



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Metodología de procesos que permita optimizar la resiliencia estática y dinámica en la conformación, control y monitoreo de terraplenes de relleno aplicado a corredores viales.

Casa Toctaguano, Tania Gissela; González Quezada, Axel Joel; Soria Vásquez, Erick Wladimir; Velásquez Jami, Diego Nicolás y Guachilema Puente, Mario Alejandro.

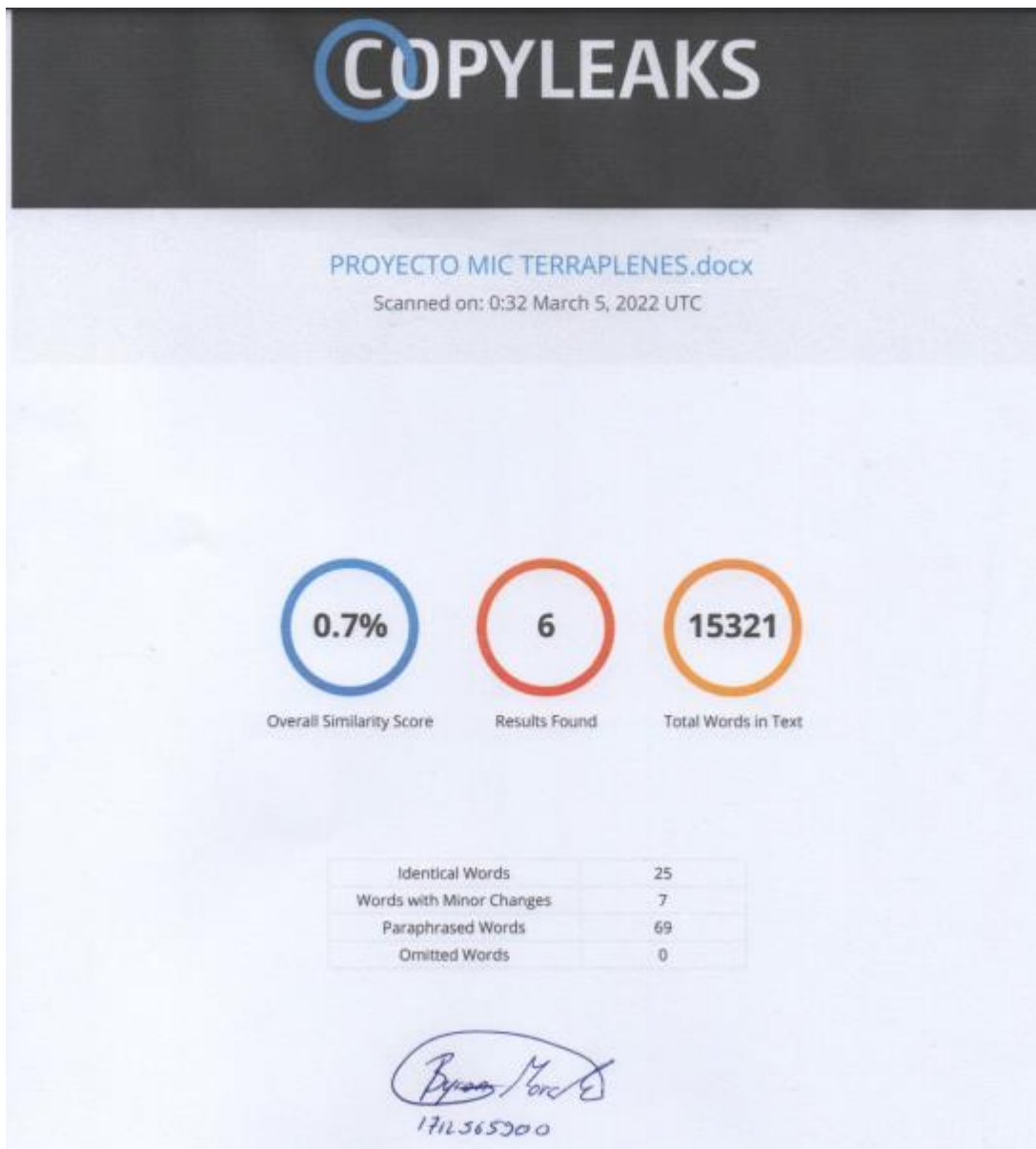
Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Morales Muñoz, Byron Omar

04 de marzo del 2022



Ing. Morales Muñoz, Byron Omar

C. C. 1712565900



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de integración curricular, “**Metodología de procesos que permita optimizar la resiliencia estática y dinámica en la conformación, control y monitoreo de terraplenes de relleno aplicado a corredores viales**” fue realizado por los señores **Casa Toctaguano, Tania Gissela; González Quezada, Axel Joel; Soria Vásquez, Erick Wladimir; Velásquez Jami, Diego Nicolás y Guachilema Puente, Mario Alejandro**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 4 de marzo de 2022

Firma:

Ing. Morales Muñoz, Byron Omar

C. C. 1712565900



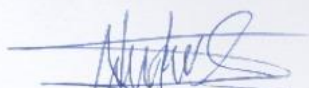
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN


CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL


RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, Casa Toctaguano, Tania Gissela; González Quezada, Axel Joel; Soria Vásquez, Erick Wladimir; Velásquez Jami, Diego Nicolás y Guachilema Puente, Mario Alejandro, con cédulas de ciudadanía N° 0504233958, 1720927860, 1004083125, 1720458528, 0604177006, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: “Metodología de procesos que permita optimizar la resiliencia estática y dinámica en la conformación, control y monitoreo de terraplenes de relleno aplicado a corredores viales”, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.


Sangolquí, 4 de marzo de 2022


Casa Toctaguano, Tania Gissela
C.C. 0504233958


González Quezada, Axel Joel
C.C. 1720927860


Soria Vásquez, Erick Wladimir
C.C. 1004083125


Velásquez Jami, Diego Nicolás
C.C. 1720458528


Guachilema Puente, Mario Alejandro
C.C. 0604177006

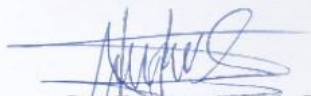



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN


Nosotros Casa Toctaguano, Tania Gissela; González Quezada, Axel Joel; Soria Vásquez, Erick Wladimir; Velásquez Jami, Diego Nicolás y Guachilema Puente, Mario Alejandro, con cédulas de ciudadanía N° 0504233958, 1720927860, 1004083125, 1720458528, 0604177006, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: : “Metodología de procesos que permita optimizar la resiliencia estática y dinámica en la conformación, control y monitoreo de terraplenes de relleno aplicado a corredores viales”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolqui, 4 de marzo de 2022


Casa Toctaguano, Tania Gissela
C.C. 0504233958


González Quezada, Axel Joel
C.C. 1720927860


Soria Vásquez, Erick Wladimir
C.C. 1004083125


Velásquez Jami, Diego Nicolás
C.C. 1720458528



Guachilema Puente, Mario Alejandro
C.C. 0604177006

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	6
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras	13
Resumen	21
Abstract	22
Capítulo I	23
Introducción	23
Antecedentes.....	24
Objetivos.....	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos	25
Capítulo II	26
Marco Teórico	26
Suelos.....	26
Definición	26
Origen y formación	26

Propiedades índice	26
Contenido de Humedad (w%).....	27
Relaciones de volumen.....	27
Granulometría.	28
Límite Líquido.....	30
Límite Plástico.....	31
Índice de Plasticidad.	31
Propiedades mecánicas	31
Ensayo CBR.....	31
Ensayo (DCP) - Cono Dinámico de Penetración.	33
Ensayo Proctor Modificado.....	35
Modelos Constitutivos de los Materiales.....	36
Elástico lineal.	36
Mohr-Coulomb.	36
Consolidación de Suelos.	39
Principio de las tensiones efectivas en el suelo.....	40
Conceptos Generales de un Terraplén.....	41
Partes de un terraplén	42
Coronación.....	42
Núcleo	42
Espaldón	42

Cimiento	42
Tipos de Terraplenes	43
Construidos en zonas llanas	43
Construidos en zonas montañosas	44
Terraplenes en zonas onduladas; entre zonas onduladas y montañosas	45
Terraplenes de sección abierta	45
Consideraciones de la realización de terraplenes.....	46
Acondicionamiento de la humedad	47
Colocación:.....	47
Requerimientos para el diseño de terraplenes.....	48
Metodología de diseño.....	48
Análisis de la Estabilidad.....	50
Equilibrio límite (método).....	50
Morgenstern y Price (método).....	51
Materiales	53
Características	53
Núcleo y cimiento de terraplenes	53
Coronación.....	54

Clasificación Vial	55
Consideraciones sísmicas	56
Evaluación de la sismicidad histórica.	58
Instrumentos Geotécnicos para el monitoreo y control de terraplenes.....	60
Inclinómetros.....	61
Equipo Piezométrico.....	62
Asentómetros.....	63
Capítulo III	66
Análisis de la Zona y Suelo de Estudio.....	66
Situación Geográfica	66
Caracterización de la Zona de Estudio.....	68
Tipo de Suelo.....	68
Geología, Geomorfología	70
Humedad y Temperatura.....	70
Diatomita.....	71
Caracterización de la Diatomita	71
Criterios de Dosificación.....	72

	10
Análisis e Interpretación de resultados de laboratorio.	73
Suelo Natural	73
Contenido de Humedad.	73
Límites de Atterberg.....	73
Análisis Granulométrico por Tamizado.....	74
Análisis Granulométrico por Hidrómetro.....	75
Relaciones Fundamentales.	76
Proctor Modificado.	76
Cono de Penetración Dinámica (DPC).....	77
Triaxial No Consolidado – No Drenado (U – U).	78
Capítulo IV.....	79
Evaluación de un terraplén de relleno del corredor vial E20.	79
Sección transversal.....	82
Uso de Software Académico.....	84
GeoStudio 2018 R2	85
Definición de la Geometría	85
Definición de los Materiales.....	86
Análisis Factor de Seguridad.....	87
Cálculo de la carga sísmica.....	88

	11
PLAXIS 2D -V20	92
Definición de la geometría.....	93
Propiedades de los materiales	95
Cargas.....	96
Tipos de análisis.	97
Interpretación de resultados para la sección actual.....	100
Capítulo V.....	105
Mejoramiento de un terraplén de relleno del corredor vial E20	105
Cambio de geometría	105
Mejoramiento de la subrasante con diatomita	110
Drenaje (Propuesta de Diseño de Muros de Gaviones Autodrenante).....	113
Datos para el diseño:.....	114
Geometría del muro:.....	114
Coeficiente de empuje activo:	115
Análisis de estabilidad:	116
Cálculo de las fuerzas actuantes en el muro de contención:	117
Capítulo VI.....	119

Elaboración guía de suministro e Instalación del Asentómetro	119
Principio de funcionamiento del asentómetro	119
Propuesta de elaboración y fabricación asentómetro.....	121
Materiales utilizados para la elaboración del asentómetro.....	121
Consideraciones iniciales antes de la instalación del equipo.....	132
Parámetros por medir y controlar con el Asentómetro.	132
Procedimiento de instalación y concesión del Asentómetro in situ.....	134
Presupuesto y costos del suministro e instalación del asentómetro.....	135
Capítulo VIII.....	140
Conclusiones y Recomendaciones	140
Conclusiones	140
Recomendaciones.....	141
Referencias	143
Anexos	147

Índice de Tablas

Tabla 1 Valores típicos de carga unitaria,	32
Tabla 2 Usos de suelo en base a No. CBR.	33
Tabla 3 Características de un material económico y aceptable.	54
Tabla 4 <i>Clasificación de las carreteras de acuerdo a la proyección de tráfico.</i>	55
Tabla 5 <i>Tipo de suelo y factores de sitio Fa.</i>	58
Tabla 6 <i>Aceleraciones máximas .</i>	59
Tabla 7 <i>Relieves característicos de la llanura costera.</i>	67
Tabla 8 <i>Contenido de Humedad Suelo Natural.</i>	73
Tabla 9 <i>Límite Plástico Suelo Natural.</i>	73
Tabla 10 <i>Límite Líquido Suelo Natural.</i>	74
Tabla 11 <i>Análisis Granulométrico por Tamizado Suelo Natural.</i>	74
Tabla 12 <i>Análisis Granulométrico por Hidrómetro Suelo Natural.</i>	75
Tabla 13 <i>Relaciones Fundamentales Suelo Natural.</i>	76
Tabla 14 <i>Ensayo de Compactación Suelo Natural.</i>	76
Tabla 15 <i>Triaxial U - U en Suelo Natural.</i>	78
Tabla 16 <i>Conteo vehicular de una hora en el lugar de estudio.</i>	80

Tabla 17 <i>Parámetros mecánicos de los materiales para Geostudio</i>	86
Tabla 18. <i>Parámetros mecánicos de los materiales para Plaxis</i>	95
Tabla 19 <i>Tabla de los pesos totales y los momentos resistentes</i>	114
Tabla 20 <i>Tabla de los pesos totales y los momentos resistentes</i>	114
Tabla 21 <i>Tabla de los pesos totales y los momentos resistentes</i>	116
Tabla 22 <i>Verificación de presiones</i>	119
Tabla 23 <i>Instalación de equipo de medición de asentamientos en terraplenes con perforación de auger</i>	135
Tabla 24 <i>Suministro de equipo de medición de asentamientos en terraplenes</i>	136
Tabla 25 <i>Monitoreo de equipo de medición de asentamientos en terraplenes</i>	138
Tabla 26 <i>Costos del suministro e instalación del equipo de medición de asentamientos</i>	139

Índice de Figuras

Figura 1 Curva Granulométrica.....	29
Figura 2 Curva de Fluidez.....	30
Figura 3 Esquema Cono Dinámico de Penetración.	34
Figura 4 Curva Humedad vs Densidad.....	35
Figura 5 Coeficiente - Poisson.....	37
Figura 6 Círculos de Mohr en rotura.....	38
Figura 7 Proceso de Consolidación.....	39
Figura 8 Curva de Consolidación.	40
Figura 9 <i>Terraplén</i>	41
Figura 10 Conformación del Terraplén.	43
Figura 11 <i>Terraplén construido en zonas llanas</i>	44
Figura 12 <i>Terraplén en zonas montañosas</i>	45
Figura 13 <i>Terraplén de sección abierta</i>	46
Figura 14 Perfil de un terraplén.	49
Figura 15 Representación de una sección de cálculo de un talud.	51
Figura 16 <i>Fuerzas actuantes en la N-ésima dovela</i>	52

Figura 17 <i>Sección típica</i>	56
Figura 18 <i>Ecuador, zona sísmica para propósitos de diseño - Factor Z</i>	57
Figura 19 <i>Zonas sísmicas del país, con sus intensidades máximas</i>	59
Figura 20 <i>Métodos de control y monitoreo de estructuras terreas</i>	61
Figura 21 <i>Sistema inclinométrico MEMS digital, cables inclinométricos, datalogger portatil archimede</i>	62
Figura 22 <i>Piezómetros de casagrande y de tubo abierto, sonda para medida de nivel de agua (wli), escalas hidrométricas</i>	62
Figura 23 <i>Extensómetro incremental t-rex instalado</i>	63
Figura 24 <i>Dispositivo fijo DEX, instalado en situ</i>	64
Figura 25 <i>Extenso- inclinómetro fijo DEX-S</i>	65
Figura 26 <i>Ubicación de los puntos del proyecto</i>	66
Figura 27 <i>Mapa General de Suelos del Ecuador</i>	69
Figura 28 <i>Mapas de Geología y Geomorfología del Ecuador</i>	70
Figura 29 <i>Mapas de Zonas de Humedad y Temperatura del Ecuador</i>	71
Figura 30 <i>Conteo del volumen de tráfico in situ</i>	79
Figura 31 <i>Mapa de ubicación de puntos de estudio</i>	81

Figura 32 <i>Sección tipo del terreno de 25 metros a ambos lados del eje vial, con el uso del Software AutoCAD 2021</i>	82
Figura 33 <i>Sección tipo del terreno de 100 metros a ambos lados del eje vial, con el uso del Software AutoCAD 2021</i>	82
Figura 34 <i>Curvas de nivel</i>	83
Figura 35 <i>Levantamiento de la sección transversal del terraplén</i>	84
Figura 36 <i>Base de datos de los 6 primeros puntos (de 30) utilizados para la modelación en el Software GeoStudio 2018 R2</i>	85
Figura 37 <i>Región de dominio del terraplén (Software GeoStudio 2018 R2)</i>	86
Figura 38 <i>Rango de superficie de deslizamiento (Software GeoStudio 2018 R2)</i>	88
Figura 39 <i>Plano de falla aplicando el sismo (Software GeoStudio 2018 R2)</i>	90
Figura 40 <i>Plano de falla en el terraplén (Software GeoStudio 2018 R2)</i>	90
Figura 41 <i>Plano de falla en el terraplén aplicando el sismo (Software GeoStudio 2018 R2)</i>	91
Figura 42 <i>Diagrama de flujo, modelación de la sección propuesta en PLAXIS</i>	92
Figura 43 <i>Definición de geometría de sección abierta (Software PLAXIS 2D – V20)</i>	94
Figura 44 <i>Definición de geometría del terraplén y de la vía (Software PLAXIS 2D – V20)</i>	94

Figura 45 <i>Definición de geometría y cargas del terraplén.</i>	96
Figura 46 <i>Mallado de la sección.</i>	97
Figura 47 <i>Análisis inicial.</i>	98
Figura 48 <i>Análisis factor de seguridad</i>	99
Figura 49 <i>Análisis elástico-plástico.</i>	99
Figura 50 <i>Superficie de falla en sección abierta.</i>	100
Figura 51 <i>Factor de seguridad.</i>	101
Figura 52 <i>Desplazamiento de los materiales después de colocar las cargas.</i>	101
Figura 53 <i>Esfuerzos efectivos.</i>	102
Figura 54 <i>Desplazamiento de los materiales de la estructura del pavimento y del terraplén.</i>	103
Figura 55 <i>Deformación máxima probable en el análisis elástico-plástico.</i>	104
Figura 56 <i>Desplazamientos verticales de los materiales.</i>	104
Figura 57 <i>Superficie de falla terraplén 4:1 en Geostudio.</i>	105
Figura 58 <i>Definición de las cargas sísmicas.</i>	106
Figura 59 <i>Superficie de falla de terraplén 4:1 considerando el sismo.</i>	107

Figura 60 <i>Desplazamiento de los materiales después de colocar las cargas (Software PLAXIS 2D – V20).</i>	107
Figura 61 <i>Factor de seguridad de terraplén 4:1 en PLAXIS V20.</i>	108
Figura 62 <i>Desplazamientos totales uy</i>	108
Figura 63 <i>Desplazamientos totales ux</i>	109
Figura 64 <i>Factor de seguridad utilizando material de mejoramiento con diatomita.</i>	110
Figura 65 <i>Superficie de falla considerando eventos sísmicos.</i>	110
Figura 66 <i>Deformaciones en el análisis de factor de seguridad.</i>	111
Figura 67 <i>Factor de seguridad en sección con material de mejoramiento.</i>	112
Figura 68 <i>Deformaciones en el análisis elástico-plástico.</i>	113
Figura 69 <i>Inspección de la falla del terraplén y la vía.</i>	113
Figura 70 <i>Propuesta de dimensiones para el muro de gaviones.</i>	115
Figura 71 <i>Deformaciones en el análisis elástico-plástico.</i>	116
Figura 72 <i>Asentómetro y sus dispositivos</i>	120
Figura 73 <i>Equipo de operación del asentómetro.</i>	122
Figura 74 <i>Techo, carcasa de protección del equipo de operación del asentómetro....</i>	122
Figura 75 <i>Pantalla LCD de 16x2.</i>	123

Figura 76 <i>Arduino</i>	124
Figura 77 <i>Batería de litio</i>	124
Figura 78 <i>Jumpers</i>	125
Figura 79 <i>Cable AWG 18</i>	125
Figura 80 <i>Sensores de medición del asentómetro</i>	126
Figura 81 <i>Carcasa de protección de sensores de medición del asentómetro</i>	127
Figura 82 <i>Sensor HC-SR</i>	128
Figura 83 <i>Araña con platinas de anclaje para las paredes del suelo</i>	128
Figura 84 <i>Instalación de la araña de anclaje en la profundidad del suelo</i>	129
Figura 85 <i>Tubería PVC 2 pulgadas</i>	130
Figura 86 <i>Tornillos y tuercas</i>	130
Figura 87 <i>Platina de acero</i>	131
Figura 88 <i>Medición de desplazamientos verticales (asentamientos) del suelo</i>	133
Figura 89 <i>Medición de desplazamientos verticales (asentamientos) del suelo</i>	133

Resumen

El presente trabajo se enfoca en realizar una metodología de procesos de ensayos, diseño, conformación, control y monitoreo de terraplenes en corredores viales, en especial, en las zonas de relleno; adicional, se incluye en la propuesta terraplenes en zonas de inundación.

En las condiciones actuales, los terraplenes de corredores viales evidencian una deformación progresiva, para lo cual se requiere proponer mezclas no convencionales de materiales cohesivos, con el propósito de mejorar el grado de compactación, lo que permitirá optimizar la resiliencia en condiciones de eventos sísmicos. Con base a lo anterior se llevará a cabo distintos escenarios de simulación en condiciones actuales y condiciones modificadas, mediante la interacción de presiones neutras, efectivas y totales, considerando eventos de cargas sísmicas, mismas que se prevén afectan al nivel de servicio en la infraestructura vial existente.

El producto entregable del proyecto establece la determinación de una dosificación adecuada de suelos calificados para rellenos, optimización de ensayos y tolerancias simulación en software académico en condiciones estáticas y dinámicas, así como el efecto residual de los materiales por condiciones de carga sísmica, adicional se plantea la elaboración de un asentómetro que propone una guía de instalación y suministro del equipo, que permite el control y monitoreo de asentamientos en terraplenes para custodiar su estado en tiempo real.

Palabras Claves:

- **TERRAPLENES**
- **DISEÑO**
- **RESILIENCIA**
- **ASENTÓMETRO**

Abstract

This work is focused on developing a methodology for testing processes, design, shaping, control and monitoring of embankments in road corridors, especially in backfill areas; additionally, the proposal includes embankments in flood zones.

In the current conditions, the embankments of road corridors show a progressive deformation, for which it is required to propose non-conventional mixtures of cohesive materials, with the purpose of improving the degree of compaction, which will allow optimizing the resilience in conditions of seismic events. Based on the above, different simulation scenarios will be carried out under current and modified conditions, through the interaction of neutral, effective and total pressures, considering seismic load events, which are expected to affect the level of service in the existing road infrastructure.

The deliverable product of the project establishes the determination of an adequate dosage of qualified soils for fills, optimization of tests and tolerances, simulation in academic software in static and dynamic conditions, as well as the residual effect of the materials due to seismic load conditions. In addition, the development of a settlement meter is proposed, which proposes a guide for installation and supply of the equipment, allowing the control and monitoring of settlements in embankments to monitor their status in real time.

Key words:

- **EMBANKMENTS**
- **DESIGN**
- **RESILIENCE**
- **SETTLEMENT METER**

Capítulo I

Introducción

A lo largo de la historia el ser humano ha buscado conectarse con otros a través de diferentes medios de comunicación, donde nace la necesidad de construir caminos como nexo entre aldeas y pueblos, conectándolos para que sirvieran como parte del desarrollo social e individual.

Las vías terrestres se han ido modificando y se ha buscado alternativas para innovar y desarrollar nuevos aspectos que suplan todas las necesidades que se van surgiendo para un buen desempeño tanto en su etapa de construcción y durante su vida útil, entre estas mejoras se han incorporado conceptos como el desarrollo de las pendientes requeridas para lograr velocidades acordes a los diseños proyectados, sin dejar de lado el aprovechamiento de tierras usando de manera prudente y optima el corte y relleno (terraplenes) en lo que se conoce como diagramas de masas, por lo que este estudio se ha convertido en un asunto de vital importancia para el desarrollo adecuado de la ingeniería vial.

El Ecuador actualmente presenta deficiencias de gran envergadura en sus vías terrestres, como asentamientos o fallas en terraplenes, ya que en algunas de estas carreteras la importancia que se le otorga al análisis, diseño y control de los terraplenes es en algunos casos escasa o nula.

En el presente documento en base a normativas y ensayos de laboratorio se busca dar solución a este problema que se presenta hoy en día, de esta manera con la información obtenida se realizará una descripción de la metodología con la conformación de terraplenes, desde los parámetros básicos que se debe tener de los materiales de relleno hasta su control una vez que esté puesto en obra.

Antecedentes

A lo largo de la historia los terraplenes se han ido modificando y con el paso de los años fueron cambiando. En un principio los terraplenes no obtenían la importancia que se merecían debido al desconocimiento existente sobre el tema, por esta razón los diseños utilizados solían ser deficientes, tomando como única consideración que se cumpliera el volumen requerido para un relleno proyectado, dejando a libre criterio el uso de cualquier material que se encontrara disponible, sin siquiera considerar tampoco su consolidación que se lo dejaba enteramente en manos del tiempo; causando así grandes falencias en la forma que se terminaban desempeñando las carreteras y las vías.

Las técnicas y métodos que se utilizaban hace un siglo y que se tenía al alcance para la construcción de los terraplenes, eran escasas e inclusive en algunos casos nulas; no fue hasta que llegaron los aportes de diversos científicos que se pudieron llenar los vacíos existentes, tales como los aportes de Charles Agustín de Coulomb con su tratado acerca del fracaso de los suelos (1773), el estrés de los suelos por William John Macquorn Rankie (1857) que junto al estudio de la permeabilidad de los suelos de Henry Philibert Gaspard Darcy (1856) se tuvo por primera vez una base sólida acerca de la cual apoyarse para definir el comportamiento de aquellos materiales, los cuales conformaban los suelos. Aunque no fue hasta el año de 1929 cuando Karl Von Terzaghi ayuda a la Mecánica de Suelos a dar un paso definitivo hacia el futuro al idear una metodología racional que haría posible la resolución de varios de los problemas existentes además de establecer una clasificación de suelos.

Con todo este nuevo conocimiento adquirido en esta etapa, se comprendió finalmente la importancia y la utilidad de las técnicas constructivas, las cuales se desarrollaron de tal manera que pasó de simplemente rellenar las vías y carreteras con cualquier material a poder realizar obras monumentales gracias a la excavación, el transporte, la compactación y el conocimiento

de los suelos. Otros parámetros que se han implementado al momento de considerar un buen diseño son la precipitación, acompañado de la misma un buen sistema de drenaje, sin dejar de lado la parte sísmica que, tiene un peso muy grande al momento de realizar cualquier tipo de obra de construcción.

Pero ese no es el final, ya que el trabajo del ingeniero civil no es únicamente la aplicación a raja tabla de las normas y procesos, si no, la mejora de los mismos y la implementación de nuevas maneras de perfeccionar y al mismo tiempo optimizar ya sea tanto en tiempo, como en coste, sin dejar nunca de lado la seguridad y el confort que la gente (usuarios) requieren.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una guía metodológica, que permita optimizar la resiliencia estática y dinámica de terraplenes de relleno en corredores viales.

Objetivos Específicos

Elaborar ensayos de laboratorio que permitan evaluar las características físicas y mecánicas que forman parte del cuerpo del terraplén.

Determinar parámetros de diseño, mediante modelación y simulación en software académico para mejorar el comportamiento del terraplén en condiciones estáticas y dinámicas.

Elaborar asentómetros para el monitoreo y control de terraplenes, mediante el uso de equipos e instrumentación de inteligencia artificial.

Capítulo II

Marco Teórico

Suelos

Definición

Los suelos, por lo general, se conforman por cuatro componentes, estos son: materia orgánica, materia mineral, agua y aire. A su vez, los componentes orgánicos y minerales se constituyen de pequeños fragmentos de roca y minerales de distintas clases, entre estas clases las partículas inorgánicas más relevantes son: grava, arena, arcilla y limo (Chicaiza Estévez & Oña Oña, 2018).

Origen y formación

El proceso de desintegración física y descomposición química en fragmentos más pequeños especialmente en la parte superficial, se lo conoce como intemperismo o proceso meteorizante, estos afectan a la corteza terrestre y de esta manera se forman materiales sin cementación o muy poco cementados de naturaleza y espesor variable (Crespo Villalaz, 2004).

Propiedades índice

Para conocer de una manera más precisa el tipo de suelo con el que se va a trabajar, es de vital importancia analizar o determinar sus características, tales como: propiedades índices, clasificación, resistencia a cargas o esfuerzos externos, comportamiento del mismo por acción del agua y límites relacionados a una fluctuación en su volumen.

Todo esto, para poder diseñar estructuras que se acoplen y trabajen de una mejor manera con los requerimientos que presenten cada uno de los tipos de suelo.

Contenido de Humedad (w%). Es una propiedad física del suelo que permite determinar existente entre el peso del agua de en un suelo y su peso seco, este valor se lo expresa a manera de porcentaje.

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Ecuación 1

Donde:

w = contenido de humedad, en %

Ww = Peso del suelo incluida el agua (g)

Ws = Peso de los sólidos en el suelo (g)

Relaciones de volumen. Las relaciones de volumen de uso común para las tres fases de un elemento de suelo son: *la relación de vacíos, la porosidad y el grado de saturación* (Braja, 2014).

La relación de vacíos (e) es el cociente entre volumen de vacíos y volumen de sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Ecuación 2

La *porosidad (n)* es la razón entre el volumen de vacíos y volumen total.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Ecuación 3

Grado de saturación (S) es el cociente entre los volúmenes de agua y vacíos.

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Ecuación 4

Granulometría. Nos permite determinar la cantidad y distintos tamaños de partículas que conforman la muestra de suelos, consiste en separar los materiales que conforman el suelo como grava, arena, limos y arcillas.

Los suelos con propiedades similares, en función de las características mecánicas pueden ser clasificados en una serie de grupos y subgrupos. Estos sistemas de clasificación brindan un lenguaje común para llevar a cabo dicha clasificación (Braja, 2014).

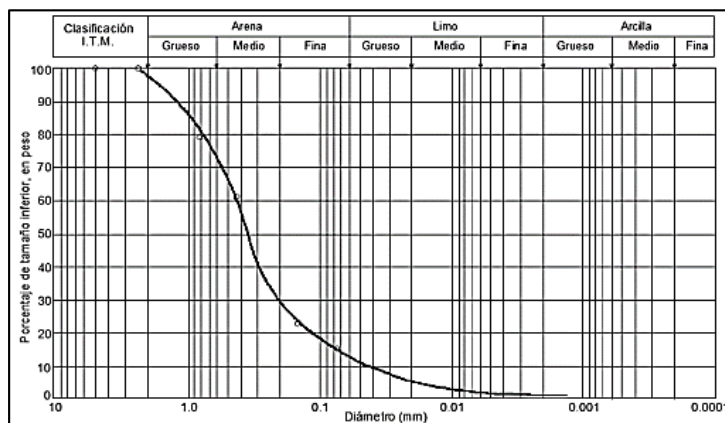
Hoy en día, para aplicaciones de ingeniería, existen dos sistemas de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos, uno es Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y otro es del American Association of State Highway Officials (AASHTO) (Braja, 2014).

Para realizar este análisis granulométrico, se utiliza una serie normalizada de tamices ordenados en función de sus aberturas de manera descendente, donde se toma básicamente una muestra representativa del suelo y, mediante cribado, se los agita y se toma el peso que queda retenido comparado con la muestra inicial.

El porcentaje de peso retenido en cada diámetro de tamiz, se representa mediante una curva de distribución granulométrica, tiene en el sentido horizontal (abscisas) en escala logarítmica el diámetro de abertura de cada malla y en sentido vertical (ordenadas) la proporción de pasante, la curva característica de granulometría se muestra en la figura 1

Figura 1

Curva Granulométrica.



Nota. Tomado de Fundamentos de Geotecnia, Braja M. Das

En base a la curva de distribución granulométrica, se pueden determinar parámetros que brindan información técnica del suelo como:

- **Diámetros Efectivo, equiparable y dimensional (D10, D30 y D60)**

Detallan el conjunto de partículas, expresado en mm, que representan al material pasante correspondiente al diez (10%), treinta (30%) y sesenta (60)% por ciento.

- **Coefficiente de Uniformidad (Cu)**

Permite conocer si la muestra de suelo es o no uniforme, es el cociente entre el Diámetro Dimensional (D60) y el Diámetro Efectivo (D10), cabe recalcar que esta relación al ser inversa, cuando Cu decrece la uniformidad aumenta.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 5

- **Coeficiente de Curvatura (Cc)**

Permite conocer la graduación del suelo, si el valor fluctúa entre 1 y 3 es bien gradado, caso contrario es uniformemente distribuido.

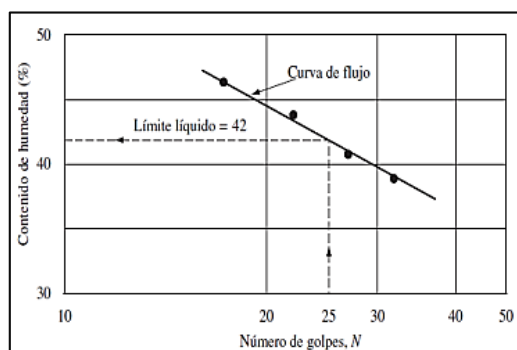
$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Límite Líquido. Es el valor fronterizo del contenido de humedad con el cual, el suelo pasa del estado semilíquido al plástico, se expresa como el porcentaje de agua con respecto al peso seco de la muestra.

Para su determinación, se debe recurrir a la curva de fluidez, en cuyo eje de las abscisas tiene al número de golpes en escala logarítmica y en el de las ordenadas al valor del contenido de humedad, el límite líquido será la intersección del contenido de humedad con ordenada de los 25 golpes, como se indica en la figura 2

Figura 2

Curva de Fluidez.



Nota. Tomado de Fundamentos de Geotecnia, Braja M. Das

Límite Plástico. Es el valor del contenido de humedad por debajo del cual un suelo adquiere un estado no plástico o semi sólido.

Este contenido de humedad promedio se lo determina enrollando muestras de 3mm de diámetro hasta el punto que las mismas se resquebrajen.

Índice de Plasticidad. Básicamente, es el valor que se produce al restar el límite líquido y plástico que, a su vez, indica la plasticidad con la que cuenta la muestra de suelo.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

LL = Límite líquido

LP = Límite Plástico

Propiedades mecánicas

Ensayo CBR. Calcula la resistencia al corte de un suelo que es sometido a condiciones intervenidas tanto de humedad como de densidad.

La relación entre la carga unitaria necesaria para lograr cierta profundidad del pistón en la muestra de suelo con condiciones intervenidas, y a la carga unitaria del patrón requerida para obtener una profundidad relativamente igual de penetración en un espécimen estándar de material triturado, permite calcular el valor de CBR (Bowles, 1981).

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100\% \quad \text{Ecuación 8}$$

A continuación, en la tabla 1, se presentan valores de típicos de carga unitaria a utilizarse dentro de la ecuación previa.

Tabla 1

Valores de típicos de carga unitaria.

Penetración		Carga Unitaria Patrón	
mm	pulgadas	Mpa	Psi
2,50	0,10	6,90	1.000
5,00	0,20	10,30	1.500
7,50	0,30	13,00	1.900
10,00	0,40	16,00	2.300
12,70	0,50	18,00	2.600

Nota. Tomado de (Bowles, 1981).

Otra de las bondades del ensayo es que permite establecer la resistencia y el comportamiento de los suelos que serán utilizados para subrasante, sub - base y base en función del tipo de suelo, como muestra la tabla 2.

Tabla 2

Usos de suelo en base a No. CBR.

No. CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Regular	Sub – base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 – 50	Bueno	Base, Sub - base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Nota. Tomado de (Bowles, 1981)

Ensayo (DCP) - Cono Dinámico de Penetración. Como se detalló previamente, para obtener el Valor de Soporte California (CBR) se requiere seguir un proceso relativamente complejo y además requiere bastante tiempo para lograr obtener el valor.

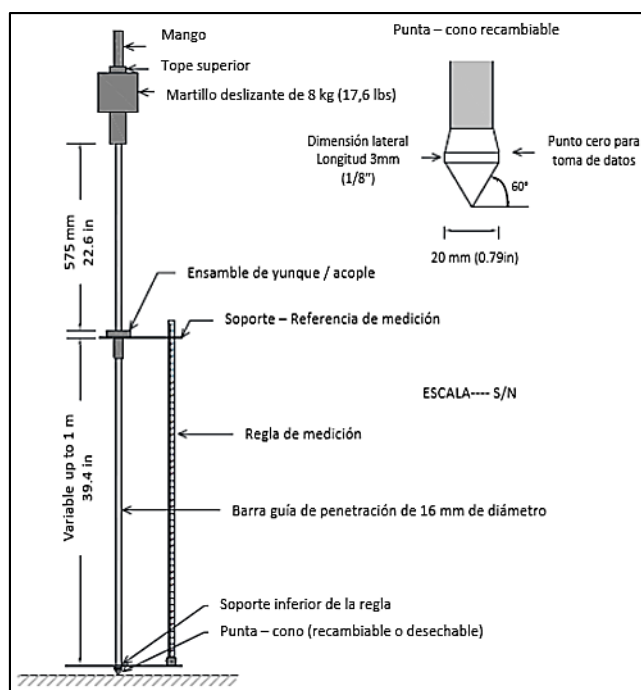
Sobre la base de esto, surgen distintos dispositivos como el Cono Dinámico de Penetración (DCP) cuya finalidad es facilitar y brindar una mejorada practicidad a los ensayos convencionales. Es una herramienta simple y sencilla que permite, de manera expeditiva, el reconocimiento in situ de las distintas capas del suelo, ya sean granulares, así como también aquellas levemente cementadas para determinar diseños finales con un grado de confiabilidad mayor, logrando así, una importante reducción en tiempo, dinero, recursos humanos y mecánicos (Angamarca Solano, 2013).

El DCP mide la penetración dinámica por golpe en los componentes de un pavimento, se encuentra en función de la resistencia al corte de los mismos (Angamarca Solano, 2013).

A continuación, en la figura 3, se presenta el esquema general del equipo DCP, mismo que se compone de un martillo deslizante de 8Kg que cae hasta una altura máxima de 1m y en el extremo inferior existe un cono de 60° que se va introduciendo conforme cae el martillo.

Figura 3

Esquema Aparato DCP.



Nota. Tomado de Norma ASTM 6951

Una regla de medición ubicada junto al instrumento permite tomar las lecturas de la penetración total alcanzada para un número determinado de golpes (mm/golpe) para posteriormente poder describir la rigidez del suelo (ASTM, 2003).

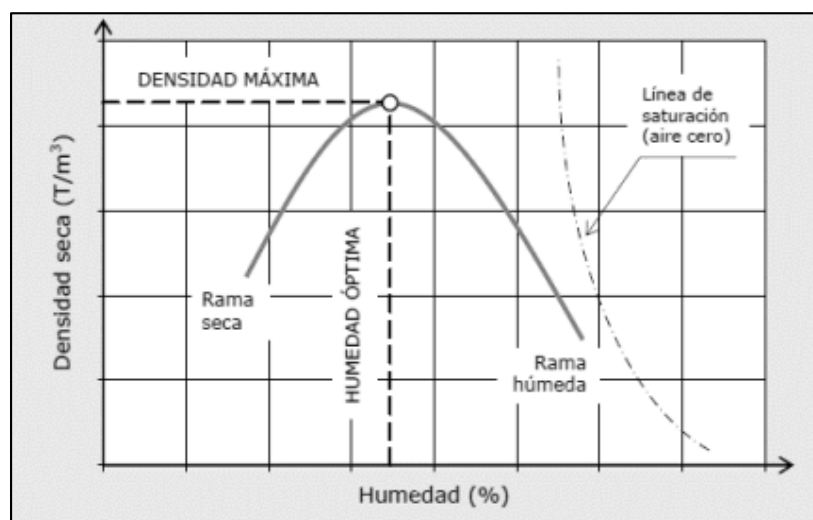
Ensayo Proctor Modificado. Con este ensayo se determinará la humedad óptima de la muestra y su densidad seca máxima.

La Compactación es el proceso mecánico que pretende aumentar las características de resistencia del suelo y reducir su capacidad de deformación, todo esto por medio de una disminución en el índice de vacíos.

El ensayo genera una curva Humedad (%) vs Densidad (T/m^3) tal como se muestra en la figura 4, donde en el pico más alto de la misma proyectando el valor hacia los ejes de abscisas y ordenadas podemos encontrar los valores correspondientes a la humedad óptima y densidad seca máxima respectivamente.

Figura 4

Curva Humedad vs Densidad.



Nota. Tomado de Norma ASTM 6951

Modelos Constitutivos de los Materiales

Existe varios modelos constitutivos para simular la conducta que posee el suelo y otros medios continuos. A continuación, se facilita una breve descripción de un par de modelos para caracterizar a los materiales:

Elástico lineal. Aunque este modelo cuenta con ventajas también tiene varias limitaciones al momento de simular la conducta que tiene el suelo.

Este modelo cuenta con coeficiente de Poisson (ν) y el módulo de Young (E), ambos parámetros de rigidez elástica, los cuales se deben tener muy en cuenta ya que son usados de manera primordial para las capas rígidas que presenta el suelo.

Mohr-Coulomb. Como ya se mencionó, este modelo es usado como una primera aproximación al comportamiento del suelo en general y cuenta con cinco parámetros, a conocer:

Módulo de Young.

Su función en este caso es la de servir como módulo básico de rigidez, compartiendo con la tensión sus dimensiones (fuerza por unidad de superficie), se adopta para emplearlo tanto para el modelo elástico, como el de Mohr-Coulomb,

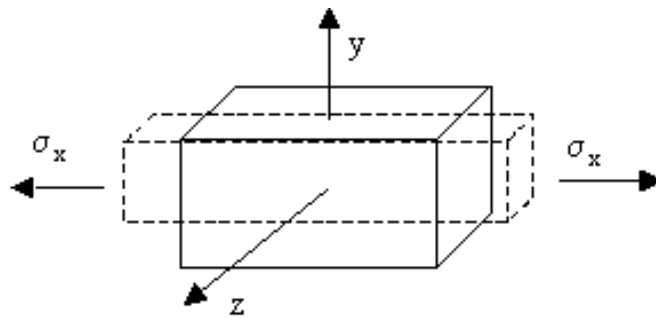
La valoración de la rigidez que se tendrá en cuenta para los cálculos que requieren especial atención debido a que algunos materiales geológicos se comportan de forma no lineal desde principio de la carga.

Coeficiente de Poisson (ν)

Es la característica que posee cada uno de los materiales, la cual demuestra la correlación que hay muchas veces al tener deformaciones longitudinales presentes por el material a través de la fuerza perpendicular que se le imparte la aplicada en la misma dirección (ver figura 5) (PLAXIS BV, pág. 60).

Figura 5

Coeficiente – Poisson.



Nota. Tomado de (Pérez, 2018).

- **Módulo de corte G**

Este módulo de rigidez está relacionado con el módulo de Young acorde con la elasticidad isótropa, que incluye el coeficiente de Poisson, ν (Pérez, 2018):

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Ecuación 9

- **Cohesión (c)**

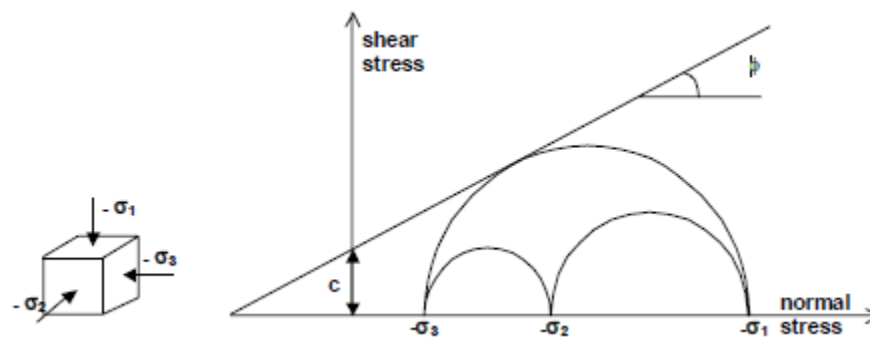
Es la fuerza de atracción entre moléculas (partículas), debido a la fuerza molecular y la película de agua existente. Por lo tanto, si el contenido de humedad del suelo cambia, su cohesión varía midiéndose en kilogramos/cm².

- **Ángulo de fricción Interna (ϕ)**

Esta es una propiedad propia de los materiales granulares, donde el ángulo ubicado en medio del eje de tensión normal y la tangente a la envoltura de Mohr representa un cierto estado de tensión de falla para el material sólido, (ver 6) (PLAXIS BV, 2004).

Figura 6

Círculos de Mohr en rotura.

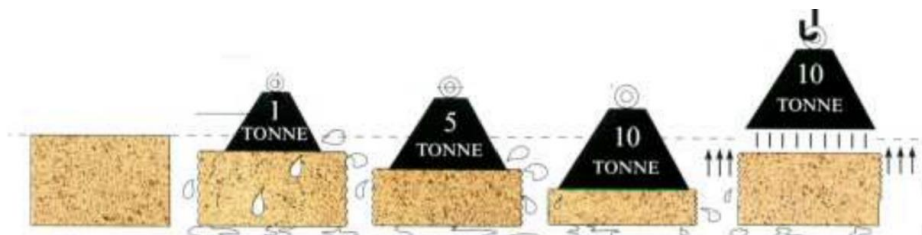


Nota. Tomado de (PLAXIS BV, 2004).

Consolidación de Suelos. Es un proceso de duración variable, dependiendo de las características propias del suelo que se someten a cargas hasta llegar al volumen estable (MTO, 2003) también se puede denominar a la disipación de presión intersticial hacia el exterior del flujo de agua que contiene el terreno provocadas por la acción de estas cargas sometidas directamente en el suelo, (ver figura 7) (Poliotti & Sierra, 2007).

Figura 7

Proceso de Consolidación.



Nota. Tomado de (Poliotti & Sierra, 2007).

Tal proceso de consolidación atrae dos consecuencias importantes:

- Reduce el volumen de poros y vacíos por tal acción en el volumen total, donde se genera un asentamiento, la posición relativa de las partículas en el plano horizontal permanecerá igual y el movimiento de estas solo ocurrirá en el plano vertical.
- Conforme vaya progresando la disipación de presión intersticial la presión efectiva tiene a aumentarse al igual que la resistencia del suelo (Poliotti & Sierra, 2007).

Curva de Consolidación

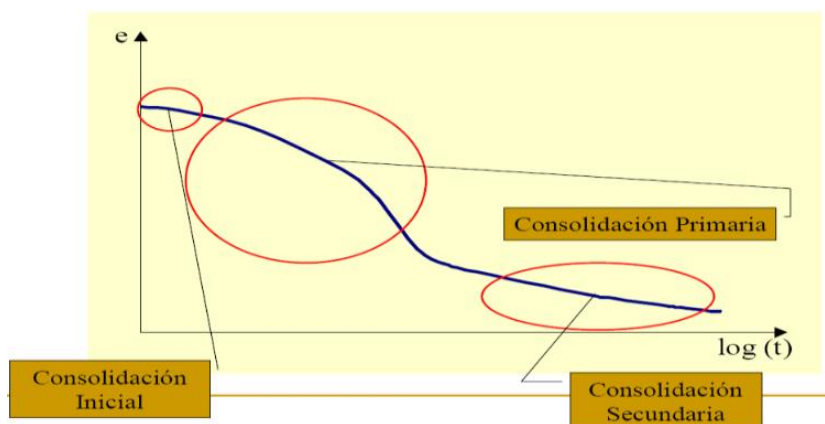
Consolidación inicial: Disminución de vacíos en el suelo por expulsión del aire

Consolidación Primaria: Disminución de vacíos en el suelo por expulsión del agua

Consolidación secundaria: Reordenamiento de las partículas sólidas

Figura 8

Curva de Consolidación.



Nota. Tomado de (Bladimir, 2012).

Principio de las tensiones efectivas en el suelo. Es la presión que se transmite entre partículas de grano a grano, resultando ser la diferencia entre las presiones totales y las presiones intersticiales. Terzagui afirmó que depende de magnitud de la presión efectiva la resistencia del esfuerzo cortante y el cambio de volumen en el suelo. (Yepes, 2020)

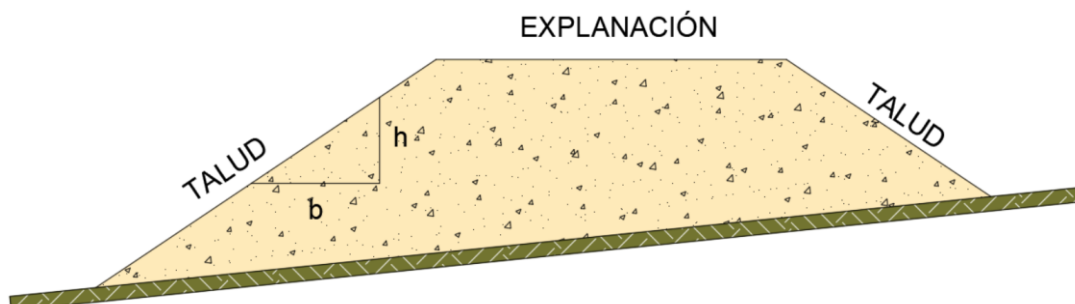
Conceptos Generales de un Terraplén

La definición que se le da a un terraplén según la Ingeniería Civil es la siguiente:

Son estructuras, las cuales, siguiendo un diseño previo, mediante el uso de materiales seleccionados (suelos), con métodos y recursos determinados sirven para rellenar, levantar y dar un plano de apoyo idóneo para la realización de un proyecto, para el entendimiento de un terraplén típico (ver figura 9).

Figura 9

Terraplén.



Otra definición de los terraplenes puede ser que son considerados como grandes acumulaciones de materiales (suelos) aptos como base y soporte de las obras viales; que pueden o no tener cotas inferiores a las necesarias para un proyecto determinado, aprovechando de manera óptima el material y dando una adecuada resolución a los problemas que un suelo de características poco favorables podría presentar.

Partes de un terraplén

Un terraplén de carretera este compuesto por 4 partes, como se ve en la figura 10:

Coronación

La coronación es la parte superior del terraplén, en la cual se realiza la explanación para posteriormente ubicar la vía o carretera, su espesor mínimo es de 2 capas (compactadas) que deben tener al menos 50 cm de grosor.

Se constituye de materiales óptimos, que cuenten con buen asentamiento y plasticidad al momento de trabajar bajo las características para las cuales es diseñado.

Núcleo

Básicamente el núcleo es la parte central del terraplén, la cual se encontraba entre la coronación y el cimientto.

Espaldón

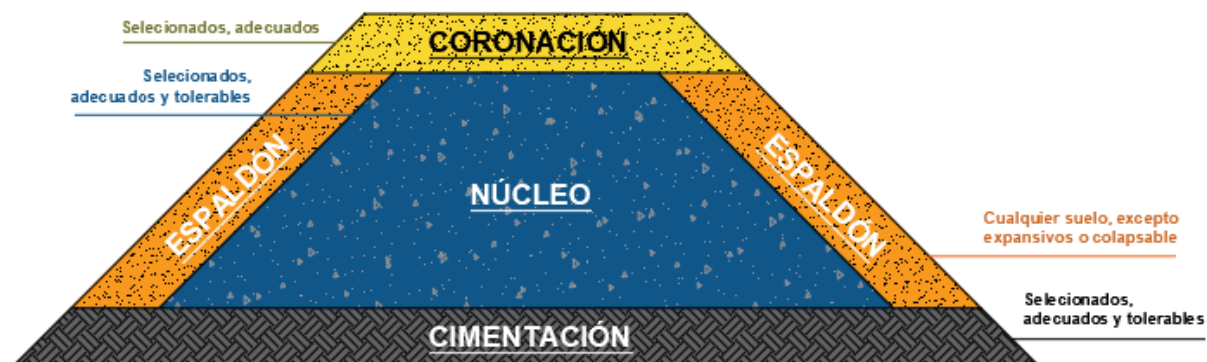
El espaldón se encuentra a los costados, el cual eventualmente llegara a conformar los taludes adyacentes del terraplén. Para el relleno no se debe tomar en cuenta toda la cobertura existente que no posea un uso estructural.

Cimiento

El cimiento, como su nombre indica, es la base en la que se asienta el terraplén y se encuentra en contacto, directamente en el plano de contacto (el espesor mínimo es de un metro).

Figura 10

Conformación del Terraplén.



Tipos de Terraplenes

Es importante tener en cuenta los tipos de terraplenes que existen y cuáles son sus características. A continuación, se presentan 4 tipos de terraplenes según su zona o sección:

Construidos en zonas llanas

Aquellos terraplenes que están ubicados en zonas llanas tienen la característica principal de tener máximo 5 metros de altura, contar con extensas longitudes constituidas por miles de metros y contar con espacios libres de gran maniobrabilidad para los equipos (ver Figura 11).

Figura 11

Terraplén construido en zonas llanas.



Nota. Tomado de (Morales & Zulagua, 2014).

Construidos en zonas montañosas

Los terraplenes que se hallan en zonas montañosas tienden a ser particulares por contar con dimensiones en su altura bastante considerables, llegando incluso hasta los 30 metros, aunque únicamente cuentan con longitudes máximas de la veintava parte de un kilómetro en sus tramos y no presentan la misma facilidad para los equipos como en el caso anterior.

Un dato adicional es que por lo general estos terraplenes suelen ser diseñados con muros de contención, tal cual se muestra en la figura 12.

Figura 12

Terraplén en zonas montañosas.



Nota. Tomado de (Morales & Zulagua, 2014).

Terrapienes en zonas onduladas; entre zonas onduladas y montañosas

Tienen características intermedias entre los dos casos anteriores.

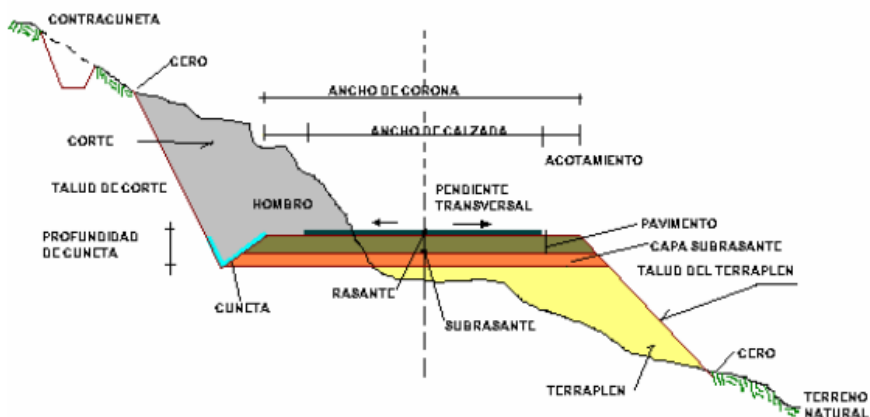
Es de suma importancia poder diferenciar y caracterizar de manera idónea el tipo de zona con la que se cuenta al momento del diseño de un terraplén ya que de esto dependerá directamente el valor real en los costos del proyecto.

Terrapienes de sección abierta

Los terrapienes de sección abierta son los que se presentan con frecuencia en los corredores viales, un ejemplo del perfil se indica en la figura 13:

Figura 13

Terraplén de sección abierta.



Nota. Tomado de (Secretaría de Comunicación y Transportes, n.d.).

Consideraciones de la realización de terraplenes

La construcción de terraplenes para carreteras se realiza mediante la colocación de materiales aprobados provenientes de cortes del mismo proyecto o de zonas cercanas, se obtienen mantos apropiadamente equiparados, hidratados y compactados (MOP, 2002).

La elaboración de un terraplén, nace con el desbroce de la cimentación, extracción de la capa vegetal y excavación del terreno (solo si se lo considera necesario), con el fin de dar estabilidad al relleno (Escario, Terraplenes y Predraplenes, 1981).

Los procesos que se ejecutan entorno a una construcción son de: acondicionamiento de la humedad del material, extendido y compactación, pero antes de la colocación del material, es necesario que las obras de drenaje estén terminadas adicional, cuando la superficie de la cimentación esté limpiada, se procederá luego a un completo desprendimiento del suelo mediante la utilización de arados, hasta una profundidad de 15 cm (MOP, 2002).

Acondicionamiento de la humedad: Se deberá realizar una adecuada hidratación del material, ya que la misma tiene dos principales funciones. La primera es de conseguir una correcta compactación del material para obtener un macizo suficientemente resistente e indeformable. La siguiente es el evitar que las variaciones de humedad que se originen después de la construcción, inciten cambios de volumen en suelos específicos y después produzcan daños de deformación en la vía. Como humedad de referencia se puede considerar la Optima Proctor Normal (Escario, Terraplenes y Predraplenes, 1981).

Colocación: La colocación del material en terraplenes se suele hacer en espesores de 0.20 a 0.30m, pero, cuando se trata de capas que poseen un porcentaje mayor del 25% de piedras de tamaño mayor a 15 cm, los estratos serán de 0.50 o 0.60m.

Compactación: Según la MOP (2002), la compactación se comenzará una vez hayan sido puestos en ejecución los rodillos aprobados según las especificaciones técnicas MOP-001 F-2002. En los lugares donde no se pueda conseguir la densidad (mínima) que se requiere, el material en su totalidad deberá ser removido de su sitio, para nuevamente ser igualado y posterior a ello ser humedecido para luego ser compactado una vez más hasta lograr la compactación específica. Además, la maquinaria para la compactación tendrá que constar de rodillos pata de cabra, rodillos lisos en tándem de 2 o 3 ejes y rodillos neumáticos.

Requerimientos para el diseño de terraplenes

Metodología de diseño

Al realizar un proyecto de terraplenes está limitado por una serie de escenarios entre la cuales son los problemas de estabilidad y deformabilidad.

Debemos tener en cuenta para la construcción, su estructura geométrica, cuál será el tiempo definido para su construcción, teniendo en cuenta el aumento de la tasa de estrés que presentará el suelo (presente en nivel de fundación) y las condiciones tanto ambientales, como de carga (ver figura 14).

H:	Altura del terraplén.
L:	Longitud del terraplén.
B:	Ancho de la cresta.
β:	Talud de relleno
Q:	Sobrecarga
q:	Carga de servicio
αg:	Aceleración (diseño sísmico)

Definir cuál será el perfil (estratigráfico) que se va a utilizar es de suma importancia, teniendo en cuenta las características geo-mecánicas del suelo (presente en nivel de fundación) y para la localizar las condiciones existentes del nivel freático o algún lugar que pueda ser susceptible a tener un problema de infiltración.

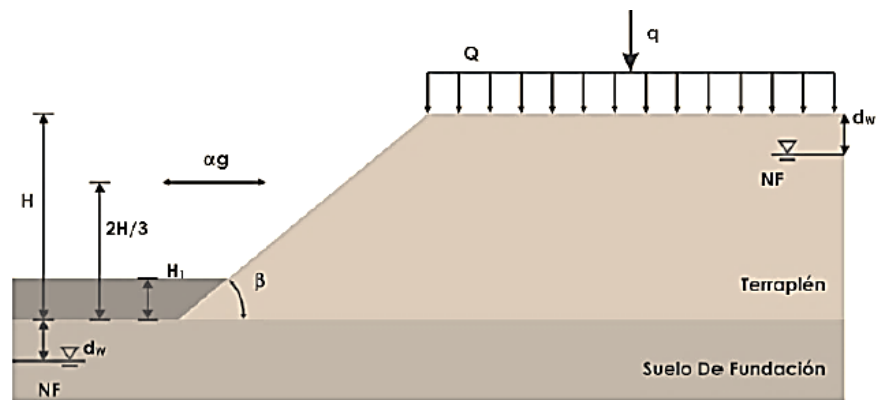
Cu:	Índice de plasticidad y gradación
ϕ_u, C', ϕ':	Análisis de estabilidad
Cc, Cr, Cv, s_p:	Consolidación de asentamientos

NF: Nivel freático

γ_{dmax} , $W_{óptima}$: Humedad óptima de compactación

Figura 14

Perfil de un terraplén.



- Para poder conseguir del suelo las propiedades mecánicas requeridas procederemos clasificando las propiedades índices, las requeridas al momento de su compactación obtenidas a partir de su densidad (máxima), proctor modificado.

C_u , ϕ_u y/o C' , ϕ' Parámetros de resistencia al corte

- Como último tenemos el cálculo requerido del factor de seguridad, si supera 1.1 el diseño es óptimo.

Para revisar la falla referente a rotación, procedemos a realizar un diagnóstico de equilibrio límite de estabilidad, el cual contenga el suelo (presente en nivel de fundación) con el fin de poder determinar el factor de seguridad y la superficie potencial de falla.

Análisis de la Estabilidad

Al analizar la estabilidad que presenta un terraplén implica un análisis en el cual se debe identificar la resistencia del suelo, establecer el perfil y las condiciones de nivel freático, también se ha de distinguir una superficie de deslizamiento o falla, para de este modo llegar a calcular el factor que presente de seguridad.

Dentro de los métodos numéricos y dinámicos con los que uno puede contar, podemos aprovechar aquellos que nos ayuden para el análisis del equilibrio límite. Para la evaluación de estabilidad del terraplén seleccionado ubicado en la Concordia, se procede a utilizar Morgenstern-Price, ya que este método se apoya a partir del equilibrio límite.

Equilibrio límite (método)

El presente método estipula que la falla de terreno llega a ocurrir por medio de una línea, la cual será la encargada de simbolizar la superficie de rotura. Por lo tanto, se puede concluir que la porción del terreno que se encuentra en la parte superior de dicha representación se moviliza respecto a la masa de la parte inferior, provocando, de esta manera, la falla del terreno. Al instante de formarse la falla, se encuentra desplazada en la superficie de deslizamiento la resistencia al corte, por ende, el terreno está en equilibrio completo.

Esta metodología reside en el análisis de un cuerpo rígido, incluido por el talud y la zona de deslizamiento de una sección, véase Figura 12. En este equilibrio la tensión de corte (τ) es determinada con la resistencia disponible (τ_f), la cual se logra conseguir a raíz de un criterio de rotura (Coulomb), de aquí aparece la estabilidad como un parámetro, que viene acompañado del coeficiente de seguridad (GeoStru, 2015):

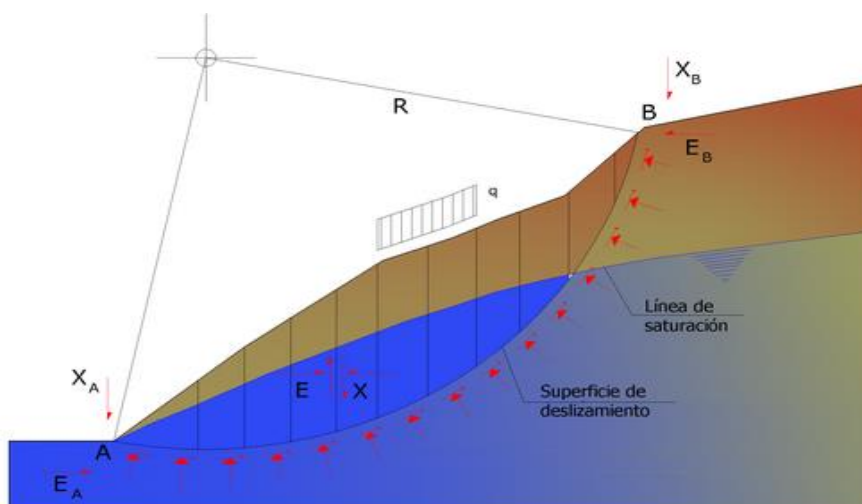
$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau}$$

Ecuación 10

Entre los métodos del equilibrio límite, unos cuantos se calculan a partir del equilibrio global existente en un cuerpo rígido, de igual manera otros, son calculados debido a la ausencia de uniformidad, se divide el cuerpo en varias capas y tienen en cuenta el equilibrio de cada clase (Bishop, Fellenius, Morgenstern-Price, Janbu, etc.), la forma de la superficie de falla se ve en la figura 15.

Figura 15

Representación de una sección de cálculo de un talud.



Nota. Tomado de (GeoStru, 2015).

Morgenstern y Price (método)

Los métodos pueden aplicarse tanto a superficies de falla que son circulares, como las fallas que no lo son. La correlación obtenida, entre componentes de fuerza de inter-conexión, con la forma de:

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E$$

Ecuación 11

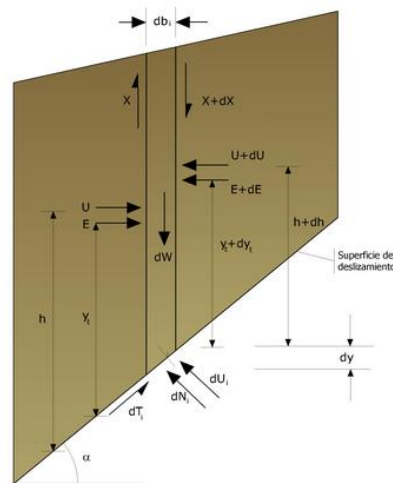
Donde:

- λ : factor de escala.
- $f(x)$: relación entre la variación de la fuerza X y de la fuerza E (existente en la masa deslizando).

Peculiarmente esta metodología nos dice que a la masa se la subdivide en dovelas infinitamente pequeñas ver (figura 16), en las que se aplican ecuaciones de equilibrio para la traslación (vertical y horizontal) y ecuaciones de falla en la parte inferior de las mismas. Se consigue una primera ecuación diferencial la cual entrelaza las fuerzas de conexión con el peso de la franja infinitésima dW , el coeficiente de seguridad y el resultado de las presiones neutras en la base (GeoStru, 2015).

Figura 16

Fuerzas actuantes en la N-ésima dovela.



Tomado de (GeoStru, 2015).

Materiales

En lo que respecta, los terraplenes deben ser construidos en base a los materiales existentes en las zonas de explanación obtenidas previamente de la excavación.

Para su mejoramiento, si es requerido un préstamo se lo efectuará a partir de las áreas laterales de la carretera o de los depósitos ya preestablecidos ya aprobados por el fiscalizador, si este fuese el caso se pueden definir como “importados”.

Pero como ya se mencionó en el párrafo anterior los materiales preferidos siempre serán los resultantes del movimiento de tierras necesario para el mantenimiento de la vía, salvo que presenten inconvenientes en sus características y los documentos (contractuales) que lo corroboren.

Características

Núcleo y cimiento de terraplenes. Los materiales a utilizarse en estas estructuras obligadamente contarán con una falta total de materia orgánica que no ayude a una óptima construcción, una vez entendido esto podemos englobar las especificaciones correspondientes en dos:

El primero será para terraplenes de 15m o más de altura, en los cuales se deben usar materiales clasificados en los grupos A-1, A-2-4, A-2-5 o A-3 (ver la tabla de clasificación de suelos de la AASHTO) cuando se disponga de ellos y se los compacten por lo menos 95% de la densidad máxima AASHTO T 99 (Proctor Normal). Cuando cuente con materiales de este tipo y es preciso utilizar materiales de los grupos A-2-, A-2-7, A-4, A-5, A-6 ó A-7, se debe dedicar una mayor atención al proyecto y construcción del terraplén (Escario, 1981, pág. 38).

El segundo grupo es para aquellos terraplenes menores a los 15m de altura, en estos se utilizará materiales clasificados en los grupos A-1, A-2-4, A-2-5 ó A-3 (ver la tabla de clasificación de suelos de la AASHTO) cuando se disponga de ellos se compactarán por lo menos 95% de la densidad máxima AASHTO T 99 (Proctor Normal). En este caso se puede utilizar materiales clasificados en los grupos A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6 ó A-7 si se aplica una especial compactación al momento de construir para conseguir una mayor cantidad del 95% de la densidad máxima AASHTO T 99 (Escario, 1981, pág. 38).

Coronación. Para la coronación se deben utilizar materiales clasificados en los grupos A-1, A-2-4, A-2-5 ó A-3 (ver la tabla de clasificación de suelos de la AASHTO) cuando se pueda disponer de estos y se los compacte a un 100% de la densidad máxima de la AASHTO T 99 (Proctor Normal). De igual manera se podrá dar uso de los grupos de materiales A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6 ó A-7 si se compactan por lo menos al 95% de la densidad máxima y 95% la humedad optima AASHTO T 99 (Proctor Normal) (Escario, 1981, pág. 51).

Si se desea optimizar en costos y utilizar un material económico y aceptable, se debe tener cuenta la tabla 3:

Tabla 3

Características de un material económico y aceptable.

% pasa tamiz 80 mm	100%
% pasa tamiz 0,080 UNE	25%
Límite líquido	<30
Índice de plasticidad	<10
Materia orgánica	Exento

Índice CBR	>10
Hinchamiento en ensayo CBR	Nulo

Nota. Tomado de (Terraplenes y pedraplenes, 1981).

Clasificación Vial

Para saber la importancia o clasificación de la vía se utiliza el TPDA, por lo que es necesario hacer conteo vehicular y determinar el tráfico promedio diario anual, con el fin de definir las dimensiones mínimas requeridas según el MTOP (2003), ver Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación de las carreteras de acuerdo a la proyección de tráfico.

Clasificación de Carreteras en Función del Tráfico Proyectado	
Clase de carretera	Tráfico Proyectado TPDA*
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

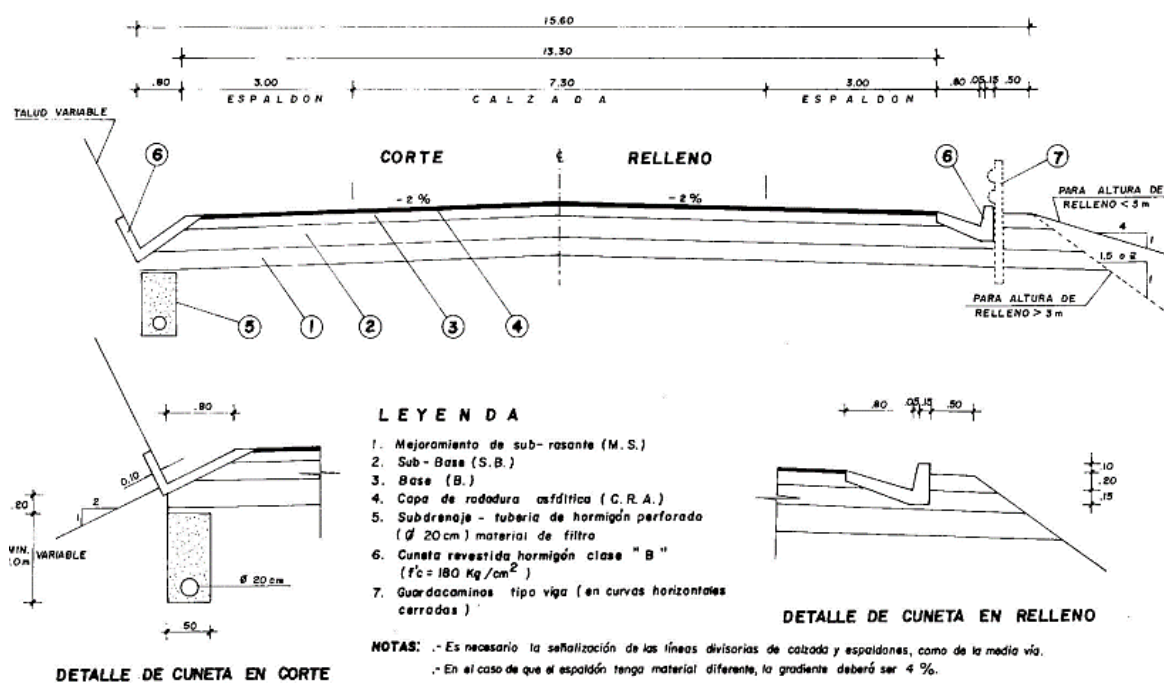
Nota. Tomado de (MTOP, 2003)

En los proyectos viales una vez que se ha definido la velocidad de proyecto, el flujo vehicular y el TPDA y se ha clasificado la clase de carretera, se escoge una de las secciones estipuladas por el MTOP (2003), para la construcción del tramo de vía siempre y cuando

tomando en cuenta la topografía, por tal motivo se presenta la figura 17, de cómo debe estar establecido una sección transversal para una vía clase I.

Figura 17

Sección típica.



Nota. Tomado de (MTO, 2003).

Consideraciones sísmicas

Para poder realizar el correcto diseño de un terraplén se debe analizar la sismicidad existente en la zona para la que se planea establecer la estructura del terraplén, ya que las vibraciones que se generan serían capaces de desestabilizar a la misma.

Para obtener la componente del sismo (horizontal) se utiliza el 60% de la aceleración máxima:

$$Eh = \frac{0.6(a_{m\acute{a}x})}{g}$$

Ecuación 12

Donde:

- Eh: Componente horizontal del sismo
- $A_{m\acute{a}x}$: Aceleración máxima

$$a_{m\acute{a}x} = Z * Fa$$

Ecuación 13

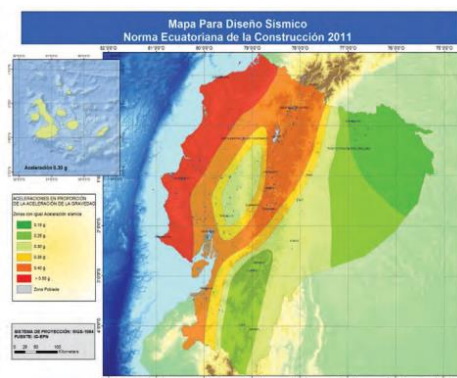
Donde:

- Z: Factor de zona sísmica.
- Fa: Representa la amplificación del suelo en lugares de cortos periodos.

El valor que se requiere para obtener la aceleración lo obtenemos a partir del mapa para diseño sísmico figura 18 de la NEC-SE-RE- Riesgo sísmico.

Figura 18

Ecuador, zona sísmica para propósitos de diseño - Factor Z.



Nota. Tomado de (CÓDIGO NEC-SE-DS, 2014, pág. 35).

Evaluación de la sismicidad histórica.

Es de suma importancia considerar la sismicidad histórica en cualquier tipo de proyecto y mucho más en lugares como nuestro país que es uno en los que la actividad sísmica representa un gran riesgo por su ubicación y características en sus estructuras tectónicas como se menciona a continuación en los anexos de los estudios de la carretera Santo Domingo - Esmeraldas:

Estudios sísmicos divulgados por el Instituto_Geofísico_EPN (IG) indican que en este lugar se han presentado cinco sismos destructivos con magnitudes iguales o superiores a VIII, junto con otros sismos menores. Esta sismicidad se debe principalmente a procesos de subducción (caracterizados por sismos situados a profundidades entre 65 y 131 km) y acción de fallas corticales (sismo a profundidades inferiores a 0 km). Teniendo en cuenta las características sísmicas de esta zona costera en particular, se considera que tiene un riesgo sísmico moderado a alto. Entre estos sismos, cabe señalar que el 31 de enero de 1906, listado en la Tabla 5, es uno de los dos únicos sismos de mayor magnitud en el mundo (8,9 en la escala de Richter), registrados en documentos históricos de todo el mundo. dando lugar a espectáculos de principios del siglo 20. El epicentro se situó en las aguas de Esmeraldas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, pág. 33).

Tabla 5

Tipo de suelo y factores de sitio Fa.

Fecha	Latitud/Longitud	Intensidad	Sitio
1906-01-31	1,00; -81,30	IX	Esmeraldas, Nariño
1942-05-14	0,01; -82,12	IX	Manabí, Guayas, Bolívar

1958-01-19 1,22; -79,37 VIII Esmeraldas

Nota. Tomado de (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Para el cálculo de la aceleración máxima se presentan varios inconvenientes, ya que no se puede definir con exactitud cuál será el epicentro en el cual se generará el próximo acontecimiento sísmico, de igual manera tampoco es posible predecir su magnitud, su duración y mucho menos cuando se presentará, debido a ello debemos considerar eventos de gran magnitud pre existentes a lo largo de la historia (ver Tabla 6 y Figura 19).

Tabla 6

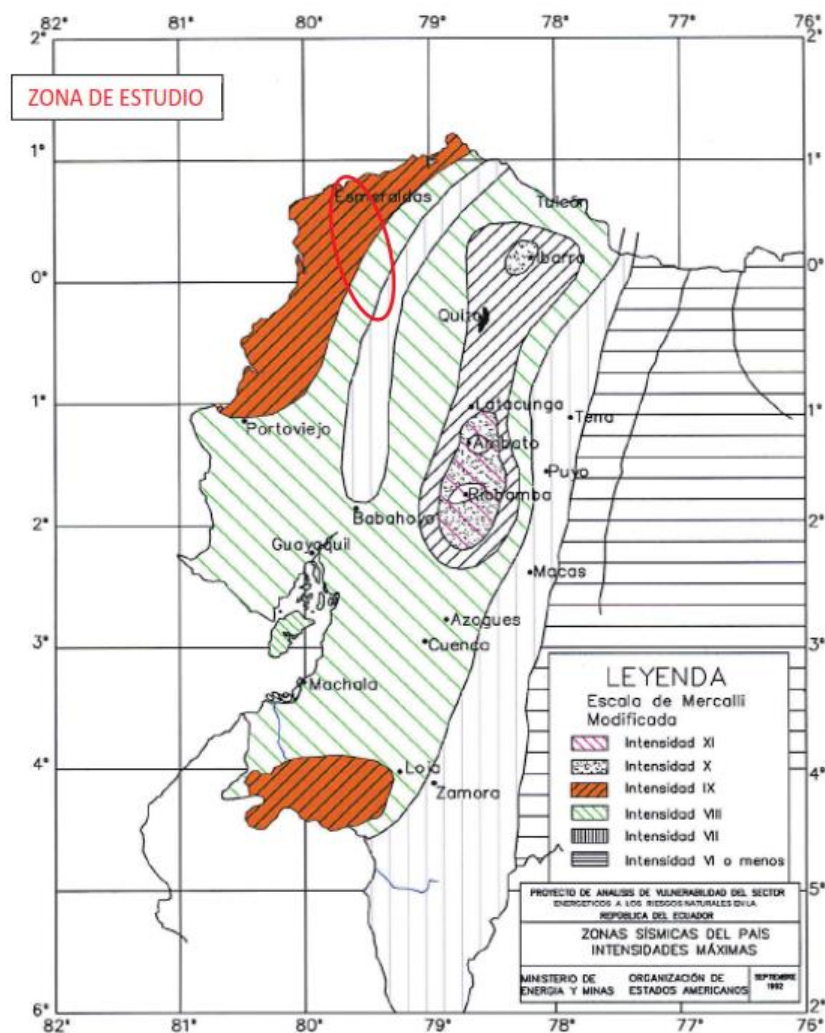
Aceleraciones máximas.

Aceleraciones Máximas Probables a lo Largo del Trazado		
Ubicación	Sistema	Aceleración (g)
Refinería Esmeraldas	Subducción Esmeraldas	0,26
Zapotal (Quinindé)	Transcúrrrete	0,18
Pueblo Nuevo (Quinindé)	Transcúrrrete	0,19
Cupa (Quinindé)	Subducción Esmeraldas	0,22

Nota. Tomado de (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Figura 19

Zonas sísmicas del país, con sus intensidades máximas.



Nota. Tomado de (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Instrumentos Geotécnicos para el monitoreo y control de terraplenes

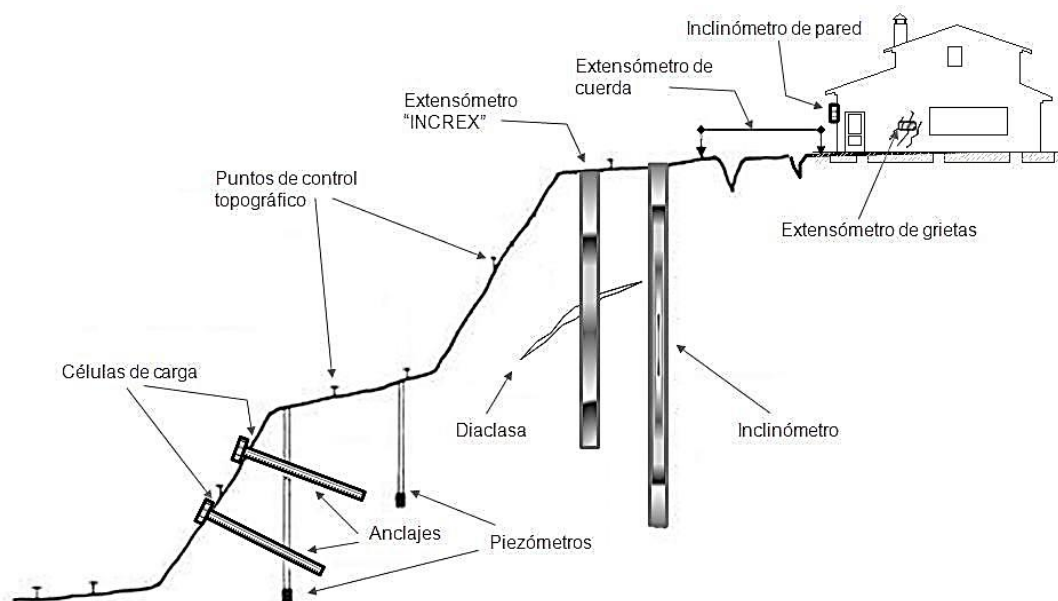
El principal objetivo de la instrumentación geotécnica es custodiar el comportamiento del suelo en las condiciones de su entorno por las variaciones que puedan presentarse ya sean por fenómenos naturales o por la implantación de alguna obra ingenieril así lo afirma (Medrano, 2008) por lo que resulta importante efectuar el seguimiento con un equipo o sistema de medición que permitan conocer el desempeño de las características mecánicas y las condiciones de estabilidad del suelo provocado por el movimiento de masas, excavaciones,

esfuerzos efectuados por construcción, movimientos telúricos, precipitaciones prolongadas e intensas y demás factores que puedan afectar el suelo.

Hay una variedad de técnicas e instrumentos para medir los esfuerzos y movimientos del terreno entre los más utilizados se encuentran los métodos topográficos ya sean manuales o automatizados, inclinometría, piezometría, presiometría, extensometría también conocida como asentometría, entre otros como se observa en la figura 20.

Figura 20

Métodos de control y monitoreo de estructuras terreas.



Nota. Tomado de (Oliva, 2015).

Inclinómetros

Es un elemento de medición que permite controlar y monitorear los movimientos laterales, cambios en el ángulo de inclinación y asentamientos del suelo, debe instalarse en las

juntas deslizantes que a medida que la construcción de una obra vaya avanzando pueda determinar el movimiento vertical ver figura 21 (Bladimir, 2012).

Figura 21

Sistema inclinométrico MEMS digital, cables inclinométricos, datalogger portátil archimede.



Nota. Tomado de (National & Pillars, n.d.).

Equipo Piezométrico

Es utilizado para medir la presión del agua y su nivel freático en presas de tierra y terraplenes también permiten medir las subpresiones en fundaciones de presas, monitorea filtraciones y deslizamientos potenciales, (ver Figura 22) (National & Pillars, n.d.).

Figura 22

Piezómetros de casagrande y de tubo abierto, sonda para medida de nivel de agua (wli), escalas hidrométricas.



Nota. Tomado de (National & Pillars, n.d.).

Asentómetros

Es un sistema diseñado para medir el desplazamiento axial en puntos estratégicos donde se pueden registrar datos de asentamientos en dirección vertical, estos equipos tienen la ventaja de determinar con precisión asentamientos de la fundación y del terraplén, pero también pueden ser vulnerables a ser afectados o manipulados por personas extrañas.

(Bladimir, 2012) A medida que han pasado los años estos equipos se han ido sofisticando por lo que existen diferentes tipos de asentómetros en los que ponemos destacar los siguientes:

Extensómetro Incremental t-rex

Esta instrumentación geotécnica es portátil y removible, como se muestra en la figura 23, diseñada para registrar mediciones incrementales de asentamientos por una tubería que contiene anillos magnéticos que son los puntos de referencia y de medición mientras se tenga un asentamiento progresivo, este equipo se sincroniza con un software ajustable que permite evaluar el movimiento real del suelo (National & Pillars, n.d.).

Figura 23

Extensómetro incremental t-rex instalado.



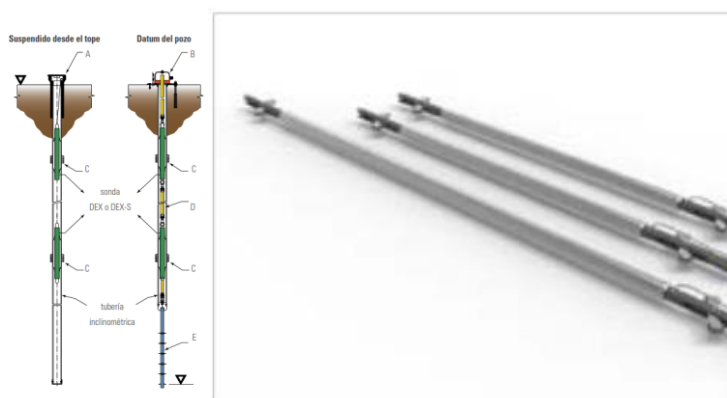
Nota. Tomado de (National & Pillars, n.d.).

Extensómetro fijo dex

Esta instrumentación geotécnica dispone de un conjunto de tuberías que se unen con varillas o alambre de acero inoxidable y son colocadas en puntos estratégicos a diferentes profundidades donde es posible el movimiento de tierras; que de manera automática monitorea y registra estos asentamientos, (ver figura 24) (National & Pillars, n.d.).

Figura 24

Dispositivo fijo DEX, instalado en situ.



Nota. Tomado de (National & Pillars, n.d.).

Extenso – inclinómetro fijo DEX-S

Es un sistema de extensómetros fijos que cuentan con sensores inclinómetros biaxiales que permiten un monitoreo en 3D las sondas que se encuentran conectadas a un datalogger custodian el monitoreo automático, ver (figura 25).

Figura 25

Extenso- inclinómetro fijo DEX-S.



Nota. Tomado de (National & Pillars, n.d.).

Capítulo III

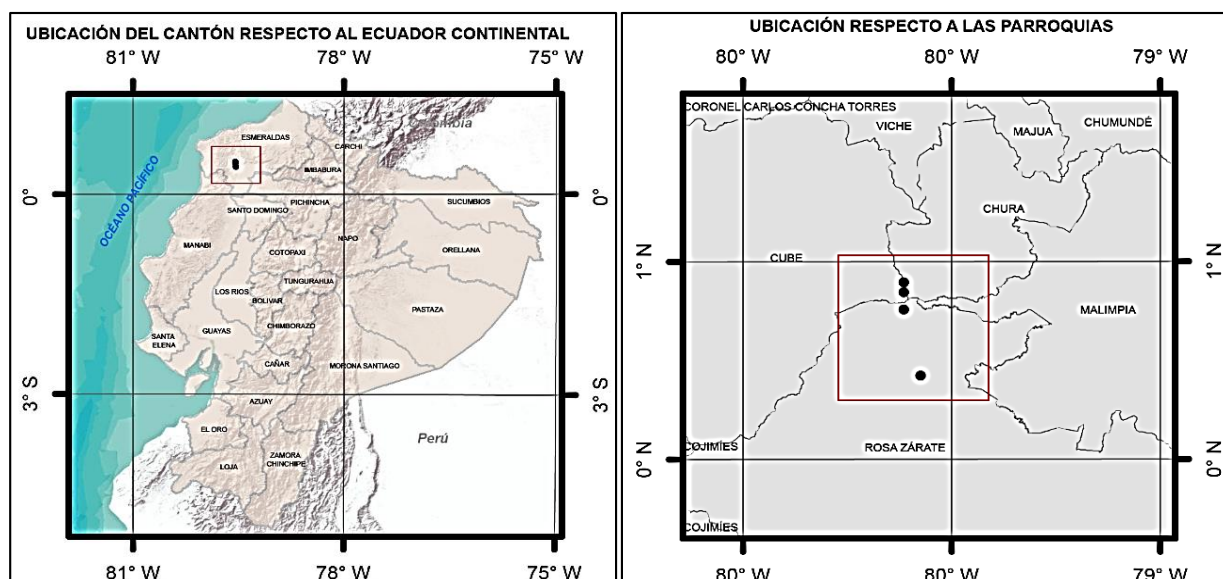
Análisis de la Zona y Suelo de Estudio

Situación Geográfica

El cantón de Quinindé se sitúa Esmeraldas, una de las provincias de la región costa de Ecuador. Su cabecera es Rosa Zárate y está integrado por las parroquias rurales Cube, Chura, La Unión, Malimpia y Viche, en la Figura 26 se observa la ubicación del proyecto realizado.

Figura 26

Ubicación de los puntos del proyecto.



Además, al visitar el sector podemos observar los característicos relieves sobresalientes presentes en las llanuras de la costa y gran parte de la cordillera (costanera). Al contar con relieves tanto planos y colinados que a su vez se subdividen en medios y altos, sus unidades

geomorfológicas poseen cambios de nivel que varían entre los 40 a 800 m.s.n.m., tal como se menciona en la Tabla 7 (GAD Municipal de Quinindé, 2015).

Tabla 7

Relieves característicos de la llanura costera.

MESO RELIEVE	(Ha)	%
Abanico aluvial	1.13	0.0003
Colinas altas	60847.86	17.58
Colinas medianas	52985.87	15.31
Colinas bajas	11741.88	3.39
Cuestas	340.50	0.10
Llanura aluvial	3055.58	0.88
Llanura litoral	101676.94	29.38
Mesetas	12109.11	3.50
Montañosa bajas	38278.03	11.06
Terrazas	52881.75	15.28
Vertientes	12153.50	3.51
TOTAL	346072.13	100.00

Nota. Tomado de (GAD Municipal de Quinindé, 2015)

De acuerdo con el GAD del municipio de Quinindé (2015), las principales características del suelo que indicadas en los sitios anteriores son principalmente suelos provenientes de los sedimentos de antiguos llanos y montañas de las regiones costeras, con una mayor proporción de agua por unidad de volumen de suelo, proporcionando así una mayor resistencia a los

métodos de lixiviación. El 78% del área es de fertilidad media a alta. El 22% restante (77.403 ha) del estado es de baja fertilidad.

Caracterización de la Zona de Estudio

La zona de implantación de nuestro estudio es el cantón Quinindé provincia de Esmeraldas con una elevación de 85 msnm, se asienta sobre una extensa llanura y posee un clima lluvioso tropical de 28°C en promedio.

Tipo de Suelo

Según la (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986) el suelo del Cantón Quinindé con la Clasificación del Suelo Soil Taxonomy (USDA) posee una simbología **Ak3**, de orden *ALFISOL* es decir, suelo mineral que cuenta con horizontes de óptimo grado de mejoramiento pedogenético; un horizonte claro y lavado (eluviación) sobre horizonte angílico.

De suborden *UDALFS* perteneciente a áreas húmedas; no permanece seco ni siquiera 90 días/año o 60 días/(acumulados). Perteneciente al gran grupo *TROPUDALFS*, posee un material de origen sedimentario y/o volcánico – sedimentario antiguo.

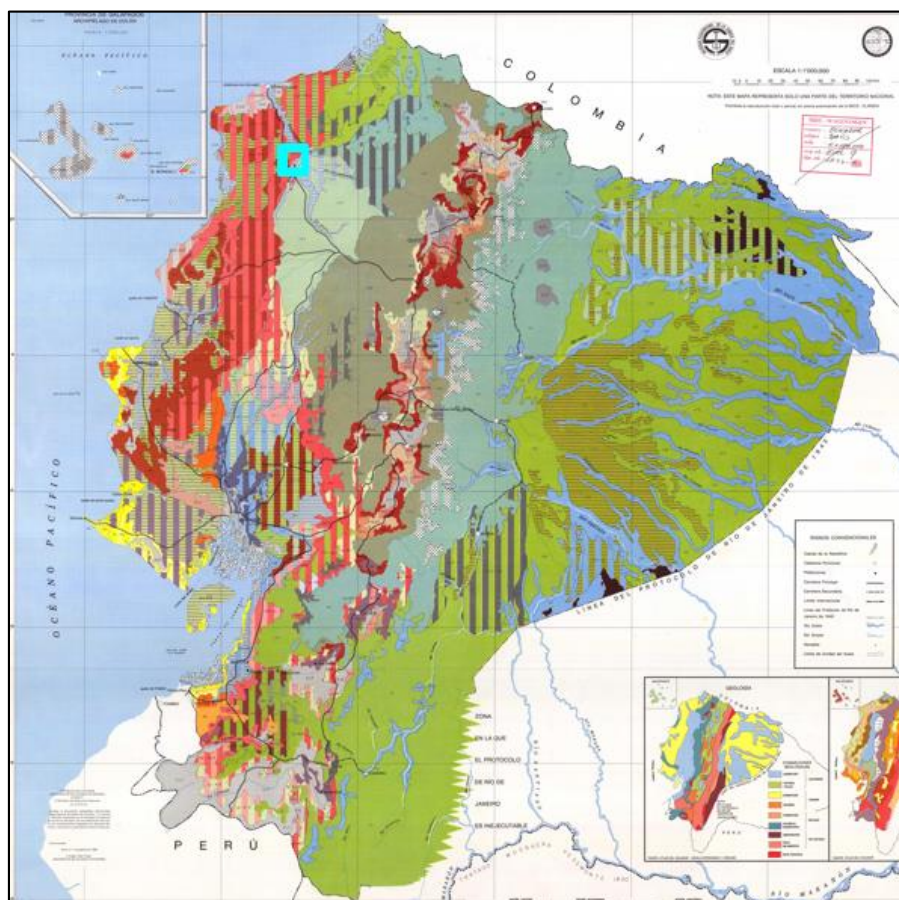
Con respecto al clima zonas de humedad y temperatura se acopla a húmedo y cálido respectivamente, en cuanto a fisiografía y relieve la zona presenta relieves colinados y socavados de colinas, mesas y cordillera costeras.

Como características del suelo, la clasificación es de tipo Caolínico ya que posee un pH ligeramente ácido, es de color amarillo rojizo; con piedras y escombros; profundidad variable.

A continuación, en la figura 27 se puede observar el Mapa General de Suelos del Ecuador, donde con color cian se ha delimitado la zona de estudio detallada previamente.

Figura 27

Mapa General de Suelos del Ecuador.



Nota. Tomado de (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986).

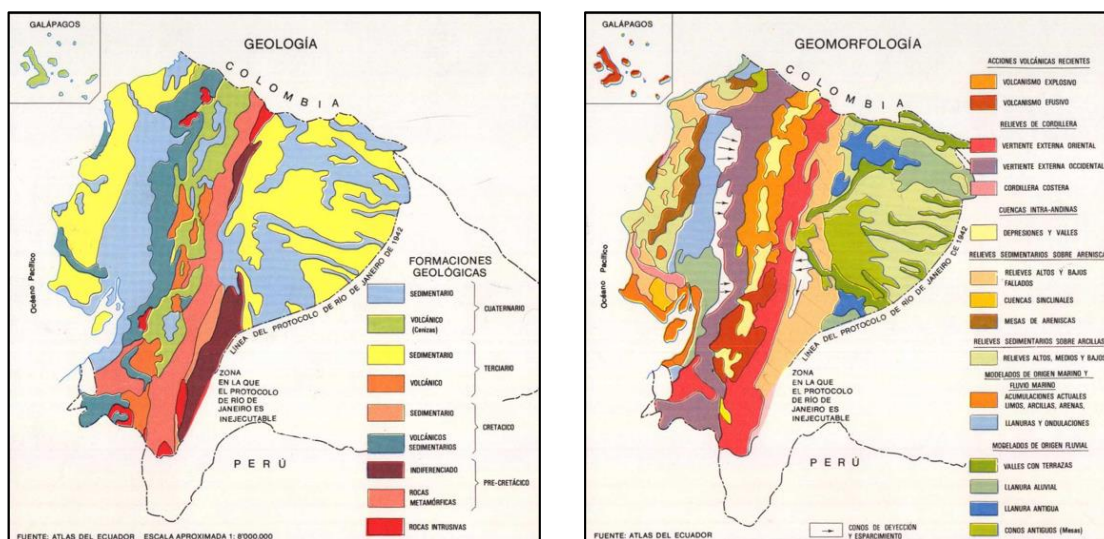
Geología, Geomorfología

En cuanto a geología, la zona de estudio tiene una formación geológica cuaternaria de tipo sedimentario como se presenta en la figura 28,

Posee una geomorfología de relieves sedimentarios sobre arcillas, modelados de origen marino y fluvio marino con llanuras y ondulaciones, de igual manera se presenta en la figura 30.

Figura 28

Mapas de Geología y Geomorfología del Ecuador.



Nota. Tomado de (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986).

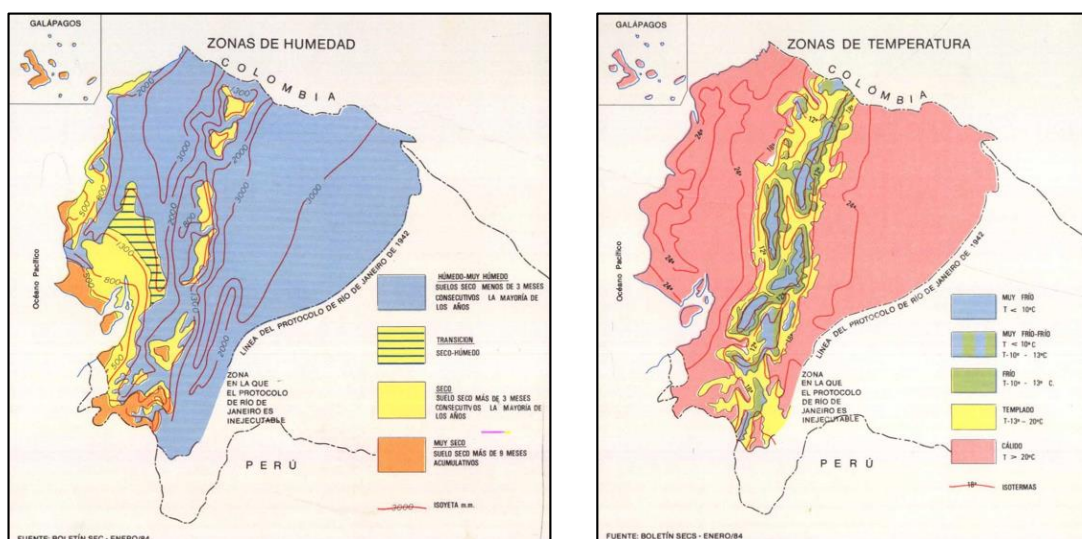
Humedad y Temperatura

En la figura 31, se puede apreciar claramente que predomina zona de humedad de tipo húmedo – muy húmedo, es decir suelo seco menos de 3 meses consecutivos la mayoría de los años, isoyetas que fluctúan entre 2000mm y 3000mm.

De igual manera, en cuanto a zonas de temperatura la figura 29 detalla un clima cálido con temperaturas mayores a 20°C e isotermas que fluctúan entre los 18°C y 24°C

Figura 29

Mapas de Zonas de Humedad y Temperatura del Ecuador.



Nota. Tomado de (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986).

Diatomita

Las diatomitas están constituidas por restos de microorganismos acuáticos llamados diatomeas los cuales crecen en ambientes de agua dulce o salada, es decir se considera a la diatomita como un suelo de origen vegetal.

Caracterización de la Diatomita

Contenido de Humedad: 10%

Granulometría por lavado: 94,44% del material pasa por el tamiz No.400 lo que indica que la Diatomita es Micronizada.

Absorción: 97.1%

Límites de Atterberg: No plástica

Criterios de Dosificación.

Para definir el porcentaje mínimo de diatomita se deberá tomar en cuenta cuales son las exigencias a las que se estará sometido el material como puede ser para terraplenes, formación de explanadas, conformación de bases y sub bases para pavimentos, entre otras.

Se deberá además tomar en cuenta cual es el efecto que se desea conseguir en el suelo, ya sea el secado de los suelos que tengan un contenido de humedad excesivo, una modificación inmediata del suelo, o una estabilización de la capa a largo plazo.

La dosificación de diatomita depende al tipo de arcilla, y este se agrega en un rango que fluctúa entre el 10% y 15% de diatomita por peso seco del suelo, esta cantidad deberá determinarse en laboratorio realizando una diversidad de ensayos de tipo mecánicos.

Análisis e Interpretación de resultados de laboratorio.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de los distintos materiales implicados en la investigación, así como también el procesamiento de los mismos.

Suelo Natural

Contenido de Humedad. Siguiendo los lineamientos de la Norma ASTM D 2216 se ensayaron 2 muestras, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8

Contenido de Humedad Suelo Natural.

Peso Tara (g)	Tara + S. Húmedo (g)	Tara + S. Seco (g)	% Humedad	%Humedad Promedio
17.51	73.33	62.07	25.27	25.71
18.23	70.2	59.43	26.14	

“El contenido de humedad de la muestra es bastante alto, por lo que se intuye, su capacidad drenante será baja”

Límites de Atterberg. Se usó la norma ASTM D 4318 para la determinación de los límites plástico y líquido, obteniendo los siguientes resultados.

- **Límite Plástico**

Tabla 9

Límite Plástico Suelo Natural.

Peso Tara (g)	Tara + S. Húmedo (g)	Tara + S. Seco (g)	% Humedad	%Humedad Promedio
6.25	14.27	11.87	42.7	42.59
5.93	14.35	11.84	42.47	

- **Límite Líquido**

Se utilizó el método multipunto, tipo A obteniendo los siguientes resultados

Tabla 10

Límite Líquido Suelo Natural.

N° de Golpes	Peso Cap	Cap + S. Húmedo	Cap + S. Seco	% Humedad
33	5.94	19.15	13.55	73.59
24	8.64	24.83	17.79	76.94
17	8.45	25.77	18.16	78.37

“Los valores obtenidos de Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP) fueron 76 y 43 respectivamente, dándonos un Índice de Plasticidad de 33”

Análisis Granulométrico por Tamizado. Tomando como referencia la Norma ASTM D

6913 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11

Análisis Granulométrico por Tamizado Suelo Natural.

N° Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	% Pasa
3"	75	0	100
2"	50	0	100
1 1/2"	37.5	0	100
1"	25	0	100

3/4"	19	0	100
3/8"	9.5	0	100
4	4.75	0	100
10	2	0	100
40	0.425	0.06	99.9
200	0.0075	1.62	98.4

“En base a la información granulométrica, mediante Clasificación SUCS se tiene un material tipo MH, limo de alta plasticidad, teniendo los siguiente porcentajes: Grava = 0% ; Arena = 2% ; Finos = 98%, cabe recalcar que al trabajar con un porcentaje de finos del 98%, es de suma importancia realizar un análisis más profundo de las partículas más finas que componen el suelo (Limos y arcillas), por tal razón se realizó un análisis granulométrico por hidrómetro”

Análisis Granulométrico por Hidrómetro. *Se tomó muestra de suelo pasante del tamiz N° 40, usando un valor de gravedad específica 2.70 obteniendo los siguientes resultados:*

Tabla 12

Análisis Granulométrico por Hidrómetro Suelo Natural.

Granulometría por Hidrómetro	
Partículas menores a 0.0075 mm	81.3 %
Partículas menores a 0.005 mm	61.1 %
Partículas menores a 0.002 mm	46.6 %
Partículas menores a 0.001 mm	37.8 %

Relaciones Fundamentales. Tomando como referencia la Norma ASTM D 7263 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13

Relaciones Fundamentales Suelo Natural.

Relaciones Fundamentales		
Vm	95.02	cm ³
Vv	58.06	cm ³
Vs	36.96	cm ³
Va	5.55	cm ³
Vw	52.51	cm ³
Ma	-	g
Mw	52.51	g
Ms	99.78	g
Mm	152.29	g
Den. Seca	1.05	g/cm ³
Den. Húmeda	1.6	g/cm ³
e	1.57	
n%	61.11	%
G. Saturación	90.44	%

“Se obtuvo un índice de vacíos de 1.57 y una porosidad del 61.11% muy acordes al tipo de material con el que se trabajó, limo de alta plasticidad”

Proctor Modificado. En base a el porcentaje de retenido en los tamices 3/4, 3/8 y N°4, el método para el ensayo fue el “A” con un peso del martillo de 44.48 N, con 5 capas y 25 golpes por capa, en la tabla 14 se presenta la tabulación de resultados.

Tabla 14

Ensayo de Compactación Suelo Natural.

Prueba N°	1		2		3		4	
P. molde + S. húmedo (g)	1,473		5,615		5,475		5,476	
Peso molde (g)	4054		4,06		4,07		4,08	
Peso suelo húmedo (g)	1,419		1,420		1,421		1,422	
Densidad Húmeda (g/cm3)	1,512		1,513		1,514		1,515	
Peso Cápsula (g)	17.97	16.89	18	18.68	18.47	16.52	18.16	17.86
P. Cápsula (g) + S. Húmedo (g)	86.59	79.02	78.99	79.81	100.03	113.88	101.87	101.72
P. Cápsula (g) + S. Seco (g)	76.63	69.83	67.65	68.62	81.75	92.06	80.34	80.2
Contenido de Humedad (%)	16.98	17.36	22.84	22.41	28.89	28.89	34.63	34.52
Humedad Promedio (%)	17.17		22.62		28.89		34.57	
Densidad Seca (g/cm3)	1.371		1.356		1.367		1.333	

“Con los resultados se generó la respectiva curva de compactación, dándonos los valores de Densidad seca máxima y % Humedad óptima de 1.371 (g/cm3) y 27.42 % respectivamente”

Cono de Penetración Dinámica (DPC). Con los valores del índice de golpe DPC (mm/golpe) tomados en campo, se realizó una correlación para obtener el valor del CBR con la implementación de la ecuación 14 otorgada por el Cuerpo de Ingenieros (USA) que se presenta a continuación, posteriormente se hizo una segunda correlación entre este valor del CBR para encontrar el valor del módulo de elasticidad del material, usando ecuación 15, los resultados de este análisis se encuentran en la parte de anexos.

$$CBR = 292 * (DPC)^{-1.12} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$E = 17.6 * (CBR)^{0.64} \quad \text{Ecuación 15}$$

“Los valores de CBR y E fueron de 5.34 y 51.42 (Mpa) respectivamente, cabe recalcar que al ser calculados en forma de correlación se tendrá cierto error en su magnitud, por tal motivo hemos realizado un CBR en laboratorio, cuyo valor al 95% fue de 4.39, entonces, al tener una diferencia de alrededor del 15% el valor de E variará de manera significativa”

Triaxial No Consolidado – No Drenado (U – U). En base a los valores obtenidos por las relaciones fundamentales, tanto de Gravedad Sólidos como de Peso específico, 2.70 y 10.85 (KN/m³) respectivamente, se realizaron 3 muestras o especímenes remoldeados mismos a los que se les aplicaron 3 estados de carga distintos (0,50; 1 y 2 Kg/cm²) todo esto para calcular los valores referentes a cohesión y ángulo de fricción interna, dando los siguientes resultados.

Tabla 15

Triaxial U – U en Suelo Natural.

Muestra Remoldeada	A	B	C
Altura Inicial (mm)	99.65	99.65	99.44
Diámetro Inicial (mm)	49.7	49.7	49.67
Peso Específico Seco Inicial (Kn/m ³)	10.85	10.79	10.83
Contenido de Humedad Inicial (%)	50.32	51.06	51.08
índice de Vacíos	1.44	1.45	1.45
Grado de Saturación (%)	94.21	94.75	95.42
Peso Específico Seco Final (Kn/m ³)	16.36	16.3	16.3
Contenido de Humedad Final (%)	51.08	51.06	50.32
Esfuerzo Principal Mayor (Kpa)	183	237.2	352.1
Esfuerzo Principal Menor (Kpa)	50.4	100.1	200.1
Esfuerzo Axial (%)	18.34	17.9	18.31
Fuerza Compresión (Kpa)	132.6	137.2	152

“Se realizaron los respectivos círculos de Mohr en base a los resultados de los distintos estados de carga para calcular finalmente los valores de cohesión y ángulo de fricción interna, teniendo como resultado 59.57 (Kpa) y (26°) respectivamente”

Capítulo IV

Evaluación de un terraplén de relleno del corredor vial E20.

El terraplén analizado forma parte de un tramo del corredor vial para lo cual es muy importante saber la clasificación que se encuentra la vía y consecuente predisponer requerimientos mínimos geométricos y mecánicos del terraplén con el fin de que la vía soporte condiciones externas como por ejemplo las cargas de tráfico.

El TPDA es la unidad con la que podemos medir la cantidad de tráfico existente en una carretera. La forma de cálculo del TPDA es a raíz de un sondeo visual, puntual del tráfico existente en un tiempo determinado, para poder conocer los factores de cambio o de variación, es por eso que se realizó un conteo vehicula en la zona crítica, como evidencia de ello se colocó la figura 30.

Figura 30

Conteo del volumen de tráfico in situ.


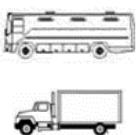

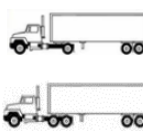

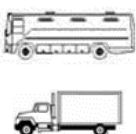

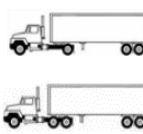


El tráfico promedio según lo observado durante una hora en la arteria vial de la E20, justo en el tramo de Zapotal, Quinindé es el siguiente:

El 72% del tránsito corresponde a vehículos livianos, el 23% a vehículos pesados de 2 ejes, el 1% a 3 ejes y el 5% de 4 o más ejes como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Conteo vehicular de una hora en el lugar de estudio.

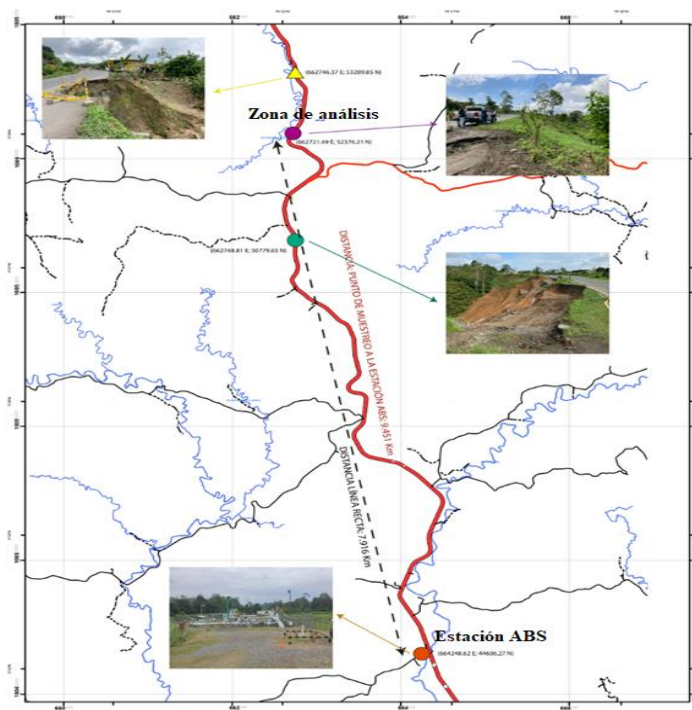
ESMERALDAS - QUITO					
HORA	LIVIANOS	2 EJES	PESADOS	4,5,6 EJES	TOTAL
					
14:45-15:00	26	9	1	7	43
15:00-15:15	49	19		2	70
15:15-15:30	28	6		1	35
15:30-15:45	23	10	2	1	36
15:45-16:00	43	11		4	58
16:00-16:15	23	7		3	33
	192	62	3	18	275
QUITO - ESMERALDAS					
HORA	LIVIANOS	2 EJES	PESADOS	4,5,6 EJES	TOTAL
					
14:45-15:00	25	5	1		31
15:00-15:15	19	8			27
15:15-15:30	31	7	1	1	40
15:30-15:45	19	6			25
15:45-16:00	27	8			35
16:00-16:15	15	7		2	24
	136	41	2	3	182

El cantón que presenta mayor tránsito de vehículos en la provincia de Esmeraldas, es Quinindé con 7086 vehículos, de los cuales 5446 eran livianos, 141 eran buses, 1499 eran vehículos pesados. La parroquia más notoria es Rosa Zarate (Quininde), con 2.595 vehículos, de los cuales 2.158 ligeros, 11 colectivos y 426 pesados (Gobierno Provincial de Esmeraldas, 2017).

El trabajo se basa en las condiciones de los materiales, la topografía de la vía, el talud y el terraplén de relleno para poder analizar las posibles fallas y proponer medidas preventivas o correctivas, por lo tanto, en la figura 31 se muestra la ubicación del lugar de interés.

Figura 31

Mapa de ubicación de puntos de estudio.



Sección transversal

Para conocer la geometría del terreno se procedió a la utilización de un nivel de ingeniero buscando la conformación real y actual del sitio con el fin de analizar y modelar en condiciones óptimas, como se presenta en la Figura 32, Figura 33 y Figura 34.

Figura 32

Sección tipo del terreno de 25 metros a ambos lados del eje vial, con el uso del Software AutoCAD 2021.

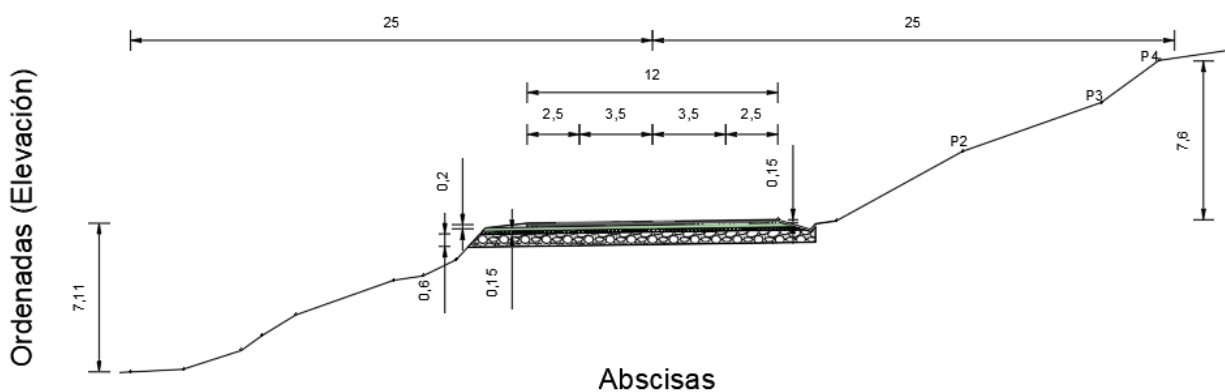


Figura 33

Sección tipo del terreno de 100 metros a ambos lados del eje vial, con el uso del Software AutoCAD 2021.

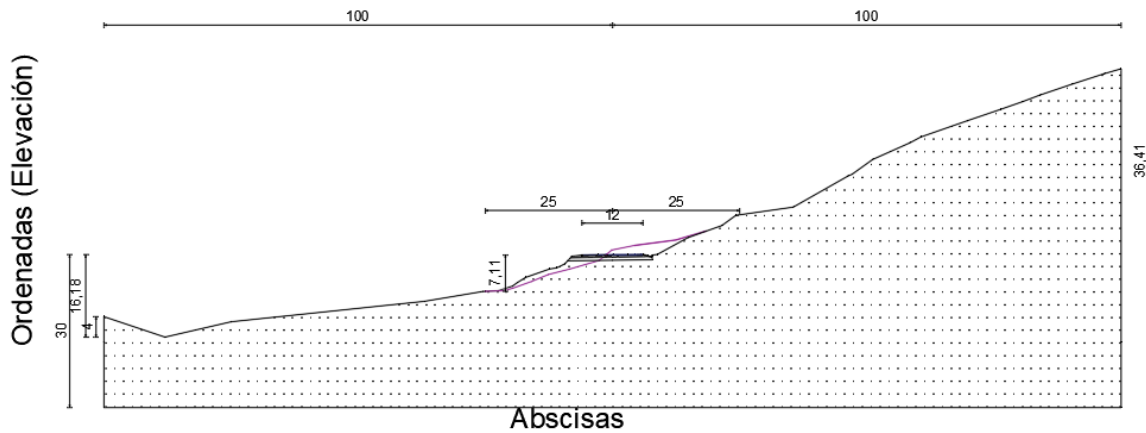
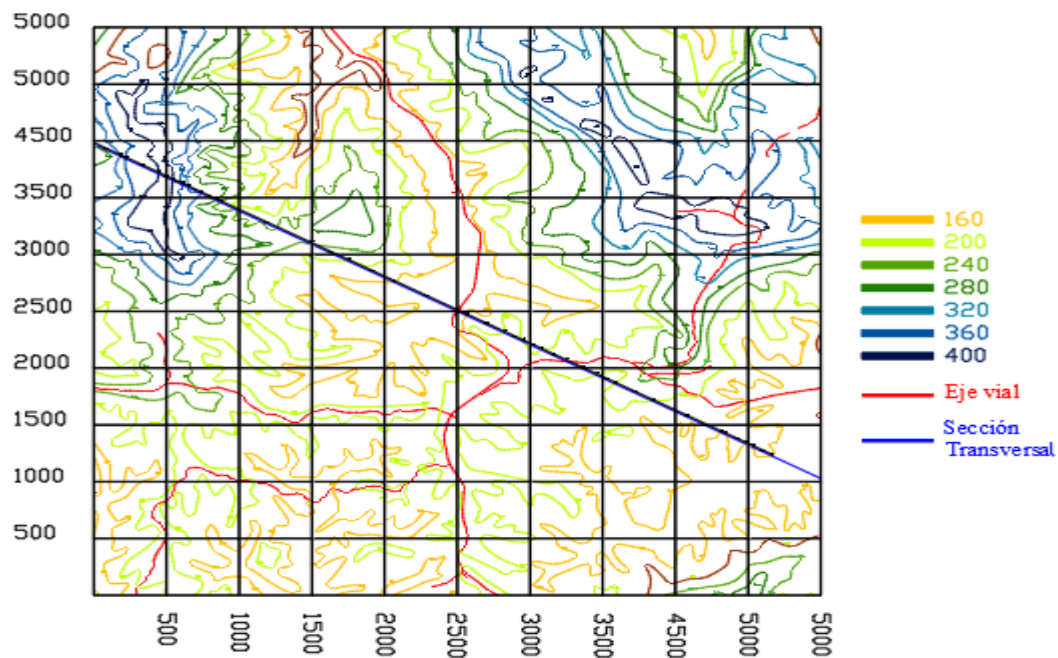


Figura 34

Curvas de nivel.



Uso de Software Académico

Previo a cualquier análisis en cualquier software que se quiera utilizar, es muy importante que se tenga en cuenta ciertos parámetros fundamentales previos, tales como lo son la geometría de nuestro terraplén, en este caso se utilizaran los datos obtenidos en sitio con el levantamiento realizado.

De igual manera se necesitó conocer el tipo de material del que está compuesta la zona de estudio y las propiedades de cada una de las partes pertenecientes al terraplén, las cuales son obtenidas a partir de ensayos de laboratorio.

Figura 35

Levantamiento de la sección transversal del terraplén.





GeoStudio 2018 R2

Definición de la Geometría

Se procede a la importación de los puntos (Figura 36) obtenidos en sitio con el nivel de ingeniero previamente utilizados para graficar la sección del terreno en la

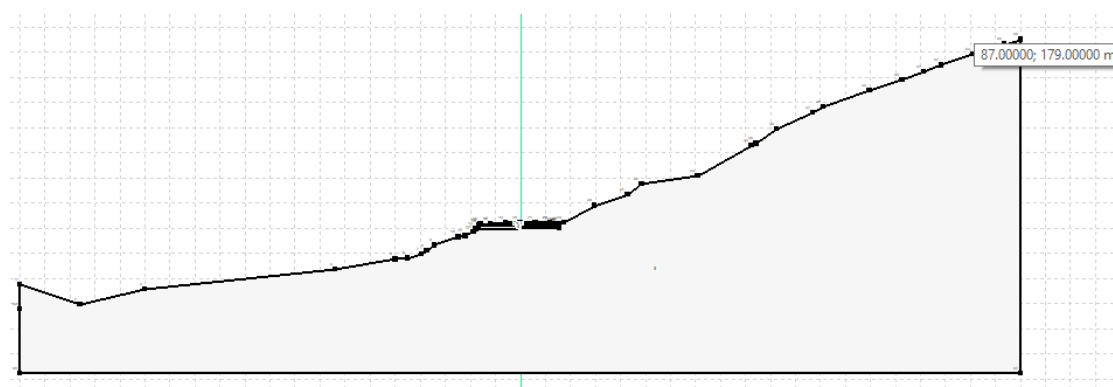
Figura 36

Base de datos de los 6 primeros puntos (de 30) utilizados para la modelación en el Software GeoStudio 2018 R2.

ID	X (m)	Y (m)	Etiqueta	Andado
1	-100	161	Punto+Número	Sí
2	-74.999999	156	Punto+Número	Sí
3	-49.999999	151	Punto+Número	Sí
4	-41.500001	150.5	Punto+Número	Sí
5	-35.000001	149.46	Punto+Número	Sí
6	-27.899999	147.484	Punto+Número	Sí

Figura 37

Región de dominio del terraplén (Software GeoStudio 2018 R2).



Definición de los Materiales

En base a los ensayos realizados del material natural presente en la zona de análisis, y parámetros de las capas de la estructura de la vía, sacado de fuentes bibliográficas, sabiendo que es una vía arterial de clase I, se presentan los datos de la Tabla 17 para el Software Geostudio:

Tabla 17

Parámetros mecánicos de los materiales para Geostudio.

Estructura del pavimento			
Asfalto	Peso específico $\gamma =$	20	KN/m ³
Base	Peso específico $\gamma =$	18	KN/m ³

Subbase	Peso específico $\gamma=$	17	KN/m ³
Material de mejoramiento (Subrasante)			
Peso específico	$\gamma=$	16.5	KN/m ³
Ángulo de fricción	$\phi=$	35°	-
Cohesión	$C=$	0	KPa
Suelo Natural (MH) Limo plástico			
Peso específico	$\gamma=$	14.6	KN/m ³
Ángulo de fricción	$\phi=$	15	-
Cohesión	$C=$	35	KPa

Análisis Factor de Seguridad

Para el modelamiento del terraplén propuesto se lo realizó definiendo el análisis con el método de Morgentern-Price, el cual permite identificar el plano de falla y el factor de seguridad, por lo tanto, para un buen diseño, F debe ser mayor o igual que 1, en este caso como la sección ya está hecha, se comprueba que el factor de seguridad y de ser el caso posteriormente se propone una corrección a los taludes de corte y relleno (terraplén) cumpliendo con lo estipulado en el MTOP (2003).

En el software se definen el tipo de análisis, el cual se opta por con la opción grilla y radio, pero también se puede utilizar la otra con entrada y salida, esta última sirve para ver los planos de falla de zonas particulares y no todos los posibles casos.

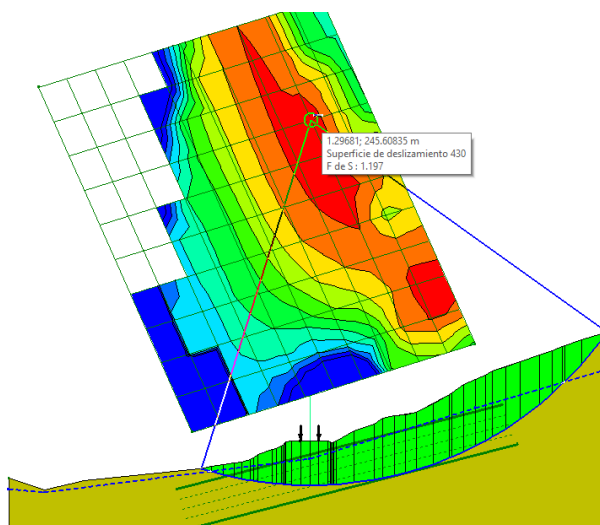
Para modelar en los programas los terraplenes, se necesita las cargas de tráfico, por ende, tomamos un valor según lo observado en el lugar, considerando que pasan vehículos pesados de alta carga, por lo cual se opta por una carga de 48 toneladas de un tracto camión de tres

ejes y semi- remolque de 3 ejes, siguiendo de referencia las tablas de cargas estipuladas en la NEVI (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012).

Antes de ejecutar el programa se puso dos cargas en cada sentido vial de 48 toneladas, después de ver todos los factores de seguridad se escoge el más bajo, el cual dio de 1.19, siendo un valor muy aceptable, tal como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Rango de superficie de deslizamiento (Software GeoStudio 2018 R2).



Cálculo de la carga sísmica

Para el sector de Quinindé el factor Z asumido es de 0.5, el cual se lo caracteriza con una peligrosidad sísmica muy alta, se lo determina a partir de la tabla 1 del (CÓDIGO NEC-SE-DS, 2014, pág. 94).

En la NEC, también se da a conocer la clasificación de los perfiles de suelo desde el tipo A hasta los tipos E y sus subdivisiones, tal cual se menciona en la tabla 2 del (CÓDIGO NEC-SE-DS).

Sabiendo el tipo de suelo que hay en zona de proyecto se procede a determinar el F_a , utilizando la tabla 3 del (CÓDIGO NEC-SE-DS, 2014, pág. 31).

Una vez obtenido los valores se procede a calcular la componente vertical del sismo se utiliza la siguiente formula:

$$E_v \geq \frac{2}{3} E_h \quad \text{Ecuación 16}$$

Remplazando valores se obtiene:

$$a_{m\acute{a}x} = Z * F_a \quad \text{Ecuación 17}$$

$$a_{m\acute{a}x} = 0.5 * 0.85$$

$$a_{m\acute{a}x} = 0.425g$$

$$E_h = \frac{0.6(a_{m\acute{a}x})}{g} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$E_h = \frac{0.6(0.425g)}{g}$$

$$\mathbf{E_h = 0.255}$$

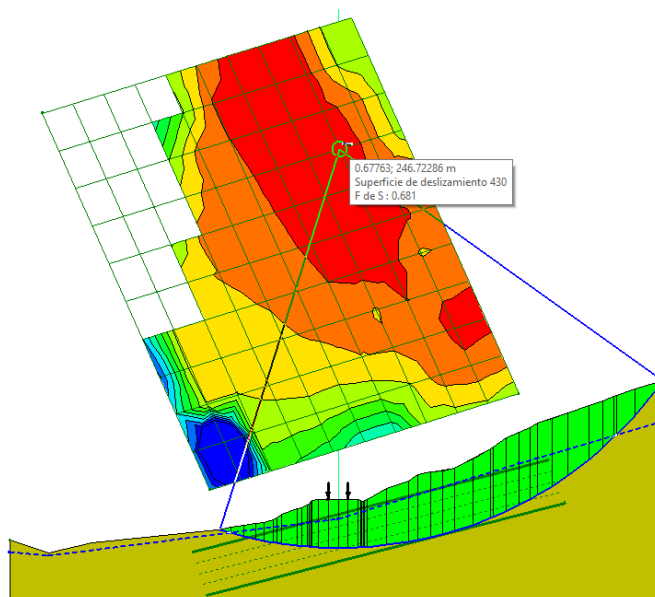
Una vez aclarado esto se toma como presunción el valor de la aceleración sísmica, el peor de los casos entre el calculado según la NEC (2011) o el valor que se presenta en la Tabla 6 según el lugar de análisis, siendo así el de Cupa, Quinindé.

$$a = \max(0,26; 0,22)g \quad \text{Ecuación 19}$$

$$a = 0,26 g$$

Figura 39

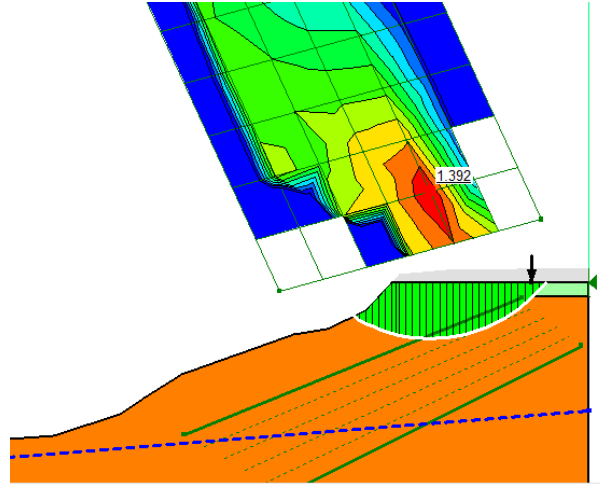
Plano de falla aplicando el sismo (Software GeoStudio 2018 R2).



Adicionalmente, se realizó un análisis particular únicamente del terraplén de relleno, colocando cargas de tráfico en la vía de 48 toneladas a cada lado, por tal razón el factor de seguridad da 1.28, es decir que no presentará problemas de falla por desprendimiento de la superficie, en las condiciones expuestas (ver Figura 40).

Figura 40

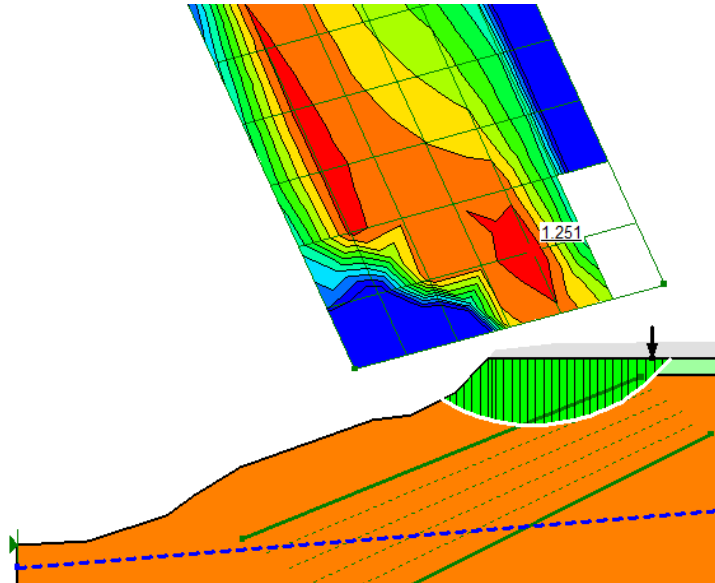
Plano de falla en el terraplén (Software GeoStudio 2018 R2).



Sin embargo, si se añade condiciones externas como es el sismo, el factor de seguridad de las fallas por desprendimiento de cierta superficie del terraplén baja considerablemente, aun así, es superior a 1, es decir que el diseño sigue siendo óptimo en la parte del terraplén de relleno (ver Figura 41).

Figura 41

Plano de falla en el terraplén aplicando el sismo (Software GeoStudio 2018 R2).



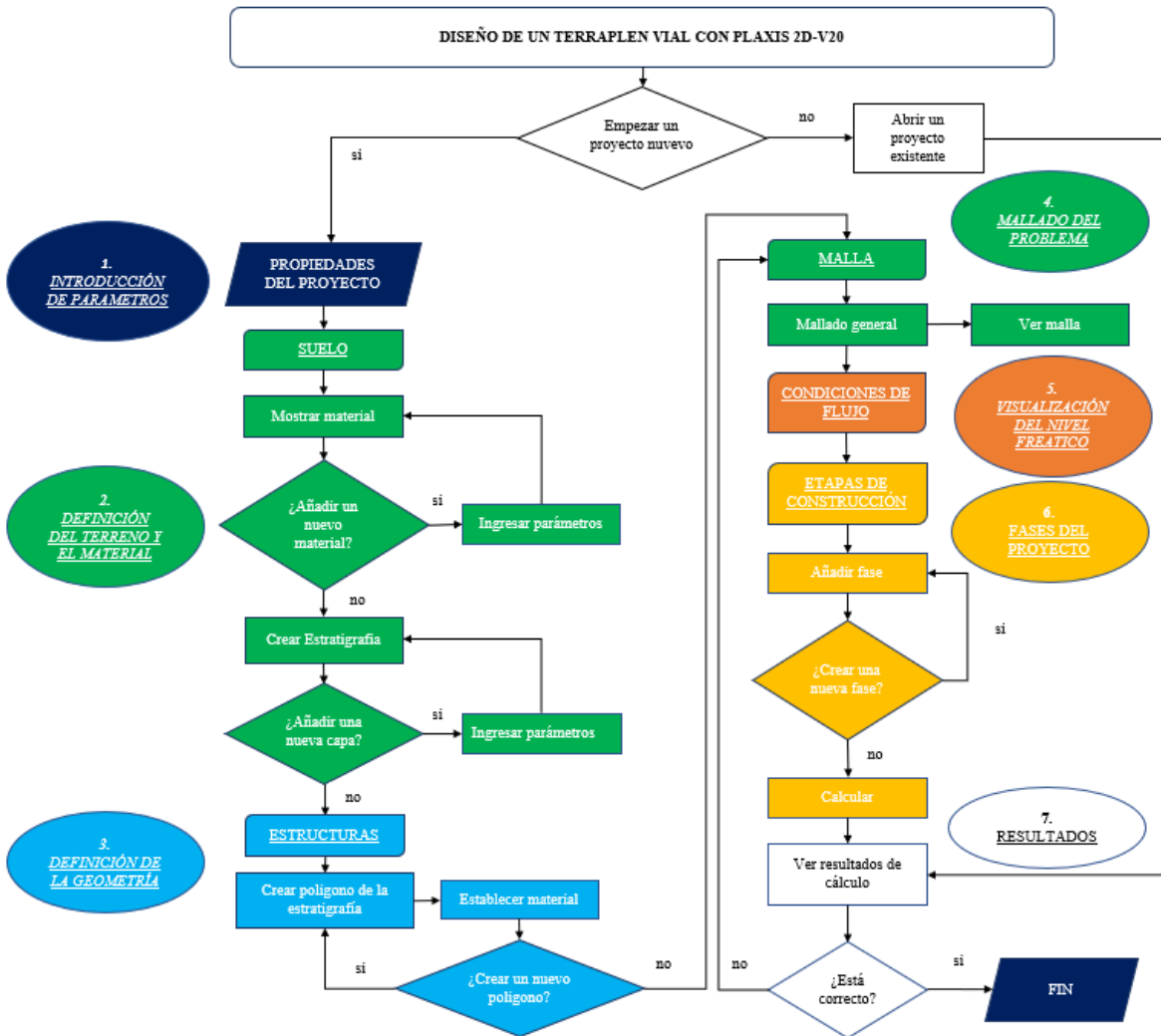
PLAXIS 2D -V20

Con el fin de obtener diseños de terraplenes o taludes óptimos, es necesario que los análisis que se realicen, predispongan cálculos y resultados muy cercanos con respecto a comportamientos que sucederá frente a factores externos, ya sea cargas de tráfico o sismicidad, es por eso que Plaxis, permite colocar propiedades dinámicas como por ejemplo el módulo de elasticidad.

Por tal razón se presenta a continuación la Figura 42 con los procesos a realizar en el software Plaxis, desde la geometría hasta la obtención de resultados de la sección impuesta.

Figura 42

Diagrama de flujo, modelación de la sección propuesta en PLAXIS.

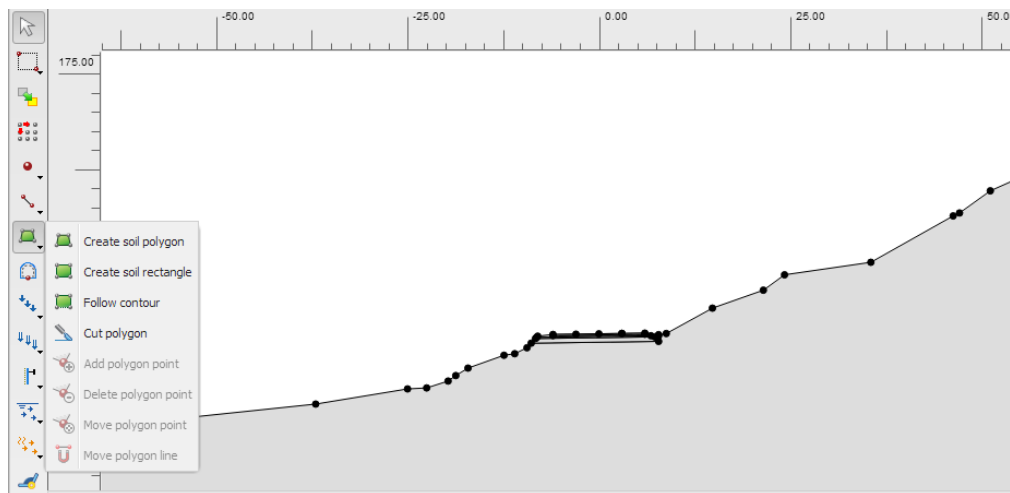


Definición de la geometría

Con la información que se obtuvo en campo se procedió a definir los puntos en el programa, colocando las coordenadas en X la distancia horizontal y en sentido Y la elevación, sabiendo que el punto de referencia (0m;141msnm) es el eje de la vía, tal cual se muestra en la Figura 43.

Figura 43

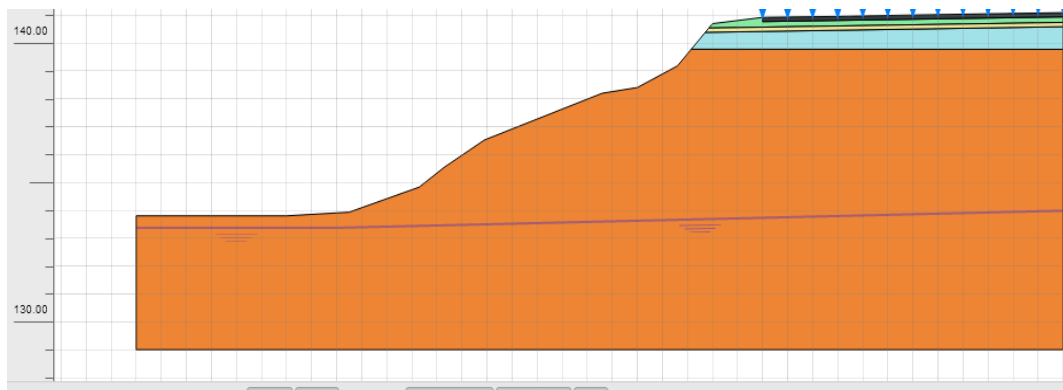
Definición de geometría de sección abierta (Software PLAXIS 2D – V20).



Con el propósito de estudiar a profundidad el comportamiento netamente del terraplén de relleno, se hace un modelado adicional en donde la geometría es como se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Definición de geometría del terraplén y de la vía (Software PLAXIS 2D – V20).



Propiedades de los materiales

Con los ensayos realizados y en base a fuentes bibliográficas, se proponen los parámetros para cada material (ver Tabla 18), que se necesita en el programa académico con el fin de modelar el comportamiento de la zona de interés.

Tabla 18.

Parámetros mecánicos de los materiales para Plaxis.

Carpeta Asfáltica		
Peso seco	20,00	KN/m ³
Peso saturado	23,00	KN/m ³
Módulo de Elasticidad	1'300.000	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0,35	-
Base		
Peso seco	18,00	KN/m ³
Peso saturado	22,00	KN/m ³
Módulo de Elasticidad	340.000	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0,30	-
Subbase		
Peso seco	17,00	KN/m ³
Peso saturado	21,00	KN/m ³
Módulo de Elasticidad	190.000	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0,25	-

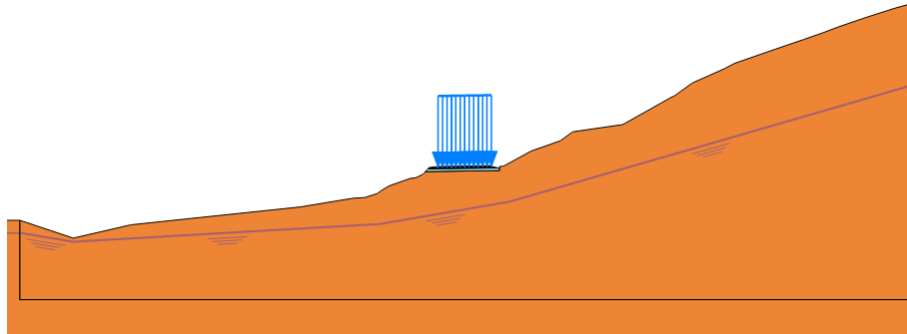
Material de Mejoramiento		
Peso seco	16,50	KN/m ³
Peso saturado	21,50	KN/m ³
Módulo de Elasticidad	150.000	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0,20	-
Cohesión	0,00	KPa
Ángulo de fricción	35,00	°
Suelo Natural		
Peso seco	14,6	KN/m ³
Peso saturado	18,6	KN/m ³
Módulo de Elasticidad	50.000	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0,20	-
Cohesión	35	KPa
Ángulo de fricción	15	°

Cargas

Siendo conservadores se utilizó una alta carga equivalente de tráfico (ver Figura 45), ya que como se mencionó anteriormente, en la vía pasan vehículos pesados, por lo tanto, se utiliza la carga de 48 toneladas, pero para pasar a KN/m/m, el peso se divide en dos partes y también para el ancho de vía, colocando así 30 KN/m².

Figura 45.

Definición de geometría y cargas del terraplén.

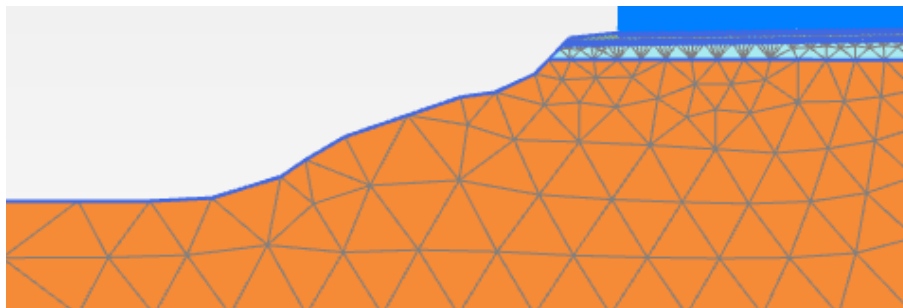


Tipos de análisis. La esencia del programa es que los análisis se los realiza mediante elementos finitos, por lo que los resultados se acercaran más a la realidad que los análisis convencionales, ya que estos últimos omiten algunos procesos con el fin de llegar a ser sencillos en el cálculo.

En si la partición de la geometría en elementos finitos se le conoce como mallado, este mallado se puede optar por definir varias triangulaciones o nodos, pero el cálculo será más complejo y se tomará más tiempo, entonces se optó la un mallado no tan amplio (ver Figura 46).

Figura 46

Mallado de la sección.



El primer análisis que se hace es el que viene por defecto Ko, aquí no se consideran cargas externas, aquí solo se ve las tensiones efectivas y las presiones de los materiales (ver Figura 47).

Figura 47





Análisis inicial.

Name	Value
General	
ID	Initial phase [InitialPhase]
Calculation type	K0 procedure
Loading type	Staged construction
ΣM_{weight}	1.0000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	0
Last step	0
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>

El segundo análisis que se define es el del factor de seguridad por modos de falla, es decir que coeficiente se tiene en relación momentos que resiste el suelo sobre momentos actuantes (ver Figura 48).

Figura 48

Análisis factor de seguridad

Name	Value
General	
ID	Factor de Seguridad [Phase_
Start from phase	Initial phase ▼
Calculation type	 Safety ▼
Loading type	 Incremental multiplier ▼
M_{sf}	0.10000
Pore pressure calculation type	 Use pressures from p ▼
Thermal calculation type	 Ignore temperature ▼
First step	1
Last step	100
Design approach	(None) ▼
Special option	0

En cambio, para realizar un análisis de deformaciones elástico-plástico, se define como está en la siguiente figura. Sabiendo que el actual trabajo se tiene suelos limos altamente plásticos, este estudio es muy importante (ver Figura 49).

Figura 49

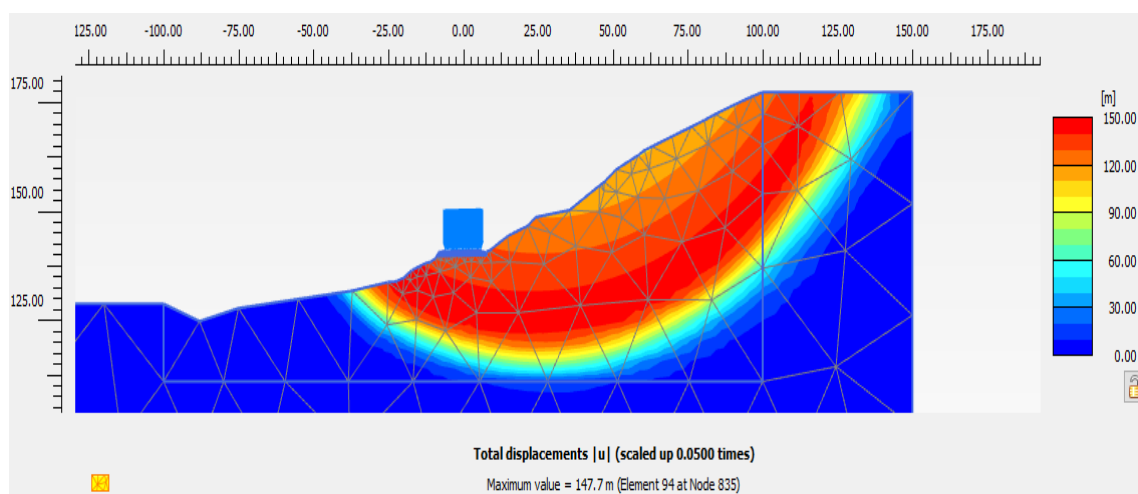
Análisis elástico-plástico.

Name	Value
General	
ID	Cálculo plástico [Phase_2]
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
ΣM_{stage}	1.0000
ΣM_{weight}	1.0000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	0.0000 day
First step	101
Last step	183
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	

Interpretación de resultados para la sección actual. En el análisis por factor de seguridad, se obtuvo una falla de la superficie, justo en la parte roja tal cual se aprecia en la Figura 50.

Figura 50

Superficie de falla en sección abierta.



En PLAXIS 2D Output se selecciona la opción de cálculo de la información y aparece el factor de seguridad siendo de 1.067, por lo que este valor es más bajo que el factor que se obtuvo en el programa Geostudio (ver Figura 51).

Figura 51

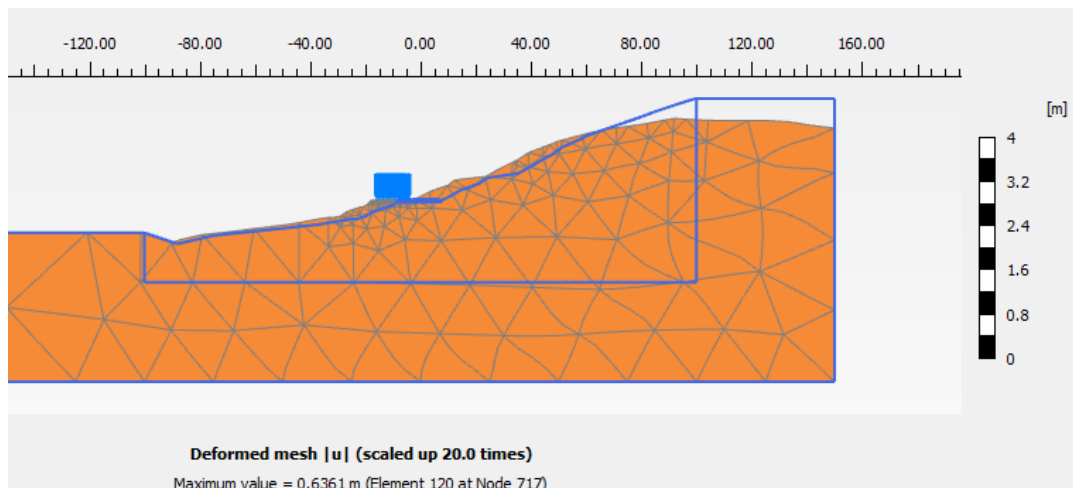
Factor de seguridad.

Factor de Seguridad [Phase_1]			
Initial			
Classical mode			
Safety			
False			
Picos			
64 bit			
2.000			
0.05861E-6			
		ΣM_{Weight}	1.000
M_{sf}	0.05968E-3	ΣM_{sf}	1.067
Increment	0.000	End time	0.000

Como bien se mencionó el suelo del lugar es limo altamente plástico por lo que es más probable que el material se deforme como se ven en la siguiente figura, antes que ocurra una falla en el suelo causado por el esfuerzo cortante en una superficie de rotura (ver Figura 52).

Figura 52

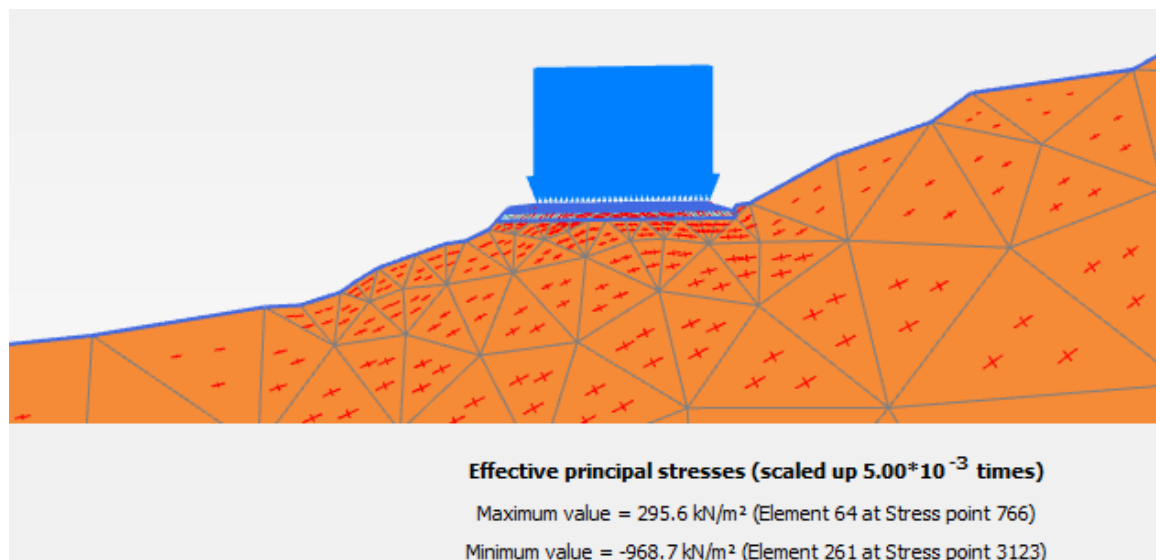
Desplazamiento de los materiales después de colocar las cargas.



Para analizar más a profundidad el comportamiento de los materiales, se presenta los valores máximos de esfuerzos efectivos, pues queda demostrado que en la estructura del pavimento es donde mayores esfuerzos hay, disminuyendo los valores hacia el estrato natural del suelo hasta que se disipe totalmente (ver Figura 53).

Figura 53

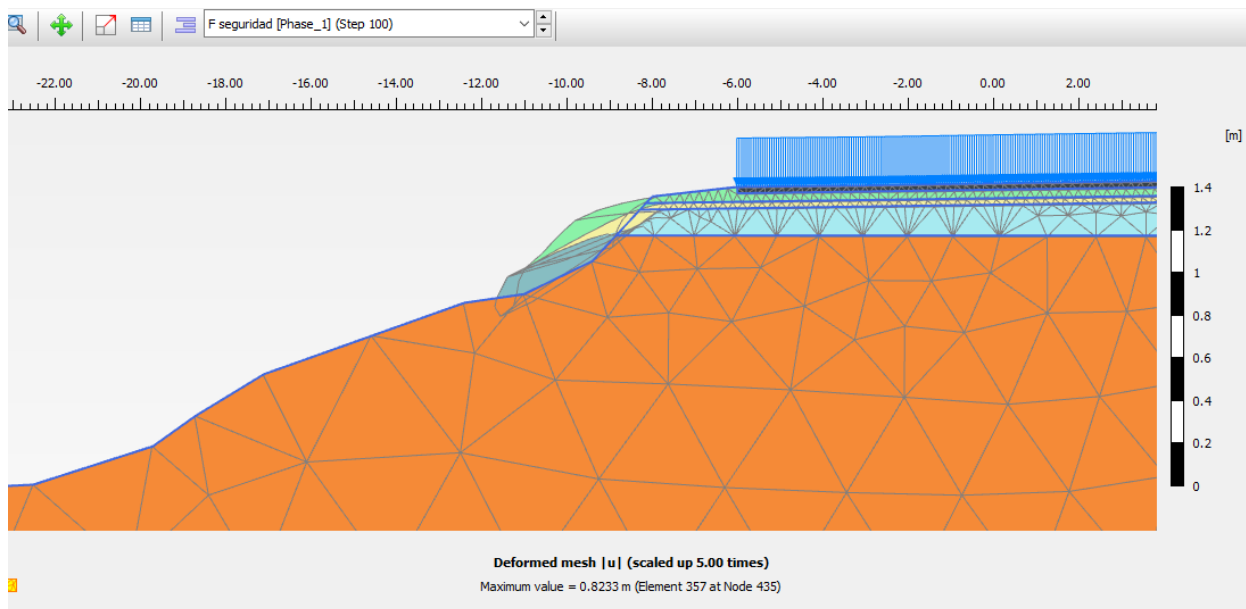
Esfuerzos efectivos.



Al realizar una inspección in situ del lugar de interés se pudo ver que hay una falla o desprendimiento y cuando se ejecutó el programa solo con la geometría del terraplén de relleno y de la estructura del pavimento considerando cargas, como resultado dio una falla similar a la real aunque por presunción el problema sucedió por un conjunto de factores, las constantes lluvias, acompañado de un mal drenaje, falta de mantenimiento a los costados de la vía, pero en el programa solo se consideró las cargas de tráfico, aun así se obtiene datos aceptables para tomar correctivos y evitar daños colaterales (ver Figura 54).

Figura 54

Desplazamiento de los materiales de la estructura del pavimento y del terraplén.



En el análisis elástico-plástico se presentó una deformación máxima de $6.47 \cdot 10^{-3}$, es decir que no se evidenciará problemas de deformaciones en conjunto excesivas de los materiales (ver Figura 55).

Figura 55

Deformación máxima probable en el análisis elástico-plástico.

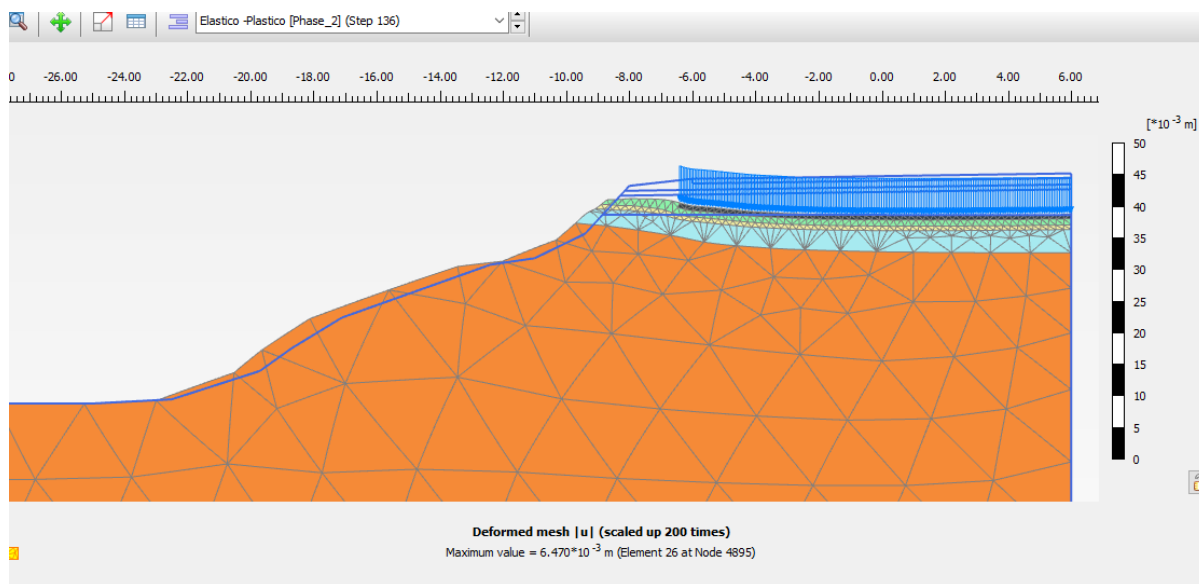
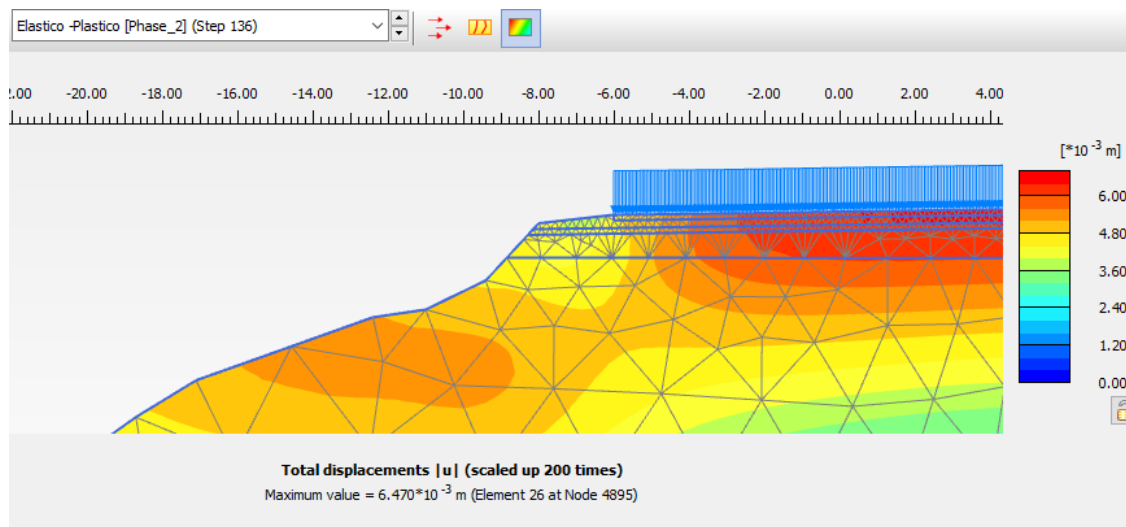


Figura 56

Desplazamientos verticales de los materiales.



Capítulo V

Mejoramiento de un terraplén de relleno del corredor vial E20

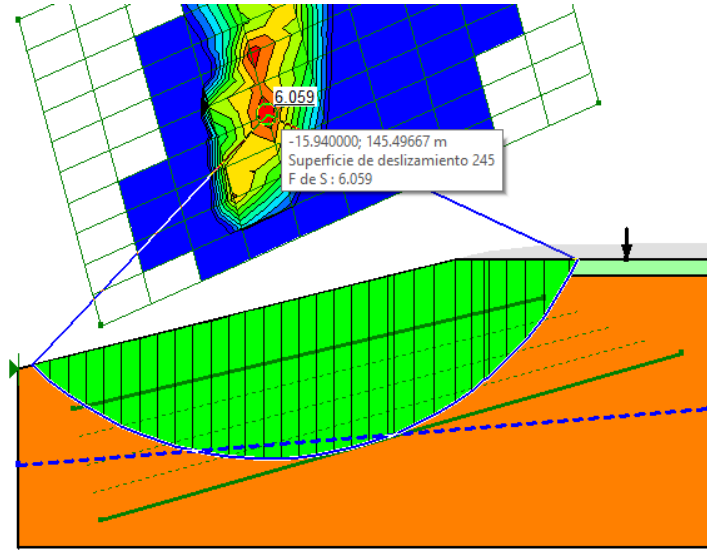
Cambio de geometría

Para mejorar las condiciones de seguridad se optó por un cambio en la inclinación del terraplén de relleno una relación 4:1 como lo estipula el MTOP (2003), para vías de clase I como se muestra en la Figura 57.

Por lo que, al analizar la superficie de falla de la nueva geometría, el factor de seguridad aumento considerablemente a 6, entonces se podría bajar la relación a 3:1, por cuestiones de presupuesto.

Figura 57

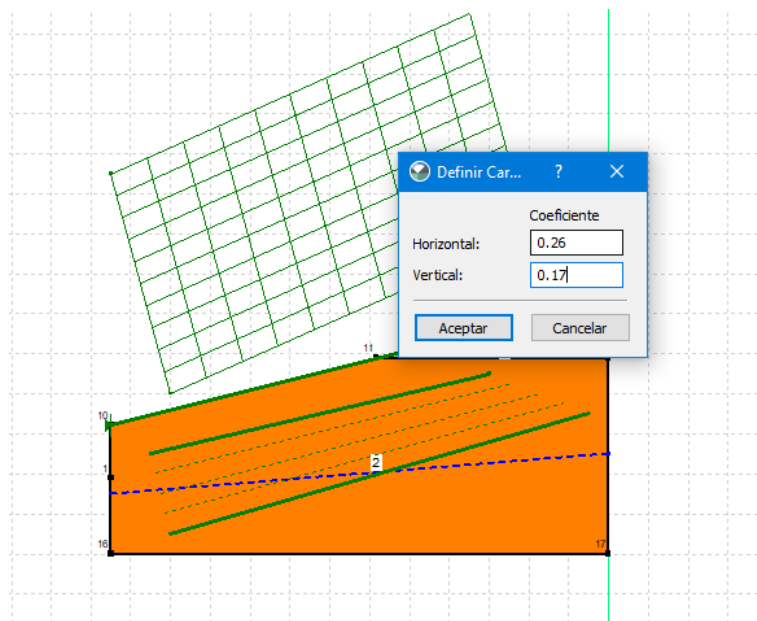
Superficie de falla terraplén 4:1 en Geostudio.



Se vuelve a considerar efectos externos como es el sismo por lo que se pone el coeficiente de 0.26 calculado en horizontal y 0.17 para el sentido vertical (ver Figura 58).

Figura 58

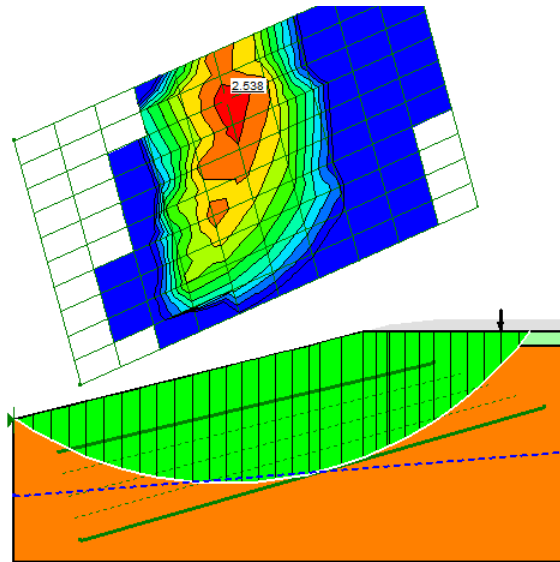
Definición de las cargas sísmicas.



Ejecutando el programa se ve que el factor baja, pero no tanto como lo fue cuando el terraplén tenía una inclinación más pronunciada (ver Figura 59).

Figura 59

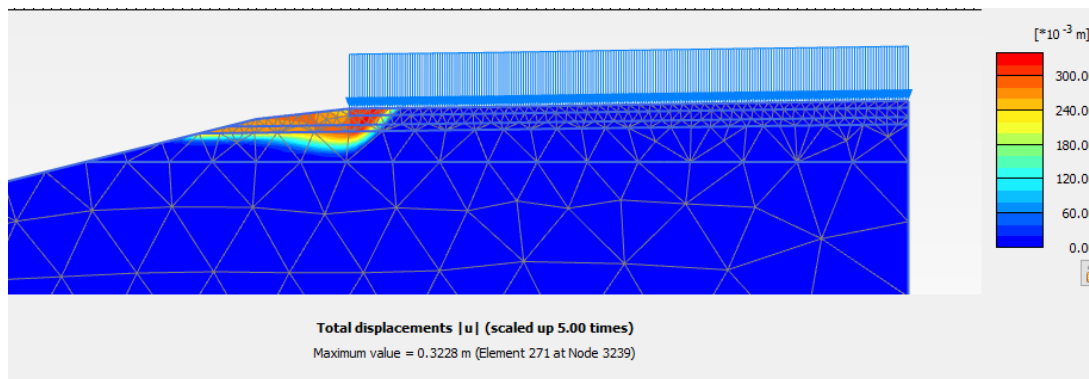
Superficie de falla de terraplén 4:1 considerando el sismo.



Utilizando el programa PLAXIS, con la nueva geometría se evidencia que la superficie de falla es aún más pequeña, como se evidencia en la Figura 60.

Figura 60

Desplazamiento de los materiales después de colocar las cargas (Software PLAXIS 2D – V20).



El factor de seguridad comparado con la geometría anterior dio de 1,07 en el mismo programa y la nueva propuesta subió considerablemente a 2.23 como se muestra en la Figura 61.

Figura 61

Factor de seguridad de terraplén 4:1 en PLAXIS V20.

Calculation information				
Phase	F seguridad [Phase_1]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1.000			
Relative stiffness	0.02666E-6			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	1.079E-3	ΣM_{sf}	2.234
Time	Increment	0.000	End time	0.000

En el análisis elástico-plástico se obtuvo las siguientes deformaciones tanto en dirección horizontal u_x como en dirección vertical u_y (ver Figura 62 y Figura 63).

Figura 62

Desplazamientos totales u_y .

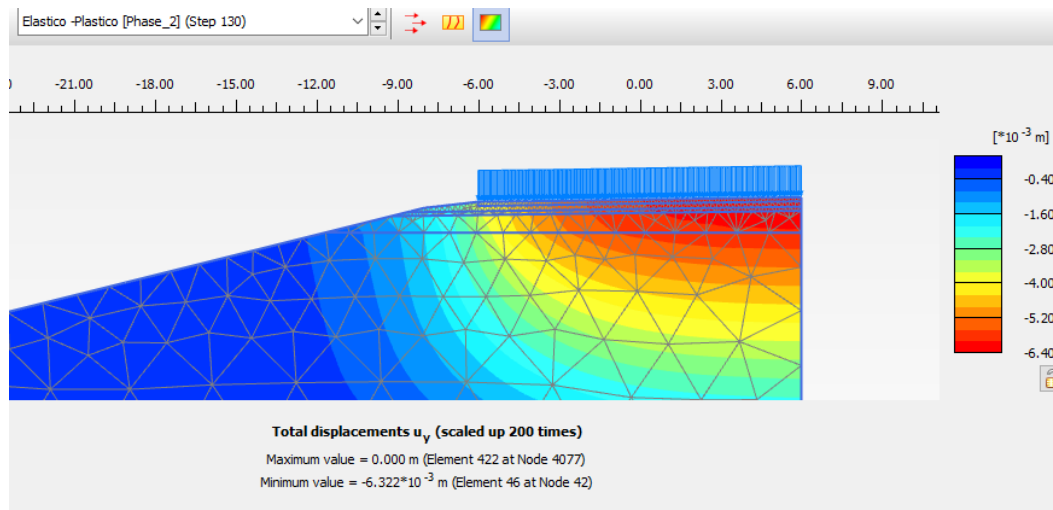
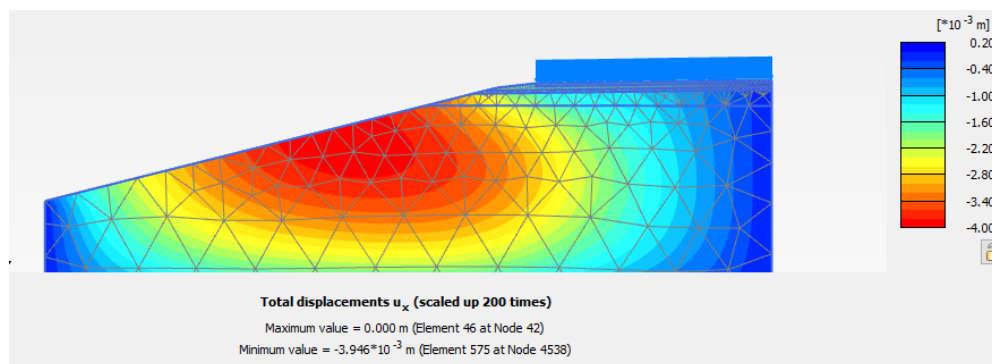


Figura 63

Desplazamientos totales u_x .



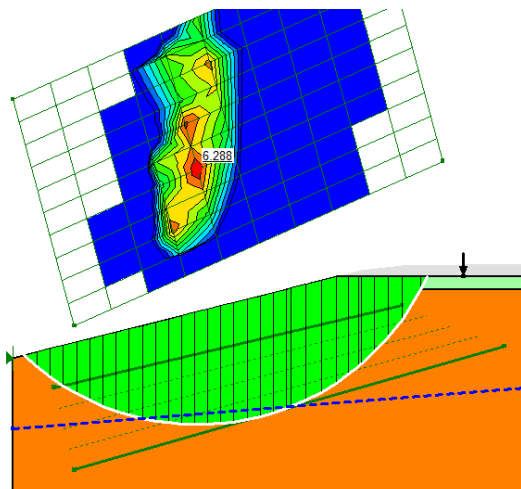
Mejoramiento de la subrasante con diatomita

Al colocar las propiedades mecánicas del material de mejoramiento con la diatomita, tanto en el programa Geostudio como en PLAXIS 2D, se volvió a hacer los respectivos análisis para constatar la optimización del diseño de terraplenes o de la subrasante en la conformación de la estructura del pavimento.

Con respecto al factor de seguridad, el valor se elevó apenas por lo que, en la falla por esfuerzos cortantes, es decir que este análisis no se nota una amplia mejoría (Figura 64).

Figura 64

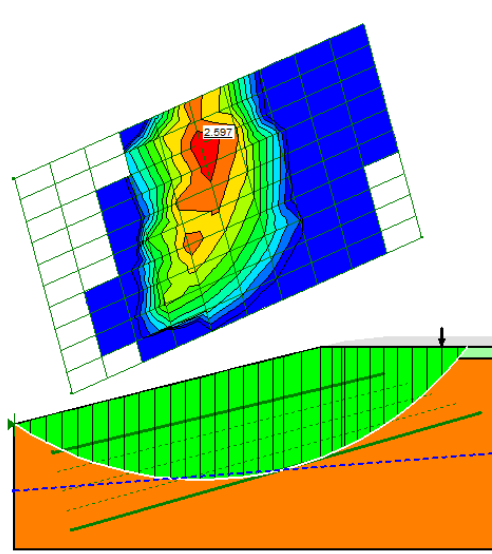
Factor de seguridad utilizando material de mejoramiento con diatomita.



El caso del análisis considerando el sismo, es el mismo que el anterior, hay una leve mejoría en el diseño (Figura 65).

Figura 65

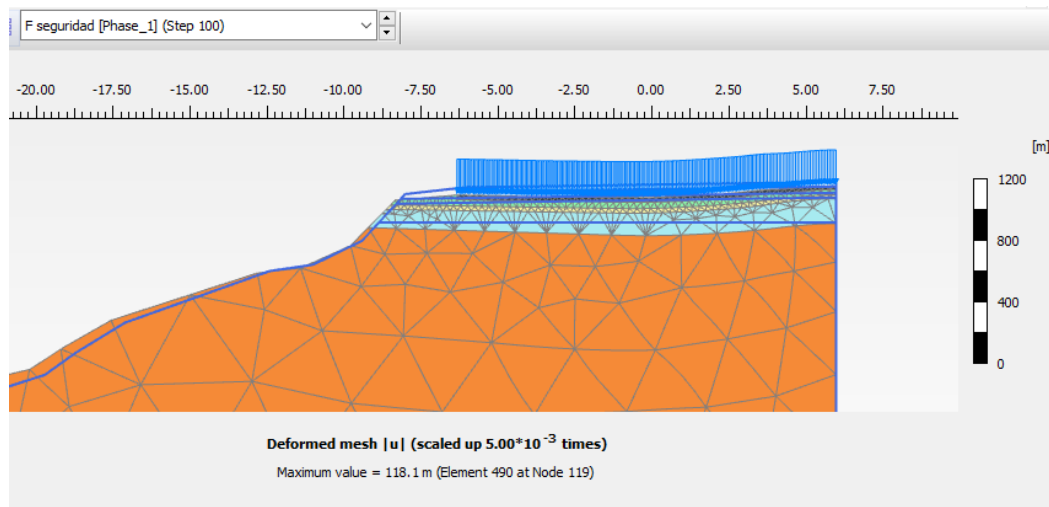
Superficie de falla considerando eventos sísmicos.



Ahora en el caso de la modelación en PLAXIS, los resultados son más prometedores, considerando que en este programa se han puesto más variables como por ejemplo el módulo de elasticidad. Es por eso que las deformaciones son mucho menores comparando con la sección estudiada al inicio, sin material de mejoramiento con diatomita (ver Figura 66).

Figura 66

Deformaciones en el análisis de factor de seguridad.



El factor de seguridad se ha incrementado de manera satisfactoria de manera que antes era de 0.8 y en este caso dio de 2.47 como se muestra en la Figura 67.

Figura 67

Factor de seguridad en sección con material de mejoramiento.

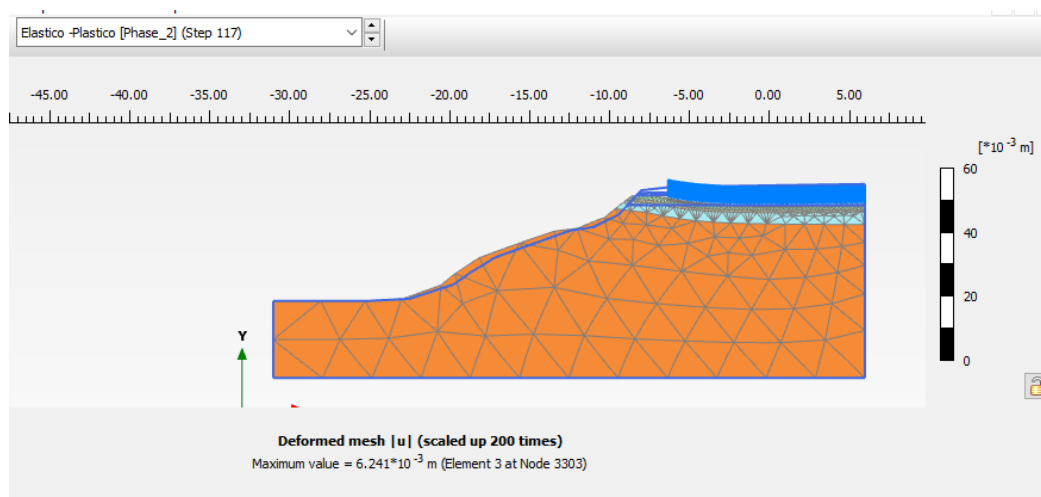
Step info				
Phase	F seguridad [Phase_1]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1.000			
Relative stiffness	1.832E-9			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	-7.774E-6	ΣM_{sf}	2.468
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	1.000
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000

En cuanto a los resultados que se calcularon gracias al modelo elástico-plástico, los desplazamientos tanto verticales con horizontales son mínimos, es decir que un diseño con

material de mejoramiento de diatomita, ayuda mucho a la estabilización de materiales (ver Figura 68).

Figura 68

Deformaciones en el análisis elástico-plástico.



Drenaje (Propuesta de Diseño de Muros de Gaviones Autodrenante)

Con el fin de dar una solución a la parte en donde falló el terraplén y la vía por falta de mantenimiento y un buen drenaje especialmente en época de intensas lluvias, se propone una solución adicional, el de colocar un muro de gaviones, que drene perfectamente el agua para prevenir colapsos del relleno por saturación de los materiales, incremento de cargas por tráfico y el factor de sismo.

Figura 69

Inspección de la falla del terraplén y la vía.



Datos para el diseño:

Tabla 19

Tabla de los pesos totales y los momentos resistentes.

Peso del terreno	$g_s =$	1,46 tn/m ³
Peso de la piedra	$g_r =$	2,70 tn/m ³
Ángulo de fricción	$\emptyset =$	30,00°
Ángulo que forma el relleno	$\beta =$	6,00°
Capacidad portante	$s_s =$	0,85 kg/cm ²

Geometría del muro:

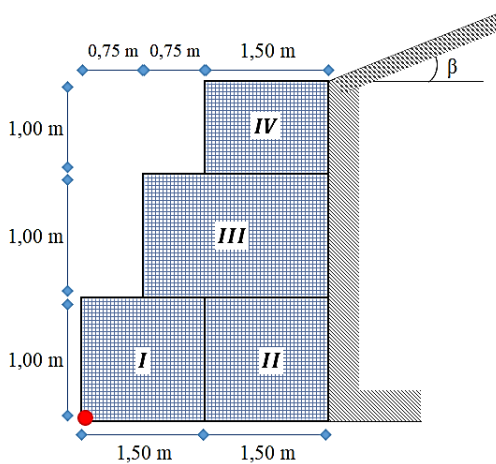
Tabla 20

Tabla de los pesos totales y los momentos resistentes.

Altura de cada bloque	$h_B =$	1,00 tn/m ³
Ancho de cada bloque	$b_B =$	1,50 tn/m ³
Altura total del muro	$H_T =$	3,00 tn/m ³
Dimensión de la base	$A_B =$	2,00 m
Adoptamos una base de	$B =$	3,00 tn/m ³

Figura 70

Propuesta de dimensiones para el muro de gaviones.



Cálculo del empuje activo:

Coefficiente de empuje activo:

$$K_a = \cos \beta * \left(\frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right)$$

$$K_a = 0.3389$$

$$E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H_T^2$$

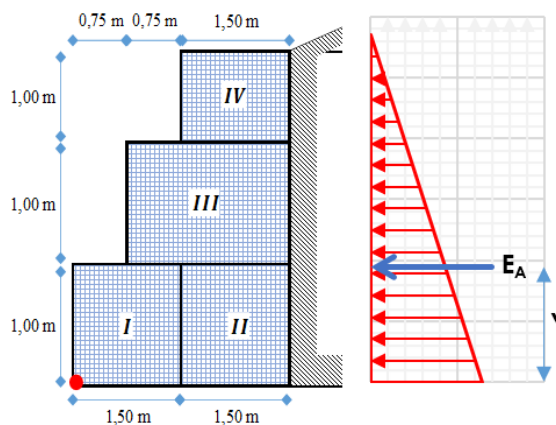
$$E_A = 2.2268 \text{ tn}$$

Altura de aplicación del empuje activo:

$$Y = \frac{H_T}{3} = 1\text{m}$$

Figura 71

Deformaciones en el análisis elástico-plástico.



Análisis de estabilidad:

En la Tabla 21 se presenta los resultados de los cálculos que se hicieron para determinar la estabilidad del muro de gaviones.

Tabla 21

Tabla de los pesos totales y los momentos resistentes.

FIG.	TIPO	ÁREA (m ²)	PESO UNITARIO	PESO PARCIAL	BRAZO X (m)	MOMENTO (tn-m)
I	Gavión	1,500	2,70 tn/m ³	4,05 tn/m	0,750	3,0375
II	Gavión	1,500	2,70 tn/m ³	4,05 tn/m	2,250	9,1125
III	Gavión	2,250	2,70 tn/m ³	6,08 tn/m	1,875	11,3906
IV	Gavión	1,500	2,70 tn/m ³	4,05 tn/m	2,250	9,1125
$\Sigma =$				18,3 tn/m	$\Sigma =$	32,6

$$P = 18,23 \text{ tn}$$

$$Mr = 32,7 \text{ tn}$$

Cálculo de las fuerzas actuantes en el muro de contención:

Momento producido por el empuje activo:

$$M_A = E_A * Y$$

$$M_A = 2,227 \text{ tn} * 1 \text{ m}$$

$$M_A = 2,227 \text{ tn} - \text{m}$$

Verificación por deslizamiento:

$$FSD = 1,50$$

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD$$

donde:

$$f = \text{tg}\phi \leq 0.60$$

$$FSD = 3,68 > 1,50$$

\therefore CUMPLE

Verificación por volteo:

$$FSD = 2,00$$

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$$

$$FSD = 16,66 > 2,00$$

\therefore CUMPLE

Verificación de presiones:

Punto de aplicación de la fuerza resultante:

$$X_0 = \frac{M_r - M_A}{P} = 1,67 \text{ m}$$

Excentricidad:

$$e = \frac{B}{2} - X_0$$

$$e = -0,17 \text{ m}$$

Se debe cumplir que:

$$e < \frac{B}{6} = 0,50 \text{ m}$$

\therefore *Cae dentro del tercio medio*

Verificamos las presiones de contacto entre el suelo y el muro:

$$\sigma = \frac{P}{B} \left[1 \pm \frac{6 * e}{B} \right]$$

Tabla 22

Verificación de presiones.

$$s_1 = 0,40 \text{ kg/cm}^2 < s_s = 0,85 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK}$$

$$s_2 = 0,81 \text{ kg/cm}^2 < s_s = 0,85 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK}$$

Después de hacer todos los cheques de estabilidad del muro, se concluye que las dimensiones propuestas anteriormente están bien.

Capítulo VI

Elaboración guía de suministro e Instalación del Asentómetro

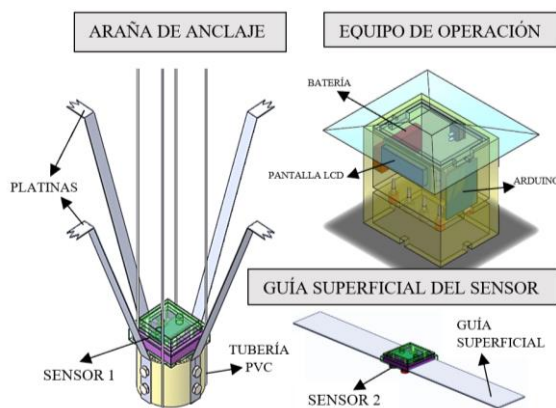
Principio de funcionamiento del asentómetro

Este equipo es un sistema portátil de fácil instalación, conexión y operación que cumple con la función específica de monitorear el movimiento vertical (asentamiento) del suelo en terraplenes, el sistema electrónico dispone de: dos sensores, equipo de operación y araña de

anclaje; el sensor capta la distancia ortogonal en milímetros o centímetros, desde el punto de referencia de donde se coloque hasta el fondo del suelo y esta acoplado a la araña de anclaje, los mismos que se introducen en un orificio con un diámetro de 4 pulgadas y una vez ancladas las platinas de la araña al terreno a través de una pantalla LCD que forma parte del equipo de operación se puede observar y registrar manualmente el valor respectivo de la longitud iniciando así el control y monitoreo de los posibles asentamientos luego de haber determinado previamente la frecuencia del tiempo con la que se deberán realizar las lecturas de este seguimiento. Cada uno de los elementos de esta instrumentación geotécnica están asegurados en una carcasa protectora de material PLA para evitar cualquier daño por el cambio climatológico.

Figura 72

Asentómetro y sus dispositivos



Propuesta de elaboración y fabricación asentómetro.

Conocer los riesgos y la confiabilidad de los terraplenes de carreteras ha llevado al hombre a desarrollar diferentes técnicas, métodos y procedimientos que le otorgan mayor certeza sobre las causas, consecuencias y posibles efectos de fallas en las estructuras terreas ante algunas variaciones dentro de las condiciones que pueden presentarse en su entorno ya sean por la construcción de obras o por fenómenos naturales. Para asegurar el buen estado y comportamiento de los terraplenes es indispensable cumplir con un conjunto de actividades dentro de las etapas del proyecto tanto en la planificación como en la ejecución y a lo largo de su vida útil, iniciando así con el estudio geotécnico, selección de materiales, diseño geométrico, técnicas constructivas, ejecución y supervisión evolutiva de su desempeño, durante este proceso pre y post constructivo la acción del suelo desencadena un papel importante de estabilidad para que el terraplén se conserve en óptimas condiciones de uso pero la escasez del control y monitoreo de asentamientos en su infraestructura luego de su construcción ha causado desastros para mantenerlos en buen estado que al ser controlados a un nivel tolerable se puede mejorar su rendimiento, reducir costos de reparación y evitar escenas catastróficas que presentan pérdidas económicas, materiales o humanas.

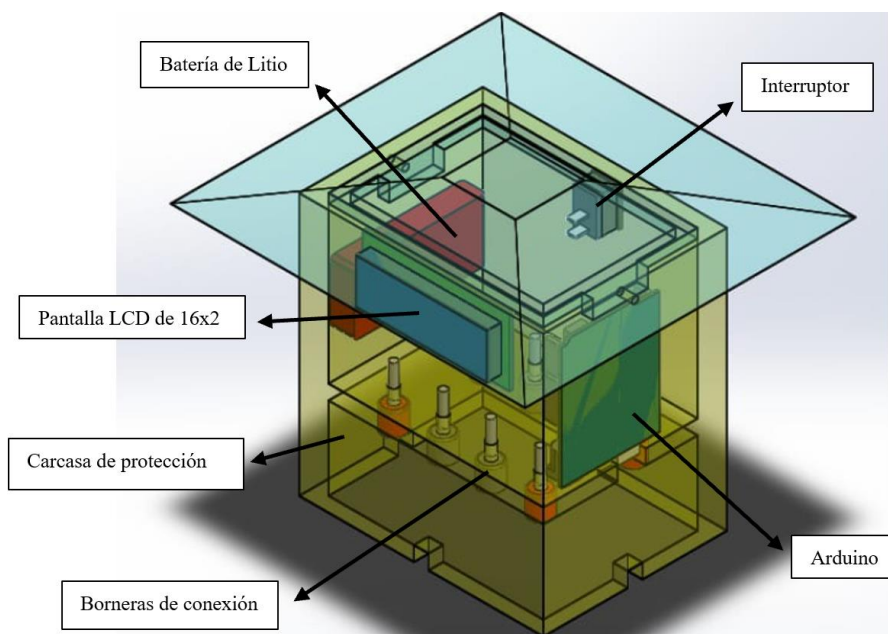
La implementación de este equipo desempeña un método eficiente y oportuno para la evaluación de variables significativas al registrar cuantitativamente en milímetros o centímetros los asentamientos verticales en tiempo real al por distintas acciones sobre suelo permitiendo así conocer la relación deformación-tiempo del terraplén, que a través de métodos de análisis estadísticos gráficos para su interpretación pertinente.

Materiales utilizados para la elaboración del asentómetro

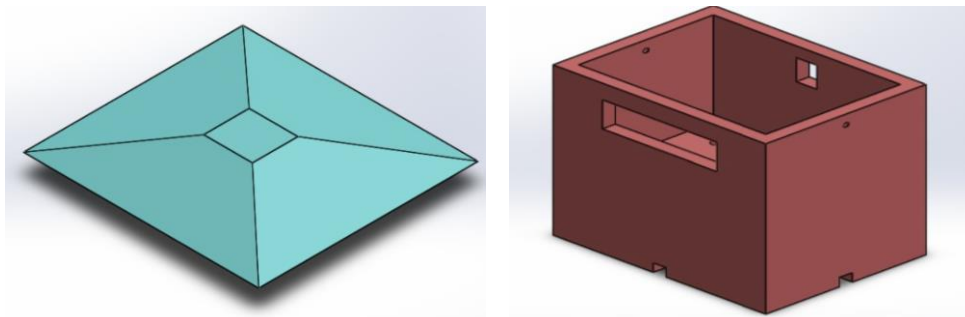
Equipo de operación del asentómetro

Figura 73

Equipo de operación del asentómetro.

**Figura 74**

Techo, carcasa de protección del equipo de operación del asentómetro.



Descripción y especificaciones de los componentes del equipo de operación del asentómetro.

Pantalla LCD de 16x2

Es un pequeño dispositivo con pantalla de cristal líquido que cuenta con dos filas, de dieciséis caracteres cada una, que se utiliza para mostrar información alfanumérica de manera visual.(Hetpro-store, 2018)

Especificaciones

- JANSANE de 16x2
- Pantalla LCD color azul
- Adaptador de interfaz de módulo IIC I2C para equipo Raspberry pi 2 Pack.
- Área de visualización tamaño: 6.5 x 1.5 cm

Figura 75

Pantalla LCD de 16x2.



Nota. Tomado de (AMAZON, 2019)

Arduino

Es una placa con 13 señales digitales estas pueden funcionar tanto como entrada y salida de un microcontrolador que son programadas por un algoritmo de plataforma abierta. (Fernández, 2019)

Especificaciones

- ARDUINO UNO R3 CON ATMEGA328 DIP Con cable USB

Figura 76

Arduino.



Nota. Tomado de (ELECTROSTORE, 2019).

Batería de litio

Suministra energía.

Especificaciones

- Capacidad mínima: 1000mAh
- Peso: 97g
- Tamaño: 74 x 34 x 21mm
- Conector: XT60

Figura 77

Batería de litio.



Nota. Tomado de(NOVATRONIC, 2017).

Jumpers

Crea su propio circuito en una placa, no se requiere soldar los extremos.

(AVElectronics, 2018)

Especificaciones:

- Aprox. 5.8 pulgadas/5.8 cm.

Figura 78

Jumpers



Nota. Tomado de (AVElectronics, 2018)

Cable AWG 18

Es un cable que conexión para dispositivos electrónicos

Especificaciones:

- Cables de calibre 18

Figura 79

Cable AWG 18



Nota. Tomado de (AMAZON, 2022)

Sensores de medición del asentómetro

Figura 80

Sensores de medición del asentómetro

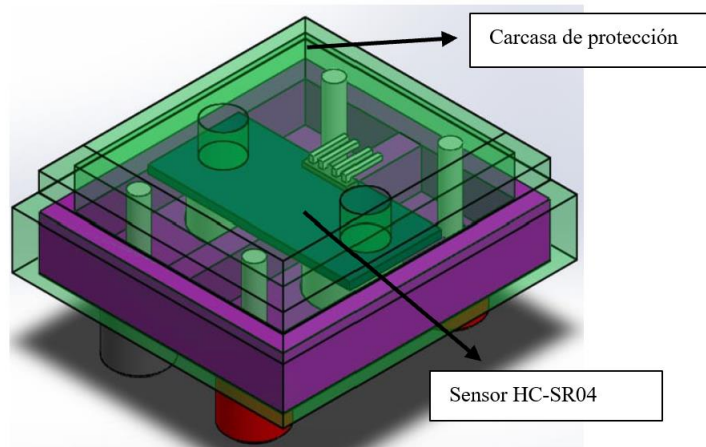
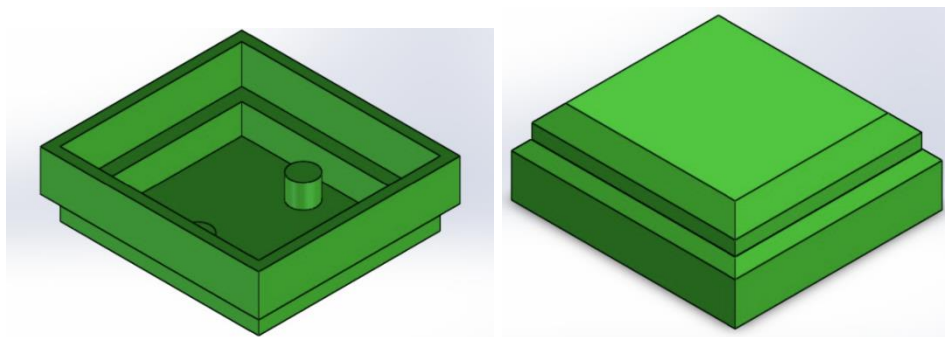


Figura 81

Carcasa de protección de sensores de medición del asentómetro.



Descripción y especificaciones de los componentes del sensor del asentómetro.

Sensor HC-SR04

Este instrumento electrónico que mediante ultrasonido mide distancia hasta 450cm.

(NAYLAM MECHATRONICS, 2021)

Especificaciones

- Dimensiones del sensor: 45*20*15 mm
- Precisión del sensor: +- 3mm
- Tiempo mínimo de espera para el cálculo entre una medida y el inicio de otra 20ms (recomendable 50ms)

Figura 82

Sensor HC-SR.



Nota. Tomado de (NAYLAM MECHATRONICS, 2021).

Araña con platinas de anclaje para las paredes del suelo.

Figura 83

Araña con platinas de anclaje para las paredes del suelo.

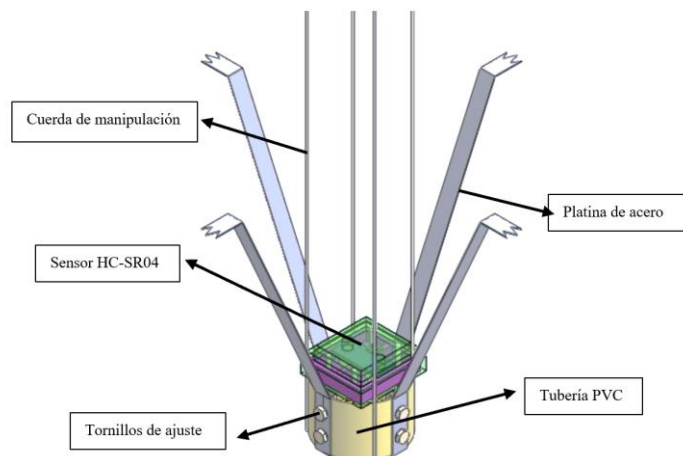
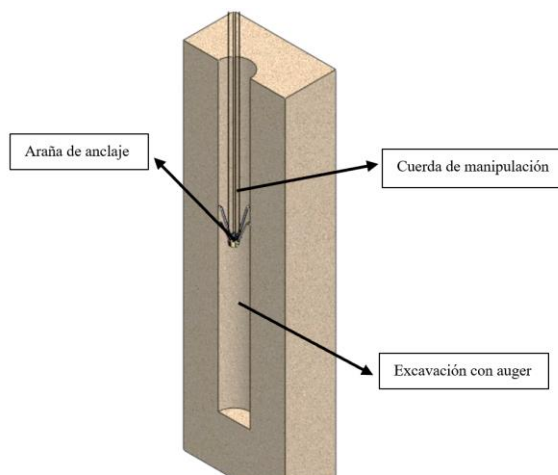


Figura 84

Instalación de la araña de anclaje en la profundidad del suelo.



Tubería PVC 2 pulgadas

Permite fijar las(Askix, 2008) platinas de acero.

Especificaciones

- Dimensión: 2 pulgadas
- Altura: 5 cm
- Material: PVC

Figura 85

Tubería PVC 2 pulgadas.



Nota. Tomado de: (Askix, 2008)

Tornillos y tuercas

Elementos para asegurar la posición de las platinas de acero.

Especificaciones

- Tamaño 7/8 pulgadas

Figura 86

Tornillos y tuercas.



Platina de acero

Componente que va a servir como anclaje en las paredes de suelo en cierta profundidad de la excavación.

Especificaciones

- Altura de 33 cm
- Cuchillas del extremo superior
- Espesor de 2mm

Figura 87

Platina de acero.



Consideraciones iniciales antes de la instalación del equipo.

1. Es importante delimitar la superficie de estudio que se va a monitorear y controlar, determinando de manera visual y estratégica los posibles puntos críticos de asentamientos y donde sea conveniente efectuar el control geotécnico en la zona de estudio para la colocación del equipo.
2. En caso de no contar con la materialización de un punto georeferencial con placa y mojón en la zona de estudio o cercano a la misma es importante considerar la construcción y la obtención de un control geoespacial realizado con el procedimiento topográfico correcto y con implementación de equipo GPS de alta precisión para custodiar los puntos de monitoreo en coordenadas reales de ubicación.
3. Definir la profundidad total de la altura del orificio donde va a ingresar la araña de anclaje que se va a encargar de monitorear los posibles asentamientos. Se recomienda excavaciones de 2 metros o más sin embargo es de libre decisión dependiendo las condiciones y características del suelo.
4. Establecer la altura al que se va a sumergir el sensor de medición en el suelo para manipular las cuerdas a la longitud deseada, considerando la profundidad total de la excavación para dejar un espacio libre de monitoreo en el fondo del orificio.

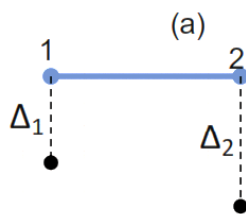
Parámetros por medir y controlar con el Asentómetro.

Si bien es cierto un solo equipo dispone de dos sensores de medición es posible colocarlos en estilos diferentes según el profesional así lo decida sin embargo se recomiendan estas dos opciones:

Medición de los desplazamientos verticales (asentamientos) en el suelo en varios puntos en un mismo sentido horizontal.

Figura 88

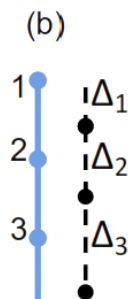
Medición de desplazamientos verticales (asentamientos) del suelo.



Medición de los desplazamientos verticales (asentamientos) en el suelo en varios puntos en un mismo nivel vertical.

Figura 89

Medición de desplazamientos verticales (asentamientos) del suelo.



Procedimiento de instalación y concesión del Asentómetro in situ.

1. Previamente antes de la instalación
2. Para la instalación del asentómetro in situ se inicia con la excavación manual utilizando un auger con el diámetro de 4 pulgadas previamente establecida la profundidad del orificio.
3. Antes de ingresar la araña de anclaje con el sensor es recomendable identificar los cables de conexión de los sensores al equipo de operación donde se encuentra el Arduino, tanto positivos como negativos y a su vez receptores y emisores.
4. Una vez identificados los cables de conexión se procede a juntar los extremos de las platinas con la cuerda realizando un nudo de cordón de zapato de un solo extremo para que al momento de tener ingresado el sensor con la araña, halar dicha cuerda, así la acción de las platinas se soltará a presión contra las paredes del suelo y quedarán ancladas a las mismas. Nota: se recomienda no ajustar demasiado el nudo de cordón para facilitar al instante que se desata.
5. Con las cuerdas que se encuentran en los extremos de la tubería PVC se direcciona y manipula el ingreso del sensor con la araña de anclaje hasta la profundidad establecida, teniendo cuidado que los cables de conexión también vayan sumergiéndose a la par para evitar que se desconecten.
6. Una vez sumergido el sensor en el orificio halamos la cuerda de los extremos de las platinas donde se encuentran las cuchillas para obtener el anclaje deseado en las paredes.
7. Ya instalado el sistema de monitoreo dentro del orificio procedemos a encender el equipo de operación para visualizar la pantalla LCD y registrar los primeros datos numéricos de referencia que nos servirán como punto de partida para la

siguiente toma de valores, esto es de vital importancia para dar el seguimiento pertinente bajo el intervalo de tiempo establecido ya sea diario, semanal, mensual; esto es de libre elección con el objetivo de obtener un monitoreo y control progresivo.

Presupuesto y costos del suministro e instalación del asentómetro.

Tabla 23

Instalación de equipo de medición de asentamientos en terraplenes con perforación de auger.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO N°:	1				
RUBRO:	Instalación de equipo de medición de asentamientos UNIDAD: Global				
DETALLE:	Incluye el sondeo destructivo con auger, la materialización de punto referencial con la implantación de la placa descriptiva en el mojon con GPS de alta precisión.				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor	1,00	0,62	0,62	1,00	0,62
Auger de perforación manual	1,00	7,00	7,00	1,00	7,00
SUBTOTAL M					7,62
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Ayudante de albañil	1,00	3,83	3,83	1,00	3,83
Topógrafo (En Construcción - Estr.Oc.C1)	1,00	4,29	4,29	1,00	4,29
Ingeniero Civil (Estructural, Hidráulico y Vial)	1,00	4,31	4,31	1,00	4,31
SUBTOTAL N					12,43
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Placa y mojon referencial materializado	glb	1,00	400,00	400,00	
SUBTOTAL O				400,00	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					420,05
COSTOS INDIRECTOS					0,25
OTROS INDIRECTOS:					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					525,06
VALOR OFERTADO:					525,06

Tabla 24

Suministro de equipo de medición de asentamientos en terraplenes.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO N°:	2				
RUBRO:	Suministro de equipo de medición de asentamientos en terraplenes UNIDAD: global				
DETALLE:	Suministro total del equipo de medición de asentamientos				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Herramienta menor	1,00	0,60	0,60	1,00	0,60
					0,00
SUBTOTAL M					0,60
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Ayudante de albañil	2,00	3,83	7,66	1,00	7,66
Ingeniero Civil (Estructural, Hidráulico y Vial)	1,00	4,31	4,31	1,00	4,31
SUBTOTAL N					11,97
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B	
Equipo de medición de asentamientos, asentómetros	u	1,00000	82,52	82,52	
SUBTOTAL O				82,52	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					95,09
COSTOS INDIRECTOS					25,00%
OTROS INDIRECTOS:					0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					118,86
VALOR OFERTADO:					118,86

Tabla 25

Monitoreo de equipo de medición de asentamientos en terraplenes.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO N°:	3				
RUBRO:	Monitoreo de equipo de medición de asentamientos en terraplenes UNIDAD:global				
DETALLE: Se considera el personal que va realizar el control y monitoreo cada intervalo de tiempo establecido.					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor	1,00	0,60	0,60	1,00	0,60
					0,00
SUBTOTAL M					0,60
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Ayudante de albañil	2,00	3,83	7,66	1,00	7,66
Ingeniero Civil (Estructural, Hidráulico y Vial)	1,00	4,31	4,31	1,00	4,31
SUBTOTAL N					11,97
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
SUBTOTAL O					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					12,57
COSTOS INDIRECTOS					25,00% 3,14
OTROS INDIRECTOS:					0,00% 0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					15,71
VALOR OFERTADO:					15,71

Tabla 26

Costos del suministro e instalación del equipo de medición de asentamientos.

**PROYECTO : INSTALACIÓN Y SUMINISTRO DE EQUIPO DE MEDICIÓN DE
ASENTAMIENTOS, ASENTÓMETRO**

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS

ITEM	RUBRO	UNIDAD	P.TOTAL
<i>1</i>	<i>Instalación de equipo de medición de asentamientos en terraplenes con perforación de auger</i>	<i>glb</i>	<i>525,06</i>
<i>2</i>	<i>Suministro de equipo de medición de asentamientos en terraplenes</i>	<i>glb</i>	<i>118,86</i>
<i>3</i>	<i>Monitoreo de equipo de medición de asentamientos en terraplenes</i>	<i>glb</i>	<i>15,71</i>
			643,93

Capítulo VIII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se caracterizó el material de zona de estudio, teniendo un limo de alta plasticidad (MH) con un porcentaje de humedad de 26% por ende, su capacidad drenante es realmente baja lo que acarrea problemas a la hora de presentarse escenarios con fuertes lluvias derivando en fallas totales o parciales que afectan al desempeño de la vía que está implantada.
- La zona de estudio es de tipo húmedo – muy húmedo, es decir su suelo permanece seco menos de 3 meses consecutivos la mayoría de los años, y se encuentra entre isoyetas que fluctúan entre 2000mm y 3000mm.
- El propósito de este trabajo es de trazar un hoja de ruta para la optimización en el diseño y construcción de terraplenes o taludes en corredores viales, por lo que se concluye que dependiendo de los ensayos de materiales, se podrá escoger que programa utilizar o qué modelo constitutivos de los estratos definir, tal es el caso en este proyecto de tener como material del lugar a limos altamente plásticos que por su comportamiento es mejor utilizar el PLAXIS, ya que los mismo tendrán problemas de deformación en conjunto y una falla por esfuerzos cortantes.
- En los modelos realizados fue evidente que mientras la inclinación del talud sea menos inclinada, el factor de seguridad aumentará y los desplazamientos disminuirán, por lo que una relación 3:1 está correcto implementar en los terraplenes de relleno.

- Sabiendo que la provincia de Esmeraldas está en una zona altamente sísmica, al hacer el análisis de cargas de sismo en el lugar de interés, claramente los factores de seguridad disminuyeron y los desprendimientos aumentaron, pero al colocar un material de mejoramiento con diatomita, hubo una mejoría frente a eventos externos.
- El manejo del equipo y sistema de medición es de fácil manipulación, esta instrumentación permitirá tomar decisiones correctas sobre estructuras de pavimento en construcción, mantenimiento o reparación; además al ser controlados en un nivel tolerable se evitará posibles consecuencias reversibles en caso de que un terraplén llegue a fallar.
- La base de datos y seguimiento del monitoreo forma parte de un sistema que se desempeñará de manera eficiente y optima, conforme a la cantidad de valores de asentamientos se vayan recopilando de acuerdo al comportamiento futuro del terraplén que se evaluarán con métodos de análisis estadísticos gráficos e interpretativos.
- Si bien el equipo tiene un buen desempeño in situ y su presión es de $\pm 3\text{mm}$ queda abierto a posibles mejoramientos y cambios en sus dispositivos, uno de ellos es la implementación de sensores de mayor precisión y mejor sensibilidad con mayor rango de medición.

Recomendaciones

- Implementar uso de material de mejoramiento de las propiedades del suelo natural como la diatomita para poder reducir los niveles de fallas por exceso de cantidad de agua retenida en el mismo.

- Al analizar los posibles eventos que se pueden dar en la zona de estudio, es importante mencionar que en el talud de corte y en el terraplén no se debe construir edificaciones ya que por factores externos como por ejemplo el sismos o intensas lluvias el material limo plástico se va a desplazar considerablemente.
- Cabe mencionar que para los análisis de estabilidad y deformaciones no se consideró la vegetación, es decir se tomó el rumbo conservador, pero de ser el caso se debería tomar las plantaciones que hay en el lugar como un factor de estabilidad frente a la inclinación de los terraplenes y cortes de talud.
- En el presente trabajo se dispuso de algunas alternativas como medidas de prevención o remediación para fallas de la superficie o desplazamiento del material, la implementación de un mejoramiento del suelo con diatomita, un muro de gaviones o posiblemente una geomalla, se escogerán en función de cómo se comporten mejor en el lugar y las posibilidades de costos.
- Si bien el equipo cuenta con carcasas de protección es recomendable evitar el contacto directo con el agua para evitar daños en los circuitos electrónicos del sistema.
- Es importante identificar los cables de conexión para evitar un cortos circuito y daño de los dispositivos.

Referencias

AMAZON. (2019). *Amazon.com: JANSANE 16x2 1602 Pantalla LCD Azul + Adaptador de interfaz de módulo IIC I2C para Raspberry pi 2 Pack : Electrónica.*

AMAZON. (2022). *Amazon.com: GS Power 18 AWG (calibre de alambre americano) 100 pies rojo y 100 pies negro unido cable de cremallera OFC 12 V bajo voltaje para amplificador de coche, cableado de conexión de arnés de remolque, cobre puro : Todo lo demás.*

Angamarca Solano, Á. A. (2013). *DETERMINACIÓN DEL CBR DE LABORATORIO Y NATURAL EN SUELOS FINOS Y SU CORRELACIÓN CON EL DCP PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUB-RASANTE, EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE QUITO.* Quito: UCE.

Askix. (2008). *Cañón del confeti mano / Paso 4: Corte el tubo de - askix.com.*

ASTM 6951. (2003). *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone.*

ASTM, D. (2003). *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone.* ASTM.

AVElectronics. (2018). *65 Cables Jumper - AV Electronics.*

Bonifaz G., H., & Valverde B., J. (s.f.). *Memorias Técnicas (III Congreso Ecuatoriano de mecánica de suelos y rocas). Parámetros dinámicos de la cangahua.* Quito, Ecuador: SEMSIR.

Bowles, J. (1981). *Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil.* México: Libros McGraw-Hill.

- Bladimir, M. (2012). Universidad Técnica de Ambato Universidad Técnica de Ambato. *Repositorio Institucional de La Universidad Técnica de Ambato*, 119.
- Braja, D. (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México D.F: CENGAGE.
- Chicaiza Estévez, E. A., & Oña Oña, F. J. (2018). *Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz*. Quito: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19624>
- Colindres, R. (1983). *Dinámica de Suelos y Estructuras aplicadas a la Ingeniería Sísmica*. Ciudad de México: LIMUSA.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México D.F: LIMUSA S.A.
- ELECTROSTORE. (2019). *ARDUINO UNO R3 CON ATMEGA328 DIP + CABLE USB – Grupo Electrostore*. Productos Electrónicos .
- Escario, V. (1981). *Terraplenes y pedraplenes*. Madrid.
- Escario, V. (1981). *Terraplenes y Predraplenes*. Madrid, España.
- Fernández, Y. (2019). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*.
- GAD Municipal de Quinindé. (2015). *Plan de ordenamiento Territorial del GAD Municipal de Quinindé*. Quinindé, Esmeraldas, Ecuador.
- GeoStru. (2015). *GeoStru*. Obtenido de Slope 2015: https://www.geostru.com/Help_Online_2015/Slope/ES/index.html?metodo_di_mongeste_r_e_price.htm

GeoStru. (2015). *GeoStru Software*. Obtenido de Slope 2015:

https://www.geostru.com/Help_Online_2015/Slope/ES/index.html?metodo_di_mongeste_r_e_price.htm

Hetpro-store. (2018). *LCD 16x2 | HeTPro*. 44–57.

Instituto Nacional de Vías. (2012). *Artículo 220-07 Terraplenes*. 2.

Medrano, R. (2008). *Mecánica de Suelos II*. 1–171.

Ministerio de Desarrollo Urbano y vivienda. (2014). CÓDIGO NEC-SE-DS. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). ANEXO N° 3. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA. En *ESTUDIO DE INGENIERÍA DE LA CARRETERA SANTO DOMINGO-ESMERALDAS Y LA ESTRUCTURACIÓN JURÍDICA, TÉCNICA Y ECONÓMICO-FINANCIERA, RE-20-EIS-MTOP-2012* (pág. 33). Esmeraldas: ineco.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2012). Volumen No. 2 - Libro A Norma para estudios y diseños viales. In *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador: Vol. Volumen 2A*.

MOP. (2002). Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes. Quito, Pichincha, Ecuador.

MTOP. (2003). Normas de Diseño Geometrico de Carreteras. In *Mtop* (Vol. 2).

https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf

National, G., & Pillars, H. (n.d.). *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析* Title.

NAYLAM MECHATRONICS. (2021). *Sensor Ultrasonido HC-SR04*.

NOVATRONIC. (2017). *Batería lipo Turnigy 3s 11,1V 1000mAh 20-30C – Novatronic*.

Oliva, A. (2015). Instrumentación y control de taludes y laderas. *ResearchGate, April*, 1–23.

Pérez, A. (09 de 03 de 2018). *Mecapedia*. Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm

PLAXIS BV. (2004). Manual de referencia . *Versión 8*. PLAXIS b.v. P.O. Box 572, 2600 AN DELFT, Países Bajos.

Poliotti, M., & Sierra, P. (2007). Consolidación unidimensional de suelos. *Universidad Nacional de Rosario*, 1–41.

Secretaría de Comunicación y Transportes. (n.d.). *ELABORACIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANOS EJECUTIVOS PARA LA AMPLIACIÓN DE TERRACERIAS, OBRAS DE DRENAJE, PAVIMENTACIÓN, SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DEL CAMINO RURAL: AHUATENCO - COLONIA CAMPESINA, KM.1+460 AL KM 7+245.63, UBICADO EN EL MUNICIPIO* (Vol. 01, Issue 8).

Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. (1986). *Mapa General de Suelos del Ecuador*. Quito: IGM.

Yepes, V. (2020). *tensión efectiva – El blog de Víctor Yepes*. Conceptos Básicos Del Agua En Medio Poroso.

Anexos