAVET-2023, de fecha 02 de agosto de 2023, suscrito por representantes de la Asociación de Producción Agropecuaria Las Vegas Tecnológico (ASOPAVET), solicitan "construcción, él Mejoramiento y el mantenimiento del eje veranero desde paraíso de Villao (RIO) Hasta el Límite de Guayas Con Manabí (Recinto La Saiba, Recinto Culebrita), junto con los socios inspeccionando esta carretera veranera".

Con Memorando No. 2411-SG-GPG-2023, de fecha 08 de agosto de 2023, suscrito por el Ab. José Gálvez Valderrama, secretario general, remite al Coordinador General de Infraestructura, Ing. José Tenelema Chenche, la solicitud de informe técnico de la carretera Pedro Carbo – Manabí – Santa Elena.

Con Memorando No. 0031-DPEF-MAA-2023, de fecha 21 de agosto del 2023, suscrito por la Ing. Melanie Álvarez Alvarado, Analista senior Hidráulico – Hidrólogo, en el cual informa al Ing. Marco Chimborazo Angulo, Subdirector de Planificación de Estudios y Proyectos (E), Informe técnico sobre el estado actual de la carretera Pedro Carbo – Manabí (Fátima – Villao – Limite Provincial).

Con estas premisas la prefectura del Guayas, mediante concurso público a través del proceso CPC-PG-2023-002 subido al portal de compras públicas adjudica a KAWSUS CÍA. LTDA mediante contrato No. S-CON-16-2024-X-0 la ejecución de consultoría que se compone de los siguiente entregables:

- Informe Ejecutivo
- Estudio Topográfico
- Diseño Geométrico
- Estudio de Tráfico y Proyecciones
- Estudio Geotécnico
- Informe de Estudios y Suelo
- Diseño Estructural
- Estudio de Hidrología e Hidráulica
- Componente Ambiental
- Estudio de Seguridad y Señalización Vial
- Estudio socio económico
- Informe de expropiaciones
- Informe de mantenimiento vial, preventivo y rutinario
- Informe eléctrico
- Presupuesto de Obra

En los anexos de los Términos de Referencia, **capítulo 7. FUENTES DE MATERIALES** de la consultoría *"ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-*

VILLAO-LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS", se establece los trabajos en campo laboratorio y gabinete, además de las normas necesarias para establecer las características físico-mecánicas del material de las fuentes.

Para cumplir el objeto del contrato, como parte de los estudios viales que contempla la consultoría, se ejecutaron ensayos de índole geotécnica de diferentes fuentes de materiales; entre los ensayos ejecutados constan: Porcentaje que pasa el tamiz #200, Contenido de humedad, Análisis granulométrico, Límites de consistencia, Proctor, CBR, Clasificación de suelos SUCS, Abrasión de los Ángeles en base a las normas ASTM D-1140, ASTM D-2216, ASTM D-421/ASTM D-422, ASTM D-4318, ASTM D-698/ ASTM D-1557, ASTM D-1883, ASTM D-2487 y ASTM C-131 respectivamente.

1.3 Ubicación General

El proyecto *"ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO-LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS"* geográficamente se encuentra ubicado en la

provincia del Guayas, cantón Pedro Carbo, parroquia Pedro Carbo tiene una longitud aproximada de 21 km iniciando desde el poblado cercano Fátima hasta el poblado de Las Vegas.

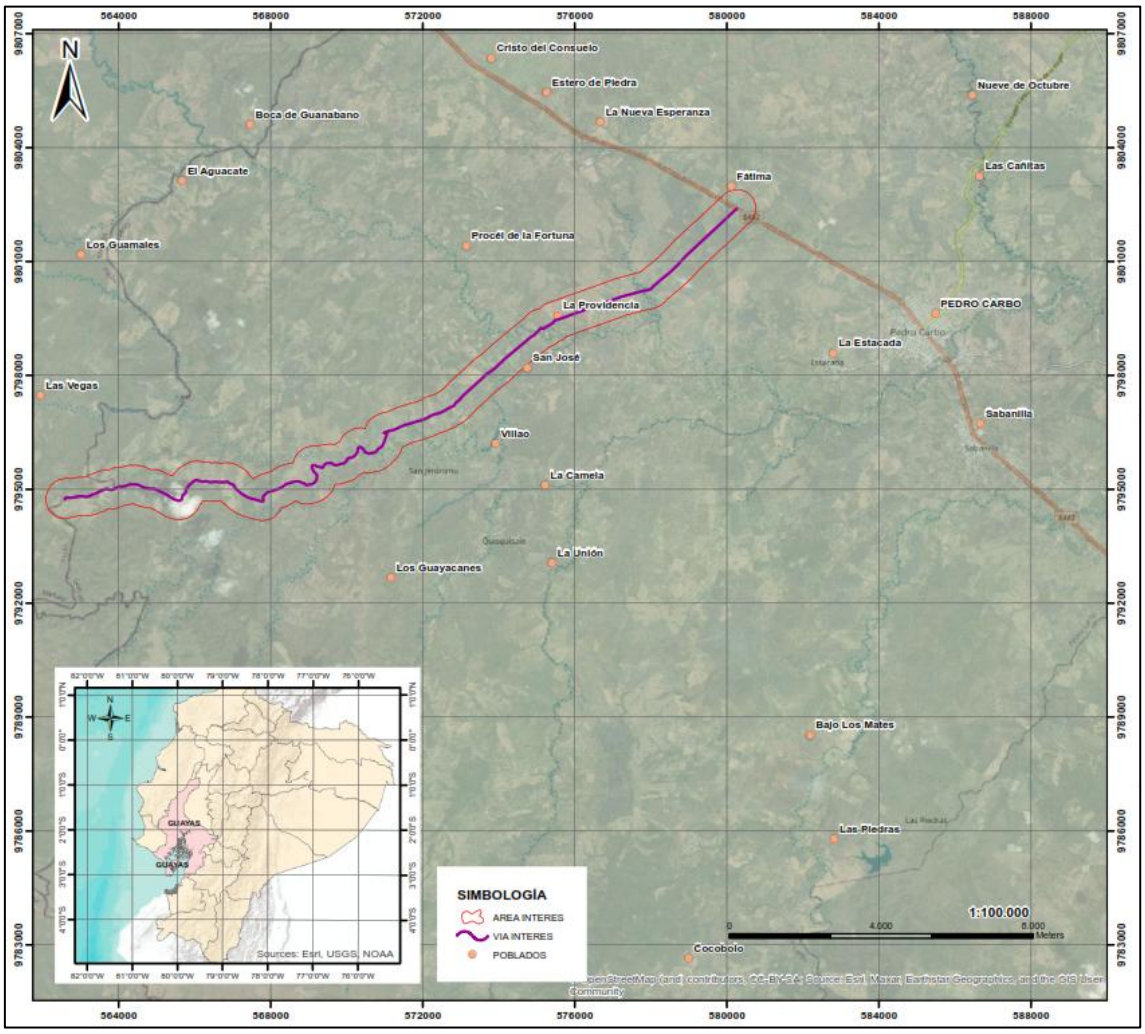


Figura 1-1 Ubicación general del proyecto

Tabla 1-1 Coordenadas inicio-fin vía

Sistema de coordenadas UTM WGS84 17S			
Punto	**Este**	**Norte**	**Poblado**
Inicio	580261	9802389	Fátima
Fin	562585	9794729	Las Vegas

2. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.

2.1 Objetivo General

Evaluar las condiciones geotécnicas del terreno a lo largo del trazado de la vía, con el fin de verificar el diseño y eficiente de puentes, taludes y cualquier otra obra geotécnica, garantizando la estabilidad y durabilidad de las estructuras proyectadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir pendientes de corte o relleno de todos los taludes y rellenos que se podrían generar en el proyecto.
- Establecer los parámetros geomecánicos para el diseño de taludes en suelo y roca
- Identificar las zonas inestables como sitios críticos para de esta manera definir el modelo geotécnico.
- Realizar el análisis de Estabilidad de Taludes para de esta forma proceder con el diseño de corte o relleno para mantener la estabilidad de la vía y escombreras.

3. DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

3.1 Trabajos realizados en campo

Con la finalidad de determinar las características geotécnicas para los taludes más críticos a intervenir en la etapa de diseño, se realizaron los siguientes ensayos cuyos resultados están en el informe de caracterización geotécnica.

- Sísmica de refracción
- Triaxial UU
- SPT
- Clasificación de suelo
- Compresión simple en roca
- Peso específico

3.2 Ubicación y geometría de taludes

A lo largo de la vía se han identificado 4 zonas con cortes que generan taludes con alturas considerables que van desde los 19 m hasta los 37m, la pendiente proyectada para los taludes es H:0.75 V:1 la cual se va a verificar en el presente informe, a continuación, se presenta la ubicación de los sitios críticos a analizar.

Tabla 3-1. Identificación de zonas críticas

DESCRIPCIÓN	ABSCISA	MARGEN
Talud 1	5+990	Derecho

3.3 Propiedades geomecánicas

Para cada uno de los sitios críticos se ha recopilado los parámetros geotécnicos necesarios para el análisis de estabilidad los cuales son

- Densidad
- Espesor de la capa
- Angulo de fricción
- Cohesión o cohesión no drenado según el caso

En el caso del talud 1 y 2 se han identificado la potencia de los estratos y las propiedades del suelo en base al ensayo geofísico LS 3-1. Para el diseño de los taludes se ha considerados los ensayos SPT 8, 20, 21, 22, y 23 respectivamente. En la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros geotécnicos usados para el análisis de estabilidad.

Tabla 3-2. Propiedades geomecánicas de sitios críticos

UBICACIÓN	ENSAYO	Litoestratigrafía	Peso específico (g/cm3)	Parámetros efectivos		Parámetros totales
				c' (kPa)	φº	Cu (kPa)
TALUD 1	SPT 8 (Triaxial UU)	Estrato 1: Arenas limosas	1.81	14.71	29	-
	SPT 8	Estrato 2: Arcillas limosas mediana a alta consistencia	1.81	-	-	131.52

3.3.1 Parámetros geomecánicos taludes

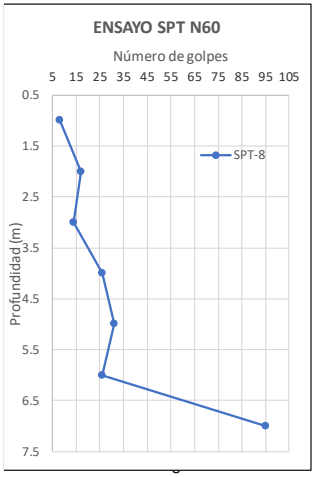
3.3.1.1 Talud 1 Abscisa

Las propiedades geomecánicas para el análisis del talud 1 fueron considerados del SPT 8, mediante el ensayo triaxial UU para el estrato 1 y para el estrato 2 el número de golpes.

Tabla 3-3 Número de golpes registrados en campo, durante el ensayo SPT – 8

Profundidad de exploración ensayo SPT – 8 (m)	Número de golpes en función de la profundidad (cm)			Descripción visual y al tacto
	0.00 - 0.15	0.15 - 0.30	0.30 - 0.45	
0.50m a 1.00m	4	4	6	Arenas finas sueltas, expone baja humedad, y baja plasticidad, y de tonalidad amarillenta.
1.50m a 2.00 m	7	9	13	Arenas finas y limos poco húmedos, material de baja plasticidad, suelto, y susceptible y de tonalidad amarillo.
2.50m a 3.00 m	6	9	10	
3.50m a 4.00 m	11	14	20	Arenas limosas de mediana a alta consistencia, material poco resistente y susceptible, expone baja humedad.
4.50m a 5.00 m	10	15	21	
5.50m a 6.00 m	10	13	18	Arcillas limosas de mediana a alta consistencia, tonalidad amarillenta.
6.50m a 7.00 m	60 R(13)			Materiales altamente consolidados, material muy resistente y de baja humedad.

Tabla 3-4 Parámetros geomecánicos correlacionados ensayo SPT 8



COTA ALTITUDINAL PROMEDIO		m.s.n.m	80	CORRELACIONES GEOTÉCNICAS DE MATERIALES EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES EN LA PERFORACIÓN											
FLUJO DE AGUA															
COORDENADAS DE ENSAYO		X	575297												
		Y	9799382												
TIPO DE SUELO		cohesivo								Cohesivo					
Profundidad (m)	SPT-8			N		Factores de corrección		N60	N1,60	Abacos B.K.Hough	Se (mm)	Módulo Elástico (kg/cm2)-Bowles	Sivrikaya & Togrol (2002)	Stroud (1974)	TENDENCIA
	0 - 15	15 - 30	30 - 45		CN	ηH, ηB, ηS	ηR			qadm (kg/cm3			Cu (kg/cm2)	Cu (kg/cm2)	Cu (kg/cm2)
0.00 - 0.45															
0.50 - 1.00	4	4	6	10	2.46	1	0.75	8	18	1.50	22.10	24.47	0.27	0.29	0.28
1.50 - 2.00	7	9	13	22	1.74	1	0.75	17	29	2.70	14.98	52.01	0.58	0.61	0.59
2.50 - 3.00	6	9	10	19	1.42	1	0.75	14	20	2.40	13.47	42.83	0.48	0.50	0.49
3.50 - 4.00	11	14	20	34	1.23	1	0.75	26	31	3.60	9.33	79.54	0.89	0.93	0.91
4.50 - 5.00	10	15	21	36	1.10	1	0.85	31	34	4.10	7.79	94.83	1.06	1.11	1.08
5.50 - 6.00	10	13	18	31	1.01	1	0.85	26	26	3.60	7.25	79.54	0.89	0.93	0.91
6.5 - 7.00		50	50	100	0.93	1	0.95	95	88	6.25	3.10	290.62	3.25	3.39	3.32
7.50 - 8.00															

3.4 Estabilidad de taludes

En el trazado vial se presentan taludes en donde se vuelve imperante realizar la verificación de su estabilidad, así como su comportamiento durante su servicio, es por eso que es necesario realizar los análisis geotécnicos necesarios para asegurar que las características de los mismos cumplan con las normativas vigentes.

Existen varios métodos para evaluar la estabilidad en los taludes que permiten estimar el factor de seguridad, uno de ellos es el método de equilibrio límite en el que básicamente se busca equilibrar el polígono de fuerzas que actúan en cada dovela de la masa de suelo inestable. Las fuerzas normales y de corte actúan tanto en la base como en los lados de las dovelas.

Para el análisis de estabilidad global se utilizó el método de equilibrio límite de Morgenstern – Price (1965), tanto en los momentos como las fuerzas normales entre las dovelas, por lo tanto, satisface los momentos y las fuerzas de equilibrio actuantes.

Los métodos de Equilibrio Límite General de Morgenstern y Price están dados por la ecuación:

El método Morgenstern-Price es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente figura.

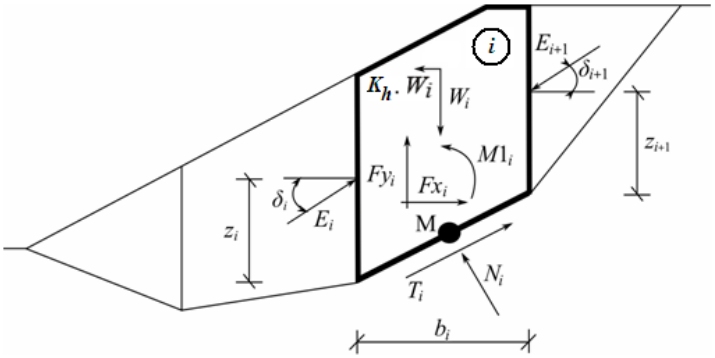


Figura 3-1: Esquema Estático - Método Morgenstern Price

Cada bloque se asume para contribuir a la misma fuera como en el método Spencer. Los siguientes supuestos se introducen en el método Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de las fuerzas y momento de los bloques individuales:

- Los planos divididos entre bloques son siempre verticales
- La línea de acción de peso del bloque Wi pasa por el centro del segmento ith de la superficie de deslizamiento representada por el punto M
- La fuerza normal Ni actúa en el centro del segmento ith de la superficie de deslizamiento, en el punto M
- La inclinación de las fuerzas Ei que actúan entre los bloques es diferente en cada bloque (δi) al punto extremo de la superficie de deslizamiento δ = 0

La única diferencia entre el método Spencer y el método Morgenstern-Price se ve en la lista de supuestos superior. La elección de los ángulos de inclinación δi de las fuerzas Ei actuando entre los bloques se realiza con la ayuda de la función Half-sine – una de las funciones en la siguiente figura es elegida en forma automática. La elección de la forma de la función tiene una influencia mínima en el resultado final, pero una elección adecuada puede mejorar la convergencia del método. El valor funcional de la función Half-sine f(xi) en el punto limite xi multiplicado por el parámetro λ da como resultado el valor de la inclinación del ángulo δi.

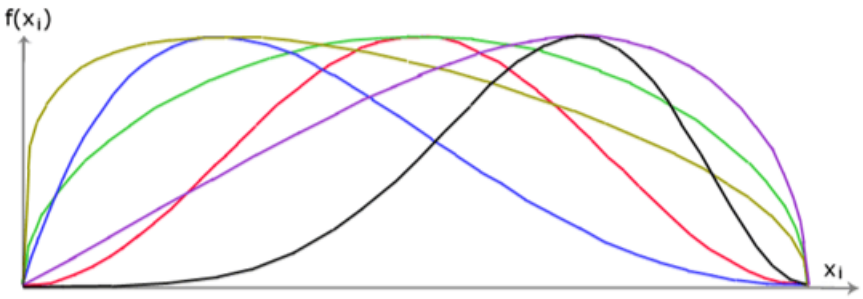


Figura 3-2 Función Half - sine

La solución adopta la misma forma de análisis de Spencer, no obstante, modificando las fuerzas se obtiene la siguiente formula recursiva.

$$E_{i+1} = \frac{[(W_i - Fy_i)\cos\alpha_i - (K_h W_i - Fx_i)\sin\alpha_i - U_i + E_i \sin(\alpha_i - \delta_i)]\frac{\tan\varphi_i}{FS}}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1})\frac{\tan\varphi_i}{FS} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})}$$

Dicha formula recursiva sigue la ecuación de momento de equilibrio como:

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2}[E_{i+1}(\sin\delta_{i+1} - \cos\delta_{i+1}\tan\alpha_i) + E_i(\sin\delta_i - \cos\delta_i\tan\alpha)] + E_i z_i \cos\delta_i - M1_i + K_h W_i(y_M - y_{gi})}{E_{i+1}\cos\delta_{i+1}}$$

El factor de seguridad SF es determinado empleando el siguiente proceso de interacción:

1. Los valores iniciales de los ángulos δ_i se determinan según la función Half-sine ($\delta_i = \lambda * f(x_i)$).

2. El factor de seguridad SF para los valores dados de δ_i deduce de la ecuación, asumiendo el valor de $E_{n+1} = 0$ en el extremo de la superficie de deslizamiento.

3. El valor de δ_i está dado por la ecuación utilizando los valores de E_i determinados en el paso previo con el requisito de tener el momento en el último bloque igual a cero. Los valores funcionales de $f(x_i)$ son los mismos todo el tiempo durante la iteración, solo se itera el parámetro de λ. La ecuación no provee el valor de z_{n+1} ya que éste es igual a cero. Este valor se satisface con la ecuación de momento de equilibrio.

4. El paso 2 y 3 se repiten hasta que el valor de δ_i (parámetro λ) no cambia.

Tabla 3-5. Factores de seguridad según la NEC-15.

Condición	F.S Estático	F.S. Dinámico
Permanente o de larga duración (> 6 meses)	1.50	1.05
Temporal o de corta duración (< 6 meses)	1.30	1.00

Elaborado por: Equipo Técnico KAWSUS Cía. Ltda. 2024.
Fuente: NEC-SE-DS

De acuerdo a la NEC-15, para análisis de estabilidad global temporal se considera el 50% del sismo de diseño.

3.5 Análisis dinámico de taludes

Debido a que un gran número de fallas en taludes se han producido durante eventos sísmicos, es necesario realizar la evaluación de la capacidad de su estabilidad durante estos acontecimientos. Estos procesos complejos que se encuentran asociados con ondas sísmicas, así como con la resistencia dinámica de suelos y rocas, estos están incluidos en el mecanismo físico producido por el movimiento sísmico del talud.

3.6 Factor sísmico

A continuación, se presenta la determinación de los coeficientes sísmicos aplicables para el análisis pseudo-estático de los taludes de la vía, los coeficientes sísmicos a usarse se han determinado de acuerdo a lo dictado por la NEC-15 y la AASHTO LRFD 2017.

La fuerza pseudo-estática que actúa sobre el talud es el producto entre el coeficiente sísmico y del peso de la masa analizada, acorde a la NEC-SE-GC la demanda sísmica será del 60%. La NEC-15 presenta los valores de intensidad mediante un mapa de contornos para un periodo de retorno de 475 años, que corresponde al sismo de diseño para estructuras convencionales, así como, curvas de peligro sísmico para diferentes periodos de retorno.

Se presenta el mapa de aceleración máxima en roca expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, el sitio del estudio determinará una de las seis zonas que se presentan en el mapa, se considera un valor del factor de zona Z que es el valor esperado para el sismo de diseño, para el presente proyecto ubicado en la zona V se tiene que Z = PGA_{roca}=0.40g.

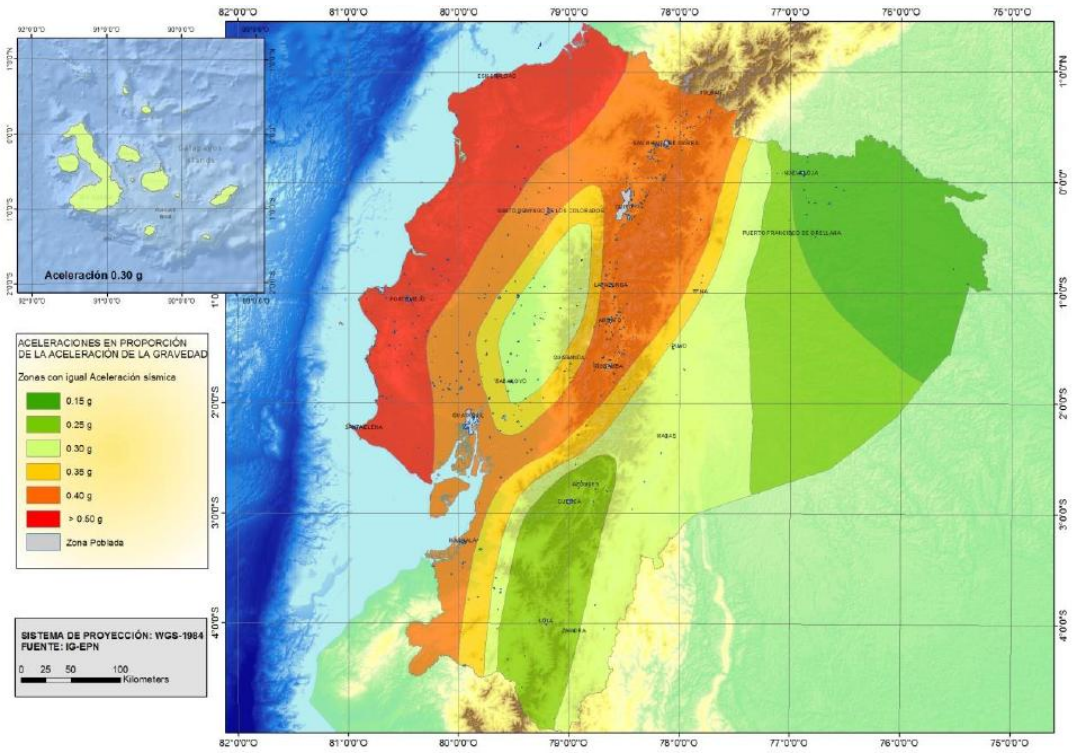


Figura 3-3. Zonas sísmicas para Ecuador (NEC-15).
Elaborado por: Equipo Técnico KAWSUS Cía. Ltda. 2024.
Fuente: NEC-SE-DS

Tabla 3-6. Factor Z en función de la zona sísmica adoptada (NEC-15)

Zona sísmica	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Elaborado por: Equipo Técnico KAWSUS Cía. Ltda. 2024.
Fuente: NEC-SE-DS

3.7 Perfil del suelo

La respuesta sísmica de la zona debe evaluarse en base a los perfiles del suelo, para esto los parámetros que se usan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30 m superiores del mismo son:

- Velocidad promedio de la onda de cortante en los 30 m superiores del perfil.
- Número medio de golpes del ensayo de penetración (N) a lo largo de todos los 30 m superiores del perfil.
- Índice de plasticidad (IP).
- Contenido de agua (W%).

En este caso con la información disponible se ha identificado un suelo tipo C en base al N en los 30 metros de profundidad que es 61 golpes

Tabla 3-7. Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-15).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\overline{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> \overline{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> \overline{V}_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\overline{N} \geq 50.0$ $\overline{S}_u \geq 100$ KPa (≈ 1 kgf/cm^2)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> \overline{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \overline{N} \geq 15.0$ 100 kPa (≈ 1 kgf/cm^2) $> \overline{S}_u \geq 50$ kPa ($\approx$0.5 kgf7cm^2)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$\overline{V}_s < 180$ m/s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w$\geq$ 40% $\overline{S}_u < 50$ kPa ($\approx$0.50 kfg7cm^2)
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases: **F1**—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. **F2**—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). **F3**—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75) **F4**—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m) **F5**—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte. **F6**—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Elaborado por: Equipo Técnico KAWSUS Cía. Ltda. 2024.
Fuente: NEC-SE-DS

Tabla 3-8. Coeficiente de amplificación de suelo Fa en la zona de período corto (NEC-15).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Elaborado por: Equipo Técnico KAWSUS Cía. Ltda. 2024.
Fuente: Fuente: NEC-SE-DS

3.8 Determinación del tipo de suelo

La zona de ubicación del estudio está ubicada en la Zona V que corresponde a una zona de peligrosidad sísmica alta, el valor de Z es de 0.40 para el período de retorno de 475 años, de los resultados de investigación en campo se tiene que el suelo es Tipo C, en base a estos 2 parámetros se define el factor de amplificación Fa de 1.2, una vez definidos los parámetros anteriores se calcula el PGA_{suelo} (aceleración máxima en la superficie):

Aceleración máxima en suelo

$$PGA_{suelo(Tr=475\ años)} = Z * Fa$$

$$PGA_{suelo(Tr=475\ años)} = 0.40g * 1.2$$

$$PGA_{suelo(Tr=475\ años)} = 0.48g$$

Aceleración máxima en roca

$$PGA_{suelo(Tr=475\ años)} = Z * Fa$$

$$PGA_{suelo(Tr=475\ años)} = 0.40g * 1$$

$$PGA_{suelo(Tr=475\ años)} = 0.40g$$

3.9 Cálculo de coeficiente de aceleración sísmica

Según lo que dicta la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 se tiene que la demanda sísmica para el análisis pseudo-estático para la estabilidad global es de un 60% de la aceleración máxima del terreno:

$$k_h = 0.6\ PGA_{suelo}$$

$$k_h = 0.6\ (a_{max})/g$$

Donde:

$$a_{max} = Z * F_a$$

Por lo tanto, reemplazando los valores analizados anteriormente, para el caso en estudio se tiene:

$$k_{hsuelo} = 0.6 * (0.48g)/g\ = 0.288$$

$$k_{h\,roca} = 0.6 * (0.40g)/g\ = 0.24$$

En el análisis temporal o de corta duración, es decir para períodos menores a seis meses (< 6 meses) se puede considerar el 50% del sismo de diseño.

De acuerdo a los ensayos geofísicos de los que se dispone se tiene que el suelo varía de tipo C a tipo D, sin embargo, para el análisis se ha considerado que el suelo es tipo D para suelo y tipo B para roca, tomando en cuenta la ubicación de los taludes a analizar.

Tabla 3-9. Coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 475 años.

Tipo de Suelo	**k_h (T_r=475 años)**	
	Suelo (Perfil tipo D)	**Roca (Perfil B)**
kh	0.288	0.24

3.10 Método de equilibrio límite

Este método es ampliamente usado, en donde el criterio de falla de Coulomb se considera como satisfecho a lo largo de una superficie de falla específica. Una forma de realizar este análisis es considerar la totalidad de la longitud de la superficie de falla dividiendo la superficie a deslizarse en dovelas. El análisis de un cuerpo libre en equilibrio se realiza a partir de las fuerzas actuantes y resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Una vez estimada la fuerza resistente, está es comparada con la que posee el suelo y así se obtiene el Factor de Seguridad.

Para el análisis se usó el método de equilibrio límite de Morgenstern – Price es importante realizar iteraciones sucesivas para alcanzar un buen grado de precisión.

3.11 Resultados de estabilidad de taludes

A continuación, se presentan los resultados del análisis de estabilidad para la configuración inicial de los taludes y las modificaciones planteadas para la mejora de su estabilidad.

3.11.1 Caracterización Geomecánica y Análisis Cinemático De Macizos Rocosos

El eje vial comprendido entre el sector Fátima-Villao-Límite Provincial, atraviesa distintas unidades litoestratigráficas, desde rocas volcánicas, secuencias sedimentarias, suelos residuales y suelos transportados

La caracterización geomecánica de los macizos rocosos se realizó en sectores aledaños al eje vial propuesto; principalmente en el Sector Dos Bocas donde los macizos rocosos se encuentran aflorando. Se ha levantado 16 estaciones geomecánicas (STG).

El análisis de los parámetros geomecánicos y cinemática de discontinuidades se enfoca en los cortes de talud, por lo que se toma como referencia las estaciones geomecánicas STG1, STG17 y STG18

.

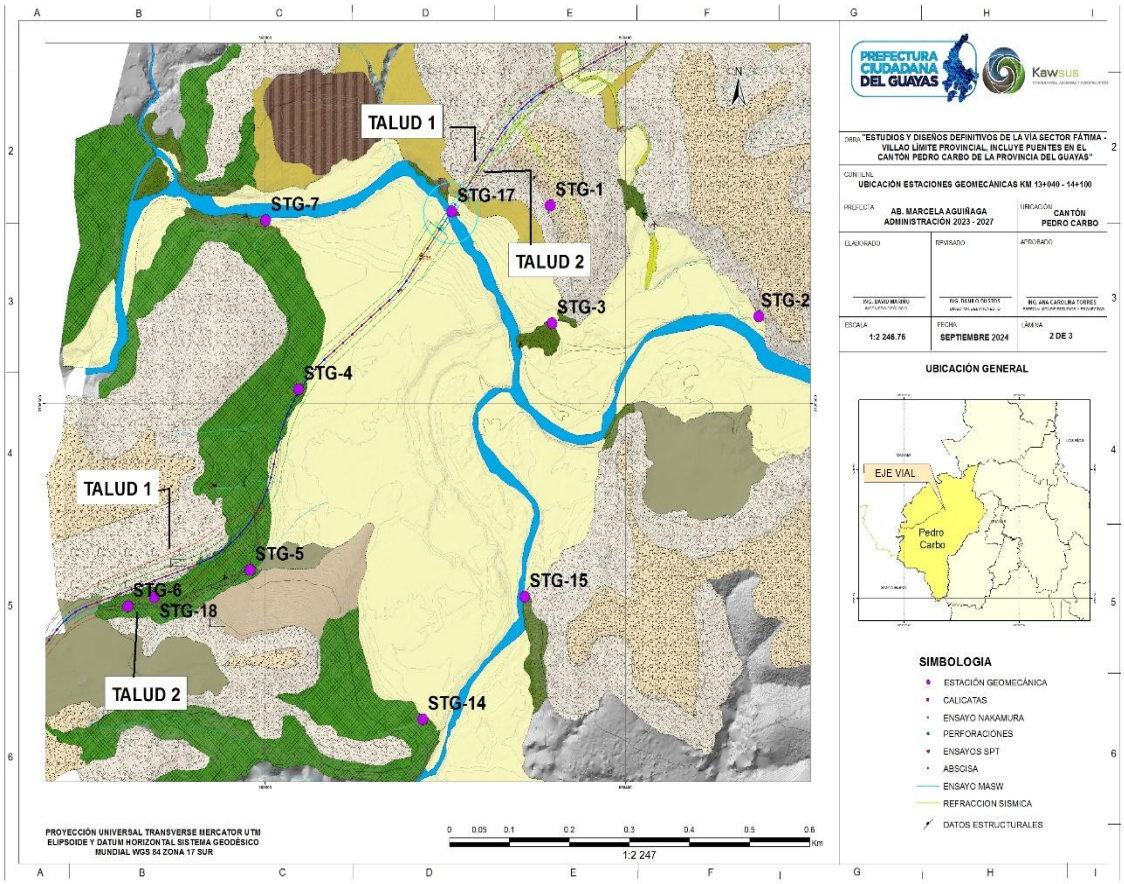


Figura 3-4 Ubicación de estaciones geomecánicas, Sector Dos Bocas

Coordenadas de estaciones geomecánicas

Tabla 3-10: Estaciones geomecánicas

ESTACIÓN GEOMECÁNICA	ESTE m	NORTE m	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	ESTE m	NORTE m	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	ESTE m	NORTE m
STG-1	569275	9795894	STG-7	568801	9795872	STG-13	562688	9794815
STG-2	569622	9795729	STG-8	568124	9795016	STG-14	569063	9795131
STG-3	569278	9795719	STG-9	567794	9794828	STG-15	569232	9795313
STG-4	568856	9795621	STG-10	565502	9794718	STG-16	569910	9795616
STG-5	568775	9795353	STG-11	564894	9794963	STG-17	569112	9795885
STG-6	568572	9795299	STG-12	562763	9794773	STG-18	568616	9795312

3.11.1.1 Análisis talud abscisa 1, 5+980

Tabla 3-11 Parámetros geomecánicos talud 1, abscisa 5+980

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Cohesion Type	Water Surface	Ru Value
ARENA LIMOSA		17.76	Mohr-Coulomb	14.71	29		None	0
Arcillas limosas, mediana a alta consistencia		17.76	Undrained	131.52		Constant	None	0

- **Verificación de la configuración inicial**

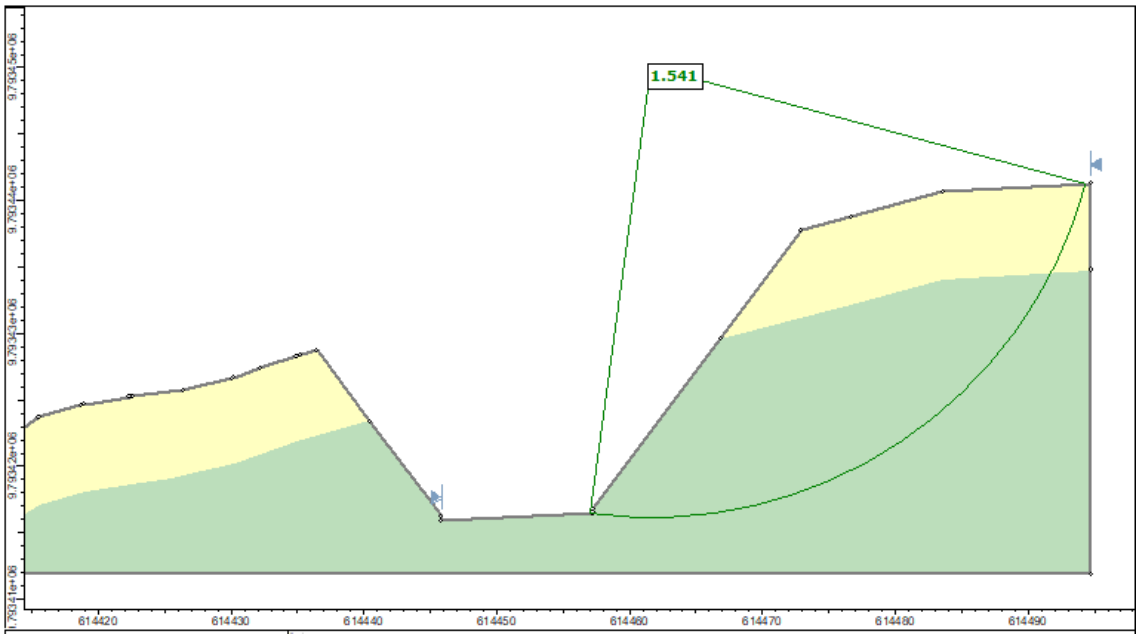


Figura 3-5. Condiciones estáticas talud 1 sin cambio de geometría, Fs= 1.541

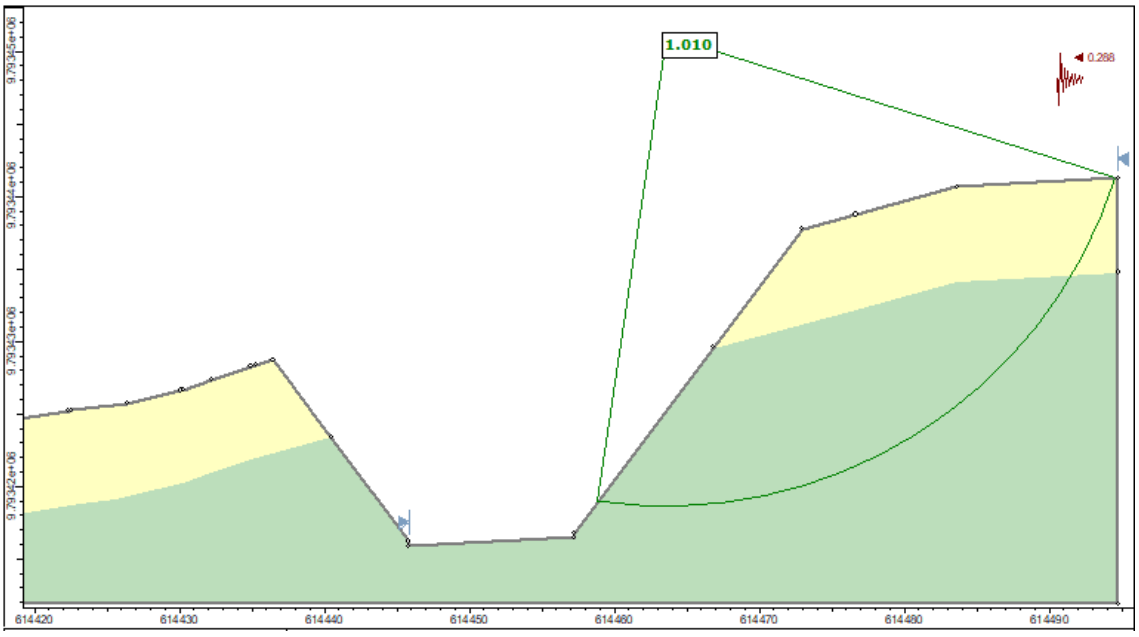


Figura 3-6. Condiciones pseudoestáticas talud 1 sin cambio de geometría, Fs= 1.010

- **Verificación de la configuración con cambio de geometría**

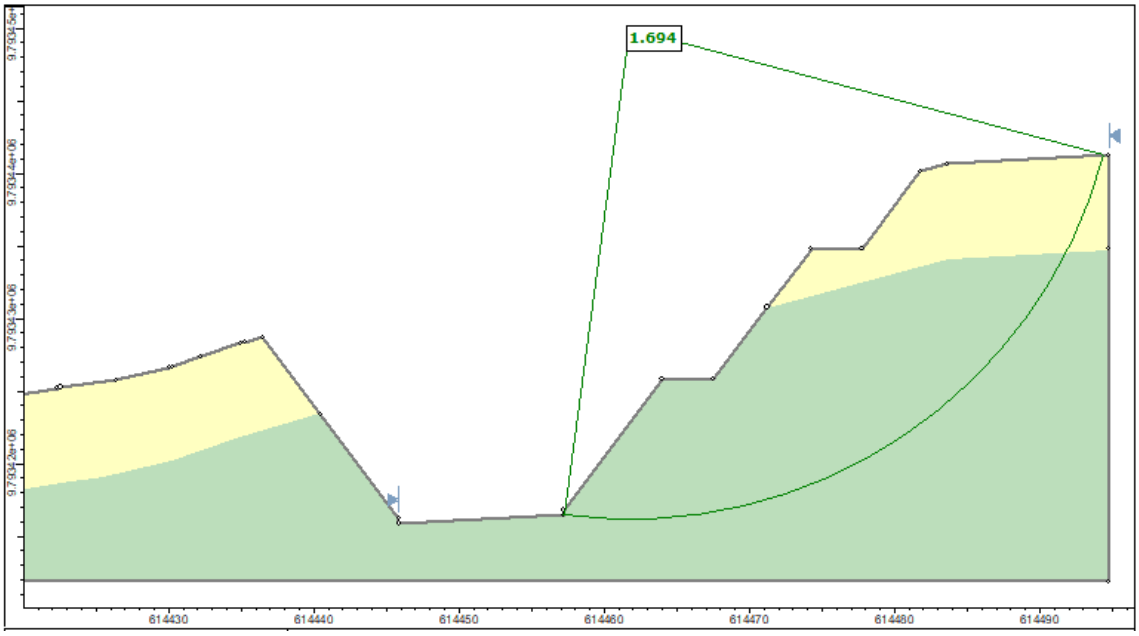


Figura 3-7. Condiciones estáticas talud 1 con cambio de geometría, Fs= 1.694

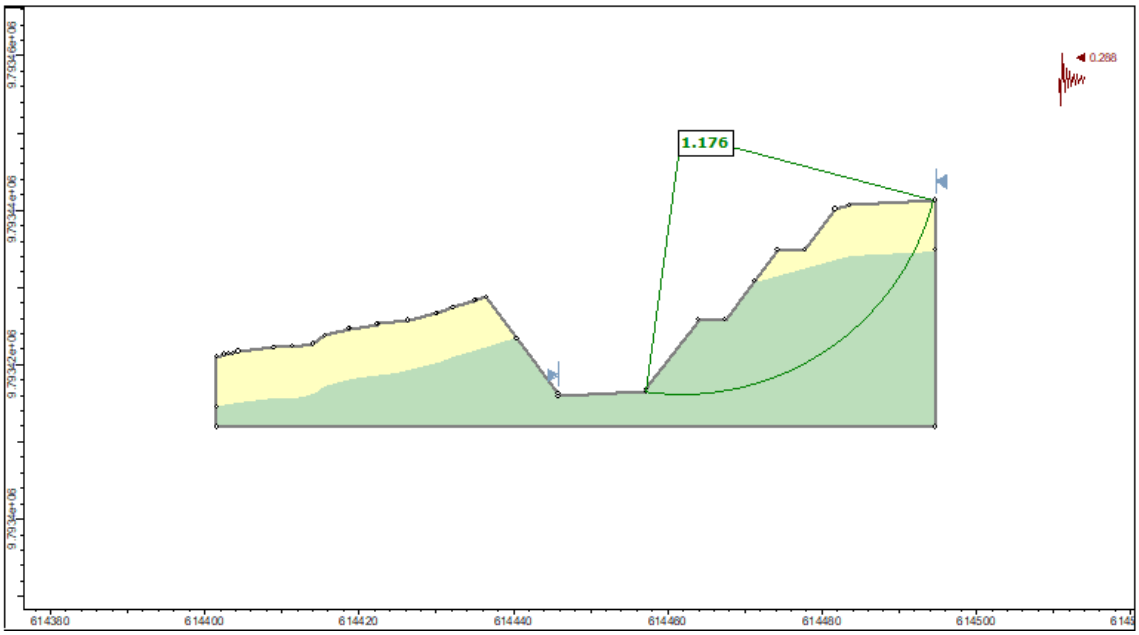


Figura 3-8 Condiciones pseudoestáticas talud 1 con cambio de geometría, Fs= 1.176

3.11.1.2 Tabla resumen factores de seguridad en suelo

En base a los análisis de estabilidad de taludes efectuados en las diferentes abscisas se obtuvo los resultados que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3-12. Resultados factores de seguridad taludes en suelo

Ubicación	Margen	Sin cambio de geometría		Cambio de Geometría	
		Fs estático	Fs pseudoestático	Fs estático	Fs pseudoestático
Talud 1 abscisa 5+990	Margen derecho	1.54	1.01	1.69	1.18

4. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EXCAVACIÓN EN ROCA

La excavación de masas de roca, depósitos estratificados o materiales con características de roca maciza o cementados tan sólidamente que no puedan ser removidos por medios convencionales, se realizará exclusivamente mediante el uso de explosivos. De acuerdo a la sección 303. Excavación y relleno, del libro de Especiaciones Técnicas para la construcción de caminos y puentes, MOP-001-F 2002, se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

Cuando sea necesaria la excavación de roca para llegar al nivel de subrasante y si no estuviere especificado en otra forma, el material clasificado como tal será excavado hasta una profundidad aproximada de 15 cm. bajo el nivel de la subrasante y en todo el ancho de la plataforma; esta excavación se rellenará con suelo seleccionado, a no ser que en los planos se indique otro procedimiento.

Antes del comienzo de cualquier excavación de roca, el Contratista deberá conseguir la aprobación del Fiscalizador de su programa de excavación, inclusive de los procedimientos a seguir en la voladura y en las medidas propuestas para la protección de la obra, los trabajadores, la propiedad ajena y el público en general. Deberán determinarse las operaciones de voladura requeridos dentro de una distancia de 80 m. de un puente, antes de comenzar la construcción de dicho puente.

El Contratista deberá llevar a cabo la voladura de roca de tal manera que evite en lo posible la rotura y aflojadura de la roca fuera de los límites de excavación fijados en los planos o por el Fiscalizador. Cualquier material fuera de dichos límites que se afloje debido a las operaciones de voladura, será removido por el Contratista a su propio costo, con la salvedad de lo estipulado en el párrafo "a" numeral 303-2.03 (MOP-001-F,2002). No se permitirá la voladura mediante la carga de túneles o galerías para la remoción masiva de roca, Tomar en cuenta subsección 303-2.02.7. Taludes.

Cuando esté especificado en el contrato o cuando lo ordene el Fiscalizador, el precorte y el resquebrajamiento previo se empleará en cortes de roca maciza. El precorte y el plano de resquebrajamiento deberá coincidir con las líneas y las inclinaciones de los taludes del proyecto. Las perforaciones del precorte que se localizarán en las iniciaciones del talud no se cargarán con explosivos, y las perforaciones para el resquebrajamiento previo serán espaciadas a una distancia máxima de 1 m. y tendrán un diámetro máximo de 7.5 cm., a menos que el Fiscalizador apruebe alguna variación. La profundidad máxima de las perforaciones será de 15 m. Las perforaciones para el resquebrajamiento previo serán cargadas de la manera recomendada por el fabricante de los explosivos utilizados y avalados por el Fiscalizador.

Las perforaciones para el resquebrajamiento previo serán detonadas antes de efectuar la explosión primaria dentro de la sección a ser excavada. En caso de ser necesario, el Contratista ajustará el espaciamiento y la carga de las perforaciones, a fin de que resulte un plano de ruptura uniforme en la roca.

El rubro de pago y designación será medido por cada metro cúbico de material removido, teniendo en cuenta la compensación total de la actividad ejecutada.

5. RESUMEN DE CANTIDADES DE OBRA

A continuación, se presentan el cálculo de cantidades de obra para la estabilización de los 5 taludes críticos presentados en este informe. Las principales actividades a realizarse son:

- Geomanto: El geomanto se colocará en todos los taludes para su protección, se diferencia 2 tipos de geomanto, un geomanto con accesorios para su fijación en la mayoría de las zonas y geomanto reforzado con malla doble torsión para las zonas donde se va a instalar pernos en roca (Talud 2 y 3), las cantidades de este componente han sido determinadas en el Software CIVIL 3D.

- Pernos en roca: Los pernos en roca se colocan en los taludes 2 y 3 en secciones especificas donde se presentan los cortes mas altos, la cantidad de pernos se ha determinado en función del área de la zona.

- Estructuras de drenaje: Se presentan sistemas de cunetas para el drenaje de los taludes, sin embargo, estas cantidades de obra no se presentan en este informe ya que se han considerado en el Producto 05 ESTUDIO HIDROLÓGICO HIDRÁULICO.

Tabla 5-1. Resumen cantidades, obras de estabilización.

RESUMEN DE CANTIDADES			
CODIGO	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**
1	**TALUD 1 ABSCISAS 5+930 - 6+060**		
1.1	GEOMANTO (INCLUYE ACCESORIOS)	m2	5736.97

6. CONCLUSIONES

6.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

- Los taludes de corte se realizaron en base a análisis de estabilidad mediante la aplicación del método de equilibrio límite y elementos finitos, lo cual contribuyó a una mejor estimación de la pendiente de corte.
- La geometría de diseño propuesta para los taludes en suelo ha sido definida conforme a criterios técnicos que consideran tanto la estabilidad global del talud como la factibilidad constructiva. Se establece una inclinación de H: 0.75, V: 1.00, acompañada de bermas intermedias de 3.5 metros **y una** altura vertical máxima de 9.00 metros, parámetros que permiten mantener condiciones de seguridad adecuadas frente a posibles mecanismos de falla. Además, se incorporan elementos de drenaje superficial, como cunetas de coronación, y se contempla el uso de geomantas, con el fin de prevenir procesos erosivos y favorecer el desempeño del talud en condiciones de operación prolongada.

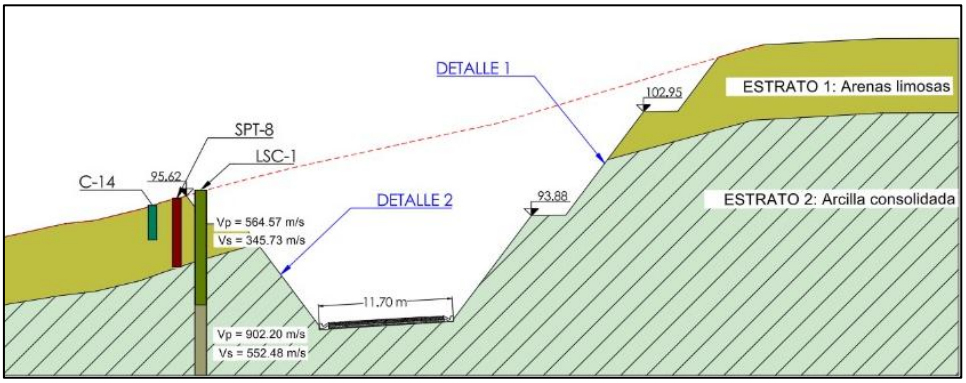


Figura 6-1 Configuración tipo talud de diseño en suelo

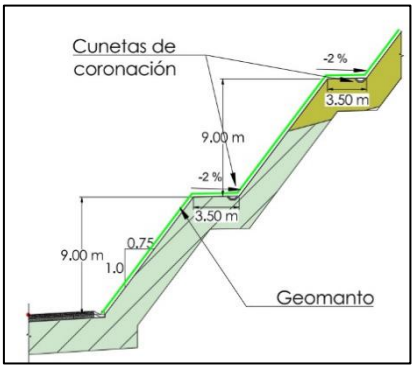


Figura 6-2 Geometría de diseño talud en suelo

- De acuerdo con los análisis efectuados en los taludes los factores de seguridad son mayores a los mínimos especificados por la NEC 2015, tanto para el caso estático como para el pseudo estático que son en el orden de fs_estático= 1.5 y fs_pseudoestático=1.05.

Tabla 6-1. Resultados factores de seguridad taludes en suelo

Ubicación	Margen	Sin cambio de geometría		Cambio de Geometría	
		Fs estático	Fs pseudoestático	Fs estático	Fs pseudoestático
Talud 1 abscisa 5+990	Margen derecho	1.54	1.01	1.69	1.18

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15).*
- *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (8th Edition, 2017)*
- *Braja M.: Principios de Ingeniería de Cimentaciones. THOMSON LEARNING, 594 (2001)*
- *Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1): 79–93.*
- *Ángeles, D. R. (2013). Compendio de GEOLOGÍA General. Lima: MACRO*
- *Duque, P., 2000. Breve léxico estratigráfico del Ecuador. Sistema de Información Geológica y Minera.*
- *Instituto de Investigación Geológico y Energético, 1975. Hoja Geológica Pedro Carbo a escala 1: 100 000*
- *Luzieux, L., 2007. Origin and late Cretaceous-Tertiary evolution of the Ecuadorian Forearc*
- *Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables & Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2019. Mapa geológico de la República del Ecuador 1: 1 000 000*
- *Ortiz, C.,2019. Caracterización sedimentológica de la Formación Guayaquil (Cretácico Medio- Paleógeno Inferior) en el Cerro Bellavista, Guayaquil-Ecuador*
- *Toaza, V., 2017. Estudio Hidrogeológico para la determinación del Acuífero Cañal común cantón Pedro Carbo, Provincia de Guayas.*
- *ASTM D 1856. Método Estandar de Ensayo de PENETRACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS CON CAÑA PARTIDA.*
- *ASTM D 6951. (2003). Estandar Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. ASTM International, West Conshohocken*
- *Braja M.: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, THOMSON LEARNING, 594 (1999).*
- *Bowles, J. (1982). Foundation analysis and design – International student edition, Third Edition. McGraw-Hill International Book Company, pp 130-159.*
- *Gonzales, A. (1999). Estimativos de parámetros de resistencia al corte con el SPT. X Jornadas Geotécnica de la Ingeniería Colombiana. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2009). Chile*
- *Hoek, E. and Bray, J. (1977). Rock Slope Engineering, 1 st edn, Inst. Minning and Metallurgy, London, UK.*
- *Hoek, E. and Bray, J. (2005). Rock Slope Engineering - Civil and Minning. Taylor & Francis e-Library, New York, NY 10016, pp 176-187.*
- *Hoek, E. and Brown, E. (1988). The Hoek -Brown failure criterion, a 1988 update. Proc. 15a Canadian Rock Mechanics Symposium. Univ. Toronto.*
- *L. I. G. d. Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño y C. Oteo, INGENIERÍA GEOLÓGICA, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, 2002.*
- *López, R. (2003). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires*

- *Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú. (2013). Manual de Carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Perú*
- *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). Capítulo V. Geotecnia y Cimentaciones*
- *Norma Ecuatoriana de Validad (NEVI, 2012).*
- *Nuñez Del Arco. GEOLOGÍA DEL ECUADOR. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 253, (2003)*
- *Patrone Y Prefumo. La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones. Métodos de prevención y control. Primeras Jornadas de Ingeniería de Cimentaciones. 2005*
- *PDOT. Cantón Cuenca 2018*
- *Prefectura del Azuay y CG Paute. Estudio e investigación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo en la Provincia del Azuay*
- *Programa de Financiamiento para Gestión de Riesgos Del Banco del Estado, 2010*
- *Prevención de desastres naturales en la cuenca del Paute, PRECUPA, Informe Final, marzo 1998*
- *SUAREZ, Jaime. Deslizamientos, ANÁLISIS GEOTÉCNICO, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. 582, (1998).*
- SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran, Iran, 2006.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (AASHTO). LRFD BRIDGE DESIGN ESPECIFICATIONS. Seventh Edition, U.S.A, 2014.
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). Design And Construction of Driven Pile Foundations, U.S.A, July 2016.
- National Earthquake Hazards Reduction Program.
- Science Applications International Corporation (2002)
- The Blue Ribbon Panel on Bridge and Tunnel Security (2003)

8. ANEXOS

ANEXO 2.1 MODELACIÓN EN ROCA

ANEXO 2.2 MODELACIÓN EN SUELO

ANEXO 2.3 PLANOS