

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta
velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia

INGE - 2577

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Katherine Viera Angulo

Carla Alejandra Santos Jiménez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Aquellos que me enseñaron a soñar y nunca rendirme, mis padres María Angulo y Caleb Viera, les dedico este proyecto, por cada esfuerzo puesto en mí durante toda mi vida académica. A la memoria de mi abuelo Aníbal, cuyo recuerdo impulsa cada paso para convertirme en la profesional de la que él estaría orgulloso.

Katherine Viera Angulo

El presente proyecto es dedicado a Dios y a mi familia, por haber sido un gran apoyo durante toda mi formación académica y vida personal. Especialmente a mi mamá Johanna Santos y a mi abuelito Roberto Santos que con paciencia y amor incondicional supieron guiarme para conseguir esta meta.

Carla Alejandra Santos Jiménez

Agradecimientos

Con gratitud infinita a mis padres, por confiar en mí, ser “luz al final del túnel”, por cada insomnio y cada café. A mi familia que desde lejos y cerca vivieron cada pequeño paso como suyo.

A mis amigos que con apoyo y cariño nos acompañamos en esta aventura llamada universidad, hoy algunos, lejos ya. En especial a Eduarda e Ivette, por las risas compartidas y ser una “curita al corazón” en momentos de estrés.

Agradezco profundamente a mi compañera de tesis, Carla Santos, por su compromiso y apoyo. Por animarnos mutuamente y recordarnos que al final el esfuerzo vale la pena.

Pero principalmente agradecer al único el cual sin su ayuda y fuerza este proyecto no hubiera sido posible, a Dios, que con su gracia no me desamparó ni un segundo. Ebenezer.

Katherine Viera Angulo

Mi más sincero agradecimiento a Dios por un día más de vida y salud para mi familia y mi persona. A mi mamá, que me ha brindado las herramientas necesarias para alcanzar mis metas. A mi abuelito Roberto Santos que desde el cielo es parte fundamental de este proyecto de vida y se lo orgulloso que se debe sentir por este logro.

Agradezco a Irina Prias, mi hermana de otra madre que me ha ayudado constantemente en mi formación académica desde la etapa de la infancia. A mi mejor amigo Jean Zambrano y a todos mis amigos que conocí en esta etapa universitaria, demostrando que existen íntegros compañeros de trabajo que pueden convertirse en lindas amistades.

Finalmente, agradezco a mi compañera de tesis Katherine Viera, por juntas demostrar dedicación y entrega para finalizar este proyecto.

Carla Alejandra Santos Jiménez

Declaración Expresa

Nosotros Katherine Viera Angulo, Carla Alejandra Santos Jiménez acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 30 de agosto del 2024.



Katherine Viera Angulo



Carla Santos Jiménez

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
LENIN ALEXANDER
DENDER AGUILAR

MSc. Lenin Dender Aguilar

Profesor de Materia



Firmado electrónicamente por:
DAVIDE BESENZON
VENEGAS

MSc. Davide Besenzon Venegas

Tutor de proyecto

Resumen

El diseño de terraplenes está influenciado por varios factores, destacándose, en la fase de diseño, los problemas de estabilidad y deformabilidad que la estructura podría enfrentar.

Inicialmente, la altura de los terraplenes se determina en función del trazado y sus condiciones geométricas, pero esta altura puede ajustarse posteriormente según las características específicas del terreno encontrado.

Este trabajo se centra en desarrollar una solución geotécnica para un terraplén de una vía ferroviaria de alta velocidad, que conecta las provincias de Salerno y Reggio-Calabria, en el sur de Italia. La solución se diseñará utilizando un modelo de cálculo basado en elementos finitos, implementado en el software Plaxis 2D, y aplicando el modelo constitutivo Soft Soil Creep. Esta estrategia se basa en definir la estratigrafía del suelo obtenida a partir de ensayos realizados tanto in situ como en laboratorio. El objetivo es proporcionar un diseño de terraplén que garantice la estabilidad de la estructura a largo plazo, en base a las normativas vigentes en Italia para vías ferroviarias de alta velocidad.

El proyecto incluyó la calibración del modelo constitutivo basado en los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, así como la realización de simulaciones numéricas que contemplan la construcción de columnas de grava para mitigar los asentamientos. Esta técnica se enfoca especialmente en reducir los asentamientos por consolidación secundaria. Además, el diseño contempla un presupuesto estimado y un cronograma para la ejecución del proyecto.

Finalmente, el diseño implementado asegura que los costos de mantenimiento y reparación sean menores a largo plazo, lo que se traduce en tarifas de transporte más asequibles para un mayor número de personas, promoviendo así la equidad.

Palabras Clave: Terraplenes, modelo constitutivo, línea ferroviaria, suelo

Abstract

The design of embankments is governed by multiple factors, with stability and deformability being critical considerations during the design phase due to the potential challenges these structures may encounter. Initially, the height of embankments is determined by the alignment and geometric conditions of the route. However, this height can be adjusted later based on the specific soil conditions encountered in situ.

This work aims to develop a geotechnical solution for an embankment along a high-speed railway line connecting the provinces of Salerno and Reggio-Calabria in southern Italy, ensuring the long-term stability of the structure in compliance with Italian regulations for high-speed railways. The solution will be designed using a finite element model implemented in the Plaxis 2D software, applying the Soft Soil Creep constitutive model. This approach relies on defining the soil stratigraphy based on data obtained from both in situ and laboratory tests.

The project included the calibration of the constitutive model based on the results of field and laboratory tests, as well as the execution of numerical simulations that consider the construction of stone columns to mitigate settlements. This technique focuses specifically on reducing settlements due to secondary consolidation. Additionally, the design includes an estimated budget and a timeline for project execution.

Finally, the implemented design ensures that maintenance and repair costs are lower in the long term, resulting in more affordable transportation fares for a larger number of people, thereby promoting equity.

Keywords: *Embankments, constitutive model, railway line, soil*

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	IX
Índice de gráficas	XI
Índice de tablas	XII
Índice de planos.....	XII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 2	6
2. Materiales y métodos	7
2.1 Revisión de literatura.....	7

2.2	Área de estudio	13
2.3	Trabajos de campo y laboratorio	15
2.3.1	Granulometría por tamizado	15
2.3.2	Ensayo edométrico	17
2.3.3	Prueba penetrométrica estática (CPT)	21
2.3.4	Ensayo Dilatómetro de Marchetti (DMT).....	24
2.4	Análisis de resultados	27
2.5	Análisis de alternativas	34
CAPÍTULO 3		40
3.	Diseños y especificaciones	41
3.1	Introducción.....	41
3.2	Diseño.....	41
3.2.1	Calibración del modelo constitutivo	41
3.2.2	Diseño del terraplén.....	52
3.2.2	Diseño de las columnas de gravas	57
3.3	Especificaciones Técnicas	63
CAPÍTULO 4		82
4.	Estudio de impacto ambiental	83
4.1	Descripción del proyecto	83
4.2	Línea base ambiental	84
4.3	Actividades del proyecto	85
4.4	Identificación de impactos ambientales.....	87

4.5	Valoración de impactos ambientales	92
4.6	Medidas de prevención/mitigación.....	97
CAPÍTULO 5		105
5.	Presupuesto.....	106
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo	106
5.2	Rubros y análisis de precios unitarios (fusión).....	106
5.3	Descripción de cantidades de obra	107
5.4	Valoración integral del costo del proyecto	108
5.5	Cronograma de obra	109
CAPÍTULO 6		111
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	112
6.1	Conclusiones.....	112
6.2	Recomendaciones	114
7.	Referencias	116
Anexos.....		122
Anexos A: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS		123
Anexos B: VOLUMEN DE OBRA		139
Anexos C: MEMORIA DE CÁLCULOS		141
Anexos D: PLANOS		147

Abreviaturas

AASTHO	Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte
APU	Análisis de precios unitarios
ASTM	American Society for Testing and Materials
CPT	Cone Penetration Test
DMT	Flat Plate Dilatometer Testing
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EDT	Estructura Desglosada de Trabajo
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FS	Factor de seguridad
ICEA	Departamento de Ingeniería Civil, de la Construcción y del Medio Ambiente
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
MATTM	Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MOP	Ministerio de Obras Públicas
NTC	Normas Técnicas para las Construcciones
OCR	Over Consolidation Ratio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenibles
PMA	Plan de Manejo Ambiental
PVC	Policloruro de vinilo
RCD	Residuos de construcción y demolición
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
SCF	Stress Concentration Factor
SCI	Sociedad Colombiana de Ingenieros
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Simbología

A	Área
a_r	Razón de sustitución
β	Ángulo del talud respecto a la horizontal
c	Cohesión
$C_{\alpha\varepsilon}$	Coefficiente de compresión secundaria
C_c	Coefficiente de compresibilidad
CO_2	Dióxido de carbono
C_r	Coefficiente de recompresión
cm	Centímetro
d	Diámetro
€	Euro
e	Índice de vacíos
E_D	Módulo dilatométrico
Φ	Ángulo de fricción
f_s	Resistencia a la fricción lateral
γ	Peso volumétrico
G_s	Gravedad específica
ha	Hectáreas
h	Horas
I_D	Índice de material
J	Módulo de refuerzo
K_D	Índice de esfuerzo horizontal
kg	Kilogramos
km	Kilómetros

kN	Kilonewton
kPa	Kilopascales
K_o	Coefficiente de presión de tierras en reposo
κ^*	Índice de hinchamientos modificado
λ	Índice de compresión
λ^*	Índice de compresión modificado
M	Módulo edométrico
m	Metro
M_D	Momento desestabilizante
ml	Metro lineal
mm	Milímetros
M_T	Momento resistente
μ^*	Índice de fluencia modificado
n	Factor de mejora
Pi	Esfuerzo de expansión
Po	Esfuerzo de contacto
ψ	Ángulo de dilatación
Qt	Resistencia normalizada
q_{ult}	Capacidad de carga última
r	Radio del círculo deslizante de falla
s	Separación entre columnas
σ_v	Esfuerzo vertical
t	Toneladas
T_g	Esfuerzo requerido por rotación
\$	Dólar

Índice de figuras

Figura 2.1: <i>Visualización de un terraplén</i>	7
Figura 2.2: <i>Estratigrafía sin uso de terraplén. Fuente: Alarcón (2012)</i>	9
Figura 2.3: <i>Estratigrafía de suelo usando terraplenes. Fuente: Alarcón (2012)</i>	9
Figura 2.4: <i>Terraplén construido en 4 etapas de construcción</i>	10
Figura 2.5: <i>Desplazamientos totales originales. Fuente: Vinoth & Pulikanti (2018)</i>	12
Figura 2.6: <i>Diseño aplicando columna. Fuente: Vinoth & Pulikanti (2018)</i>	13
Figura 2.7: <i>Ubicación geográfica general del proyecto. Fuente: Google Earth</i>	14
Figura 2.8: <i>Mapa del Parque Nacional Cilento y Vallo di Diano con los sitios arqueológicos de Paestum, Velia, y la Certosa di Padula. Fuente: UNESCO</i>	15
Figura 2.9: <i>Curva de distribución del tamaño de partícula. Fuente: Das. B. M (2001)</i> ..	17
Figura 2.10: <i>Gráfica de deformación versus tiempo en un ensayo de consolidación. Fuente: Das. B. M (2001)</i>	18
Figura 2.11: <i>Gráfica de relación de vacíos vs. presión efectiva mostrando carga, sobrecarga y ramas de recarga. Fuente: Das. B. M (2001)</i>	19
Figura 2.12: <i>Dimensiones de las diferentes puntas para CPT. Fuente: Marchetti (2019)</i>	22
Figura 2.13: <i>Perfiles de los parámetros medidos en el ensayo penetrómetro CPT_III</i> ...	23
Figura 2.14: <i>Clasificación del suelo según el método de Robertson y Schneider</i>	24
Figura 2.15: <i>Paleta central y lectura del DMT. Fuente: García Núñez (2007)</i>	25
Figura 2.16: <i>Perfil dilatómetro de los parámetros I_d, E_d y K_d para el ensayo dilatométrico DMT_III</i>	26
Figura 2.17: <i>Parámetros de estado deducidos del análisis del ensayo penetrométrico CPTu_III</i>	28

Figura 2.18: Comparación, de los perfiles OCR y peso volumétrico, entre los ensayos CPT_I11 y DMT_I11.....	29
Figura 2.19: Módulos edométricos y coeficientes de compresión secundaria obtenidos en los ensayos in-situ	31
Figura 2.20: Método Casa Grande para el análisis del esfuerzo de pre-consolidación, ensayo edométrico CI2	32
Figura 2.21: A1-Mejora del suelo usando geosintéticos. Fuente: Geosintex.....	35
Figura 2.22: A2-Columnas de grava. Fuente: Geopier.....	37
Figura 2.23: Curvas típicas de tiempo-asentamiento para diferentes combinaciones de mejoramiento del suelo. Fuente: Sakleshpur et al., (2018)	38
Figura 3.1: Selección de capa de suelo y muestra 0.02x0.025m. Fuente: Plaxis 2D.....	42
Figura 3.2: Malla de elementos finitos. Fuente: Plaxis 2D.....	42
Figura 3.3: Parámetros de condiciones de frontera. Fuente: Plaxis 2D	44
Figura 3.4: Calibración de μ^* en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI2	45
Figura 3.5: Calibración de k en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI2	46
Figura 3.6: Selección de capa de suelo y muestra 0.02x0.025m. Fuente: Plaxis 2D.....	48
Figura 3.7: Malla de elementos finitos. Fuente: Plaxis 2D.....	48
Figura 3.8: Calibración de μ^* en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI4	50
Figura 3.9: Calibración de k en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI4	50
Figura 3.10: Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 160 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D	55
Figura 3.11: Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 460 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D	55
Figura 3.12: Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 910 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D	56

Figura 3.13: <i>Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 10 años de construcción. Fuente: Plaxis 2D</i>	56
Figura 3.14: <i>Configuración de columnas y celda unitaria seleccionada</i>	60
Figura 3.15: <i>Asentamientos a largo plazo, simulación con columnas, 160 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D</i>	62
Figura 3.16: <i>Asentamientos a largo plazo, simulación con columnas, 460 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D</i>	63
Figura 5.1: <i>Desglose de rubros para proyecto de diseño de terraplén</i>	106

Índice de gráficas

Gráfica 2.1: <i>Curva de compresión para ensayo CI2</i>	20
Gráfica 2.2: <i>Curva de compresión para ensayo CI4</i>	20
Gráfica 2.3: <i>Ejemplo de curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI2 y CI4</i>	21
Gráfica 3.1: <i>Calibración final de la estratigrafía del suelo CI2</i>	44
Gráfica 3.2: <i>Comparación entre curva de “Deformación vs. Tiempo” CI2 de laboratorio vs. calibración final</i>	46
Gráfica 3.3: <i>Comparación entre curva de compresión CI2 de laboratorio vs. calibración final</i>	47
Gráfica 3.4: <i>Calibración final de la estratigrafía del suelo CI4</i>	49
Gráfica 3.5: <i>Comparación entre curva de “deformación vs. Tiempo” CI4 de laboratorio vs. calibración final</i>	51
Gráfica 3.6: <i>Comparación entre curva de compresión CI4 de laboratorio vs. calibración final</i>	51
Gráfica 3.7: <i>Curva de seguridad por fases de construcción</i>	53
Gráfica 3.8: <i>Comparación entre los diferentes tipos de mallas</i>	59

Gráfica 3.9: *Comparación de las celdas unitarias según el diámetro de la columna*60

Índice de tablas

Tabla 2.1: <i>Tamaños estándar de tamices</i>	16
Tabla 2.2: <i>Límites de separación de partículas de suelo. Fuente: Bowles (1997)</i>	16
Tabla 2.3: <i>Evaluación de alternativas</i>	39
Tabla 3.1: <i>Parámetros finales de calibración de modelo constitutivo</i>	52
Tabla 3.2: <i>Factores de seguridad por fase</i>	53
Tabla 3.3: <i>Resumen de parámetros finales para para el materia de gravas para modelamiento en Plaxis 2D</i>	61
Tabla 4.1: <i>Componentes y elementos del sistema ambiental. Fuente: SCI (1993)</i>	87
Tabla 4.2: <i>Matriz de Identificación de Impacto Ambiental</i>	89
Tabla 4.3: <i>Calificación de la magnitud de la actividad</i>	92
Tabla 4.4: <i>Calificación de la importancia de la actividad sobre el factor ambiental</i>	93
Tabla 4.5: <i>Escala de evaluación de las actividades incluyendo magnitud e importancia respecto al factor ambiental</i>	93
Tabla 4.6: <i>Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental</i>	94
Tabla 4.7: <i>Resumen de la valoración de impactos sobre los diferentes factores ambientales</i>	97

Índice de planos

PLANO 1	Configuración de malla de columnas de gravas
PLANO 2	Terraplén y columnas

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las infraestructuras ferroviarias en Italia representan una componente importante de la economía, movilidad y turismo del país. La red ferroviaria actual cuenta con un total de 24.227 km, de los cuales solo 1.296 km son de alta velocidad (RFI, 2011). El alto nivel de saturación alcanzado por el tráfico vehicular está llevando a los responsables de la movilidad a nivel continental a reconsiderar la importancia del transporte ferroviario. Ante esta necesidad, surge el proyecto de diseño de la línea ferroviaria que conecta las ciudades de Salerno y Reggio Calabria mediante la construcción de una línea de alta velocidad.

Geológicamente, la zona de estudio se encuentra en el contexto de una gran cuenca intermontañosa en el sur de Campania, conocida como Vallo di Diano. Rodeada de grandes montañas y atravesada por el río Tanagro, esta área se define geológicamente como una "cuenca compleja", lo que facilita la presencia de acuíferos artesianos dentro de los horizontes limosos, influyendo significativamente en los estados de consolidación (Cola et al., 2024).

Un componente crucial antes de la construcción de la línea ferroviaria es el estudio geotécnico del suelo. Una de las principales problemáticas que pueden afectar el funcionamiento de la vía ferroviaria son los asentamientos diferenciales que pueden ocurrir con el tiempo. Para evitar intervenciones continuas de saneamiento, una de las soluciones es prever un mejoramiento del suelo, lo que garantiza la estabilidad y durabilidad de la infraestructura, minimizando los riesgos asociados a los asentamientos diferenciales y asegurando un funcionamiento óptimo del sistema ferroviario.

1.2 Descripción del Problema

Por el desafío geológico y topográfico de esta zona, el análisis geotécnico de los asentamientos adquiere especial importancia, destacando los asentamientos a largo plazo, o sea, los acumulados durante la vida útil de la estructura, estimada para 20 años de servicio. Según la regulación de la Sociedad Italiana de Ferrocarriles, los asentamientos de segundo orden no deben superar los 5 cm en los próximos 100 años, para vías de alta velocidad. De este modo, se asegura la estabilidad y eficiencia de la infraestructura ferroviaria en esta importante ruta de transporte.

Por lo tanto, el desafío principal radica en determinar si es necesario realizar alguna intervención geotécnica previa a la construcción del terraplén de la vía, con el fin de reducir los asentamientos por consolidación secundaria y cumplir con la restricción impuestas por las normativas vigentes. Frente a este desafío, el Departamento de Ingeniería Civil, Construcción y del Medio Ambiente (ICEA) de la Universidad de Padua ha sido designada, por una empresa de consultoría y proyectos perteneciente a la empresa estatal ferroviaria italiana, con la tarea de diseñar y monitorear los terraplenes de la nueva línea ferroviaria de alta velocidad.

1.3 Justificación del Problema

La geotecnia aplicada a vías férreas presenta características distintivas en comparación con otras áreas de la ingeniería. Estas obras se enfrentan a problemas geotécnicos específicos, como el refuerzo de terraplenes, la unión de terraplenes antiguos y nuevos, el modelado de taludes y la contención para pasos inferiores. Siendo así la línea de alta velocidad entre las ciudades de Salerno y Reggio Calabria parte de estas obras susceptibles a desafíos geotécnicos como estos. El trazado previsto contempla la construcción de grandes terraplenes que, debido al contexto geológico-geotécnico, pueden experimentar asentamientos por la carga que estos aplican al suelo.

En particular, los asentamientos por consolidación secundaria son especialmente críticos en este tipo de obras, ya que incluso pequeños asentamientos diferenciales pueden comprometer la estabilidad y seguridad de la infraestructura. Siendo así que, el análisis de asentamientos de suelo es de máximo interés para garantizar factores de estabilidad y seguridad de la infraestructura. Además, la mejora de los suelos es crucial para que puedan soportar con mayor resiliencia los efectos del cambio climático y eventos naturales que pudieran ocurrir, como terremotos e inundaciones, fenómenos a los que no está exenta la región de estudio.

La creación de una línea de alta velocidad eficiente y duradera mejora la conectividad entre regiones, facilitando el comercio, el turismo y el acceso a nuevas oportunidades comerciales. Esto apoya el desarrollo económico y mejora el bienestar de las comunidades conectadas por esta. Por otro lado, al diseñar una infraestructura ferroviaria que resiliante y de alta calidad, se garantiza que los costos de mantenimiento y reparación sean menores a largo plazo. Esto puede traducirse en tarifas de transporte más asequibles para un mayor número de personas, incluidas las más vulnerables, promoviendo la equidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar la solución geotécnica para un terraplén de uso vial, empleando un modelo de cálculo basado en elementos finitos ajustado con datos de ensayos realizados tanto in-situ como en laboratorio, para la mitigación de los asentamientos a largo plazo.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar los asentamientos por consolidación primaria y secundaria mediante el software de elementos finitos Plaxis 2D, para la determinación de una intervención geotécnica ingenieril.
2. Evaluar las diversas soluciones geotécnicas para la reducción de los asentamientos, utilizando simulaciones permitiendo la selección de la intervención más eficiente y alineada a los objetivos de desarrollo sostenibles 9 y 11.
3. Calibrar el modelo constitutivo con datos experimentales obtenidos a partir de los ensayos geotécnicos de laboratorio, garantizando una correcta evaluación del suelo intervenido.
4. Diseñar el terraplén para la nueva línea férrea, utilizando métodos de diseño geotécnico avanzados y modelos de elementos finitos, asegurando la estabilidad y seguridad estructural del terraplén a lo largo de su vida útil.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

Los terraplenes (Figura 2.1) son estructura de tierra ubicadas sobre terreno natural y están sometidas a un proceso de compactación con la finalidad de obtener un elemento resistente con una disminución considerable de la deformación. Estos se utilizan para elevar su nivel y formar un plano de apoyo óptimo para la construcción como carreteras, ferrocarriles, obras hidráulicas, entre otras infraestructuras que requieran rellenos horizontales (Mesasol , 2022). Este diseño requiere considerar factores como estabilidad, permeabilidad, asentamientos y cargas aplicadas en el suelo, los cuales son indispensables para el correcto funcionamiento de la obra posterior que se requiera ejecutar.

Figura 2.1:

Visualización de un terraplén



Los terraplenes se clasifican de acuerdo con el material de su construcción. De forma general, este material debe contener una cohesión mínima para lograr la estabilidad óptima, siendo necesario que el volumen de vacíos desaparezca para que el relleno alcance la máxima densidad (Das. B. M, 2001). Los materiales de mejoramiento para terraplenes se identifican según las propiedades de los resultados de los ensayos basados en las Normas Técnicas para las Construcciones (NTC 2018) y pueden ser clasificados como:

Materiales naturales: Se definen como arcillas, arenas, gravas y limos, los cuales se caracterizan por ser materiales comúnmente utilizados en la construcción y su disponibilidad es a bajo costo. El más conocido de estos materiales se encuentra el lastre, el cual se conoce como una mezcla de diferentes tamaños de partículas de arena, grava y finos para mejorar las propiedades del suelo. (Bowles, 1997).

Materiales tratados: Entre estos están los suelos con aditivos, los cuales se los ha sometido a procesos físicos o químicos para mejorar sus propiedades y así aportar más resistencia, durabilidad, reducir la permeabilidad y contribuir con propiedades mecánicas más óptimas, entre estos materiales están los suelos estabilizados con cal, tratamientos térmicos, cementos, entre otros aditivos estabilizantes (Das. B. M, 2001).

Materiales especiales: Las geomallas y los geotextiles, productos fabricados a partir del polímero para proporcionar mejores propiedades mecánicas al suelo ya que aumentan la resistencia al corte, mejoran la distribución de carga, reducen asentamientos y facilitan el drenaje. Por lo general, se usan junto con otros suelos para mejorar la estabilidad de este y así garantizar obras más seguras y con mayor vida útil. (Das. B. M, 2001).

Materiales reciclados: Para promover la economía circular, estos materiales se consideran como sostenibles para mejorar las propiedades del suelo reduciendo significativamente costos de otros materiales descritos en los puntos anteriores. Los residuos de construcción o los materiales reciclados de pavimento asfáltico suelen ser empleados para la construcción de este tipo de infraestructuras viales (Fomento, 2008).

El empleo de terraplenes para ciertas estructuras va mucho más allá de prestar nivelación al terreno de construcción, también brindan estabilidad a otras estructuras. Como en el caso de estudio del viaducto de Más Rubio de la Universidad Politécnica de Cataluña. Para el cual se diseñó un terraplén en la entrada del viaducto, donde se tiene una estratigrafía de suelos arcillosos cuaternarios, arcilla con contenido reducido de grava arcillosa o arena, de

espesor variable, por lo que se realizó un estudio de análisis de estabilidad de taludes por medio del método de elementos finitos. Optando por una berma estabilizadora ya que existía un plano de deslizamiento o rotura en el contacto suelo-roca (Alarcón, 2012) Figura 2.2.

Figura 2.2:

Estratigrafía sin uso de terraplén. Fuente: Alarcón (2012)

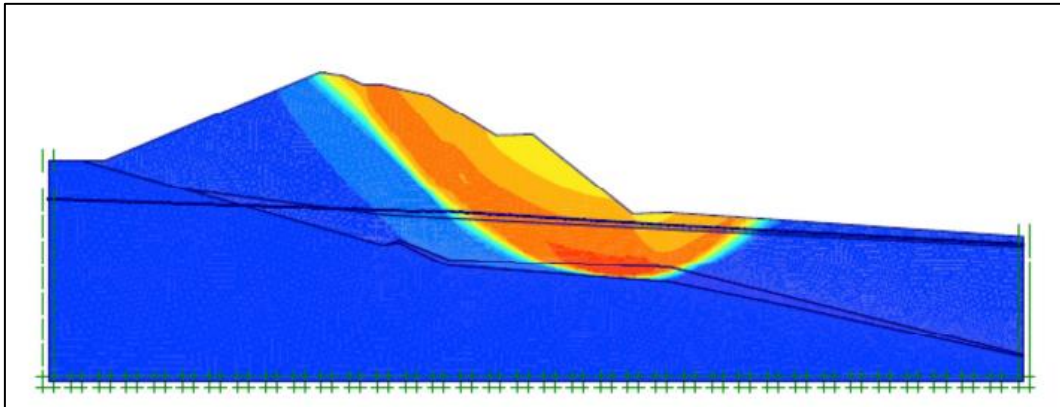
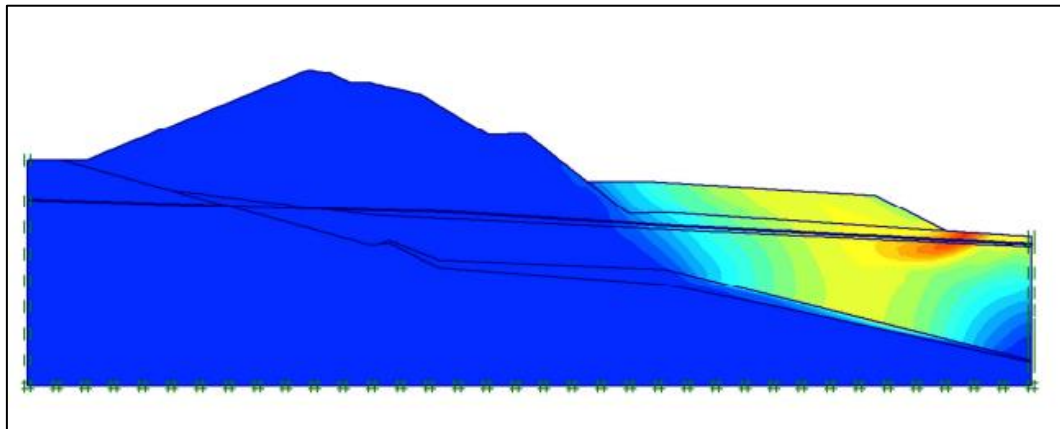


Figura 2.3:

Estratigrafía de suelo usando terraplenes. Fuente: Alarcón (2012)



En este sentido, las bermas están constituidas por un material tipo terraplén con una altura de 8 m que se dispone a lo largo del terraplén original con una anchura de 70 m, esta medida contribuye con la estabilidad de este movimiento. Esta evolución de estabilización tuvo una duración de 1 año exactamente, donde se consigue controlar la superficie de falla descrita en un principio. Es así como se muestran resultados satisfactorios, mediante el programa Plaxis 2D, con disipación de la superficie de falla (Figura 2.3). Este ejemplo

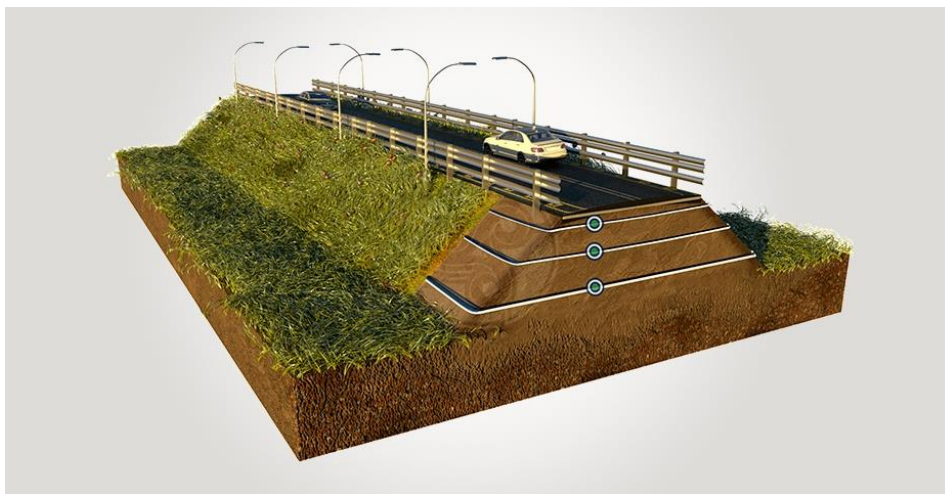
evidencia la importancia del diseño de terraplenes como medio de estabilización ante suelos compresibles (Alarcón, 2012).

Método constructivo de terraplén por etapas

La calidad del terraplén depende específicamente de su correcta colocación y el posterior tratamiento de los materiales en su construcción. El procedimiento constructivo más efectivo, para terraplenes de mayor altura y en especial sobre suelos compresibles, es la construcción por capas con espesor uniforme. Esta metodología no solo se realiza por un proceso técnico, sino también por una mayor reducción de costos y equipos necesarios para producir una óptima compactación de la estructura (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2018).

Figura 2.4:

Terraplén construido en 4 etapas de construcción



La Figura 2.4 ejemplifica el proceso constructivo de un terraplén por fases, este se realiza en etapas sucesivas, cada capa se deja asentar por un tiempo definido para permitir que cada una de estas se consolide antes de agregar la siguiente, permitiendo garantizar una mayor densidad del suelo, aportando mayor estabilidad, lo cual contribuye a disminuir los asentamientos diferenciales. (Adrian Herrera, 2015).

Análisis geotécnico previo y mejoras del suelo

El diseño y construcción de terraplenes contempla el estudio de las cargas que soportara la estructura, las demandas geométricas que estas generan en el diseño, entre otros factores procedentes del diseño estructural. Sin embargo, en proyectos de mayor envergadura, es crucial incluir campañas geotécnicas para realizar diferentes ensayos del suelo, con el fin de conocer parámetros claves del suelo. El análisis previo del suelo y las simulaciones preliminares del comportamiento de este son de gran importancia, con especial interés cuando la zona de construcción del proyecto se encuentra sobre depósitos de suelos blandos.

Un caso donde se expone la importancia del análisis geotécnico previo es la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM). Este se construiría en el centro de una zona anteriormente perteneciente al lago de Texcoco, caracterizada por contener depósitos de arcillas altamente compresivas hasta profundidades superiores a los 50m. Su construcción comenzó en el año 2015, sin embargo, por el gran número de investigaciones y evaluaciones realizadas sobre el comportamiento del suelo en el sitio, su construcción fue cancelada en diciembre de 2018 (Botero et al., 2020; López-Acosta et al., 2019; Ossa et al., 2019).

Debido a las difíciles condiciones encontradas fue necesario un mejor análisis del suelo. Donde se crearon diferentes simulaciones de terraplenes con las diferentes alternativas de soluciones, abarcando las diferentes posibilidades como sección compensada, terraplenes sobre pilotes, inclusiones rígidas, etc. Se usaron tramos de pruebas con profundidades mayores a 50m con monitoreos durante más de 50 meses, de este modo se obtuvo finalmente la información más detallada para el diseño final adoptado para las pistas (González Rodríguez et al., 2021).

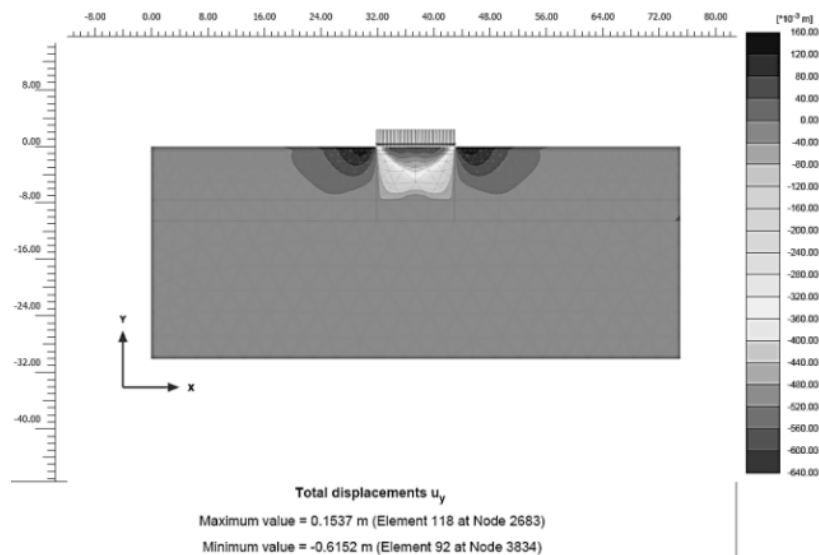
Con un análisis previo se asegura la intervención pronta del suelo, lo que es común en proyectos de grandes dimensiones, en estos casos es necesario aplicar mejoramientos para el suelo con el fin de brindar una mayor estabilidad y resistencia. Los mecanismos de mejora

del suelo son variados, desde sobrecargas, geomallas, incrustaciones granulares, etc. Sin embargo, la selección de la mejor solución será de acuerdo con la demanda de mejora del suelo y en específico del proyecto. Un ejemplo de cómo la correcta selección de mejora de suelo puede beneficiar la estructura en general, es el caso del proyecto de la mejora de suelos marinos con columnas de gravas en la India. (Vinoth & Pulikanti, 2018).

En este proyecto se seleccionó una mejora geotécnica de columnas de grava para un suelo marino que serviría como subrasante bajo un pavimento de hormigón, con longitud de entre 8.5 y 15 km. Mediante columnas de grava se buscaba aumentar la capacidad de carga del suelo de cimentación y proporcionar un drenaje libre y así reducir los asentamientos, ya que el suelo presente in situ era arcilla marina blanda. Mediante el software comercial Plaxis 2D se simuló el comportamiento del suelo con las características in situ (Figura 2.5).

Figura 2.5:

Desplazamientos totales originales. Fuente: Vinoth & Pulikanti (2018)

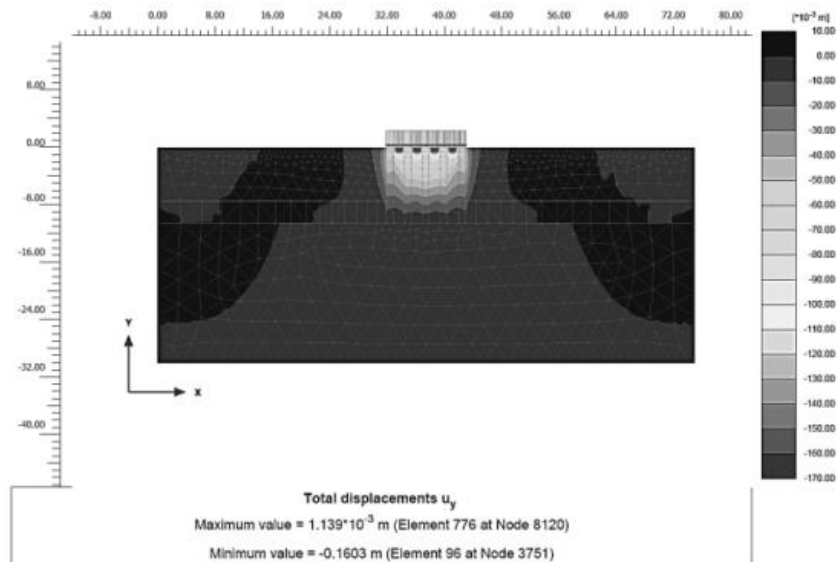


Posteriormente, se llegó al diseño final de las columnas siendo estas de 1m de diámetro con espaciamiento de 2.5 m en todo el suelo bajo el terraplén. Para la construcción del modelo se aplicó la instalación de las columnas en un camino de concreto de seis carriles, aumentando la sobrecarga que tendrá el pavimento incluyendo su carga muerta. Este estudio

demuestra que a partir de esta metodología se produjo una reducción de asentamientos de hasta el 50% (Figura 2.6).

Figura 2.6:

Diseño aplicando columna. Fuente: Vinoth & Pulikanti (2018)

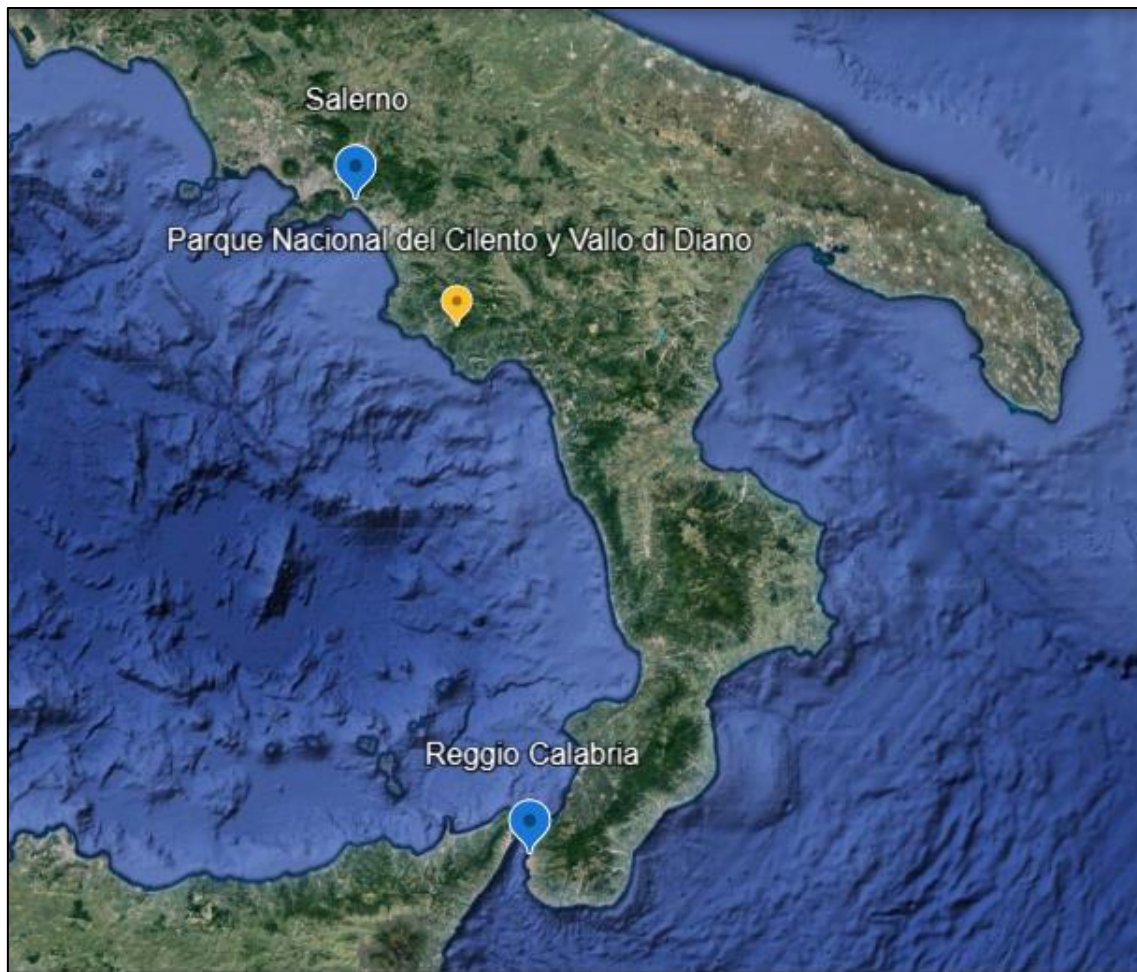


2.2 Área de estudio

La línea de alta velocidad será desarrollada entre las ciudades Salerno y Reggio Calabria. Salerno una ciudad de la región de Campania, y Reggio Calabria ubicada cerca del centro del Mediterráneo, ambas al sur de Italia (Figura 2.7). Los ensayos fueron realizados durante la campaña de investigación en el Vallo di Diano, el cual es una cuenca intermontañosa situada en la parte sur de Campania, de la provincia de Salerno. Esta área es de particular interés ambiental y arqueológico ya que forma parte del Parque Nacional del Cilento y el Vallo di Diano donde se encuentran diferentes grupos de santuarios y asentamientos extendidos a lo largo de la cuenca intermontañosa, como lo son los sitios arqueológicos de Paestum y Velia, y el monumental Certosa di Padula (Figura 2.8).

Figura 2.7:

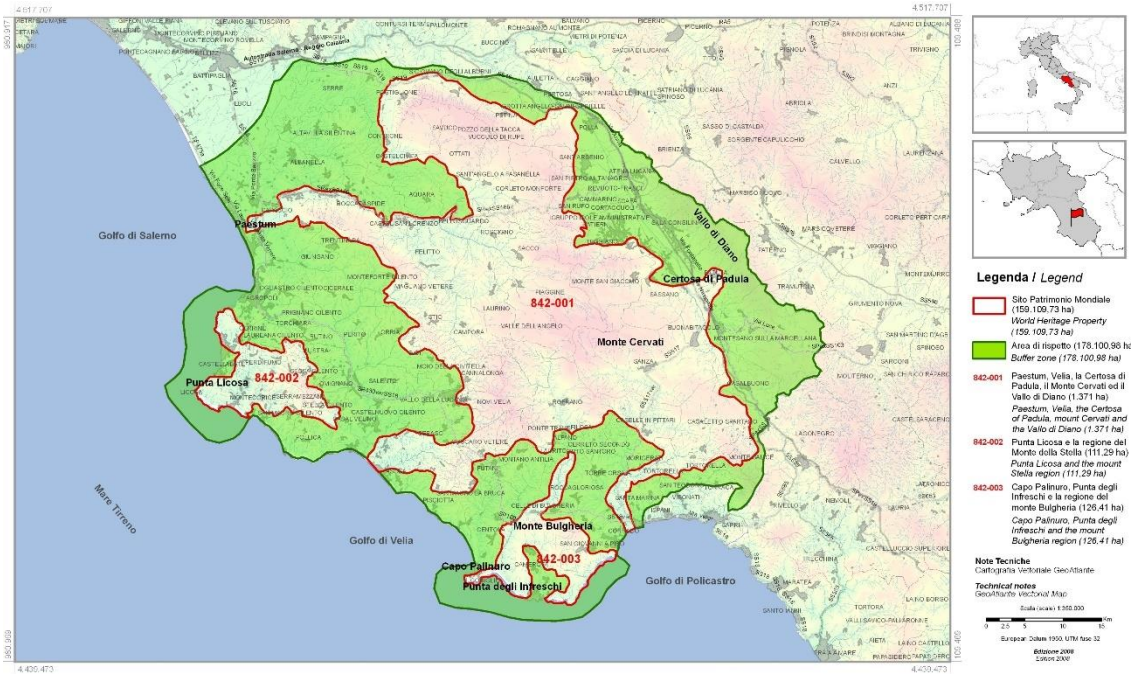
Ubicación geográfica general del proyecto. Fuente: Google Earth



La cuenca del Vallo di Diano se extiende por unos 37 km desde el noreste hasta el sureste, con una anchura máxima de 7 km. Entre las características más significativas del lugar está su ubicación entre los relieves del grupo Alburni, Monte Motola y Monte Cervati, los cuales conforman el Parque del Cilento, y en la parte del lado oriental se limita con las montañas de la Maddalena. La región se encuentra además dividida por varios valles fluviales con los ríos Sele y Tanagro atravesándola.

Figura 2.8:

Mapa del Parque Nacional Cilento y Vallo di Diano con los sitios arqueológicos de Paestum, Velia, y la Certosa di Padula. Fuente: UNESCO



2.3 Trabajos de campo y laboratorio

Entre los ensayos de campo realizados se encuentran la prueba penetrométrico estática (CPT) y el ensayo dilatométrico de Marchetti (DMT), Adicionalmente, se realizaron pruebas de laboratorio como la granulometría y el ensayo edométrico. Los resultados de estos fueron proporcionados al cliente, la Universidad de Padua, por ITALFERR SPA (Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane). Con base en los resultados obtenidos de los ensayos mencionado, se presentan a continuación un análisis detallado del proceso utilizado en cada ensayo, parámetros principales y finalmente los resultados para uno de esto.

2.3.1 Granulometría por tamizado

Este ensayo se utiliza como un preliminar para distintas pruebas de laboratorio, debido al requerimiento de clasificación previa del suelo. Se basa en determinar la gama de tamaños de partículas en un suelo, expresados como un porcentaje del peso seco total de la

masa. Al agitar la muestra de suelo a través de un conjunto de tamices que tienen aberturas más pequeñas progresivamente (Lambe & Whitman, 1991). Los números estándar del tamiz y tamaños de aberturas se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1:

Tamaños estándar de tamices

Tamiz núm.	Abertura (mm)	Tamiz núm.	Abertura (mm)
4	4.750	50	0.300
6	3.350	60	0.250
8	2.360	80	0.180
10	2.000	100	0.150
16	1.180	140	0.106
20	0.850	170	0.088
30	0.600	200	0.075
40	0.425	270	0.053

Después de agitar, se determina la masa de suelo retenida en cada tamiz, para una posterior clasificación de suelos en base a la apertura del tamiz. Para la clasificación del suelo de forma general se tiene: gravas, arena, limos y arcillas (Tabla 2.2). Una vez calculado el porcentaje de material más fino para cada tamiz, se representa en un gráfico semilogarítmico, donde el porcentaje más fino se ubica en la ordenada y el tamaño de la apertura del tamiz en la abscisa. Esta representación gráfica es conocida como curva de distribución del tamaño de partícula (Figura 2.9) y facilita la clasificación de las partículas según su tamaño.

Tabla 2.2:

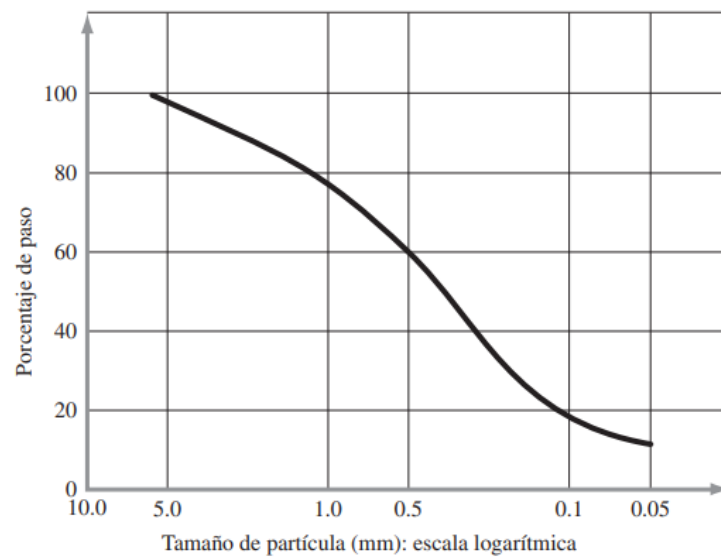
Límites de separación de partículas de suelo. Fuente: Bowles (1997)

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcillas

Asociación Americana de				
Carreteras Estatales y Oficiales del	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Transporte (AASHTO)				

Figura 2.9:

Curva de distribución del tamaño de partícula. Fuente: Das. B. M (2001)

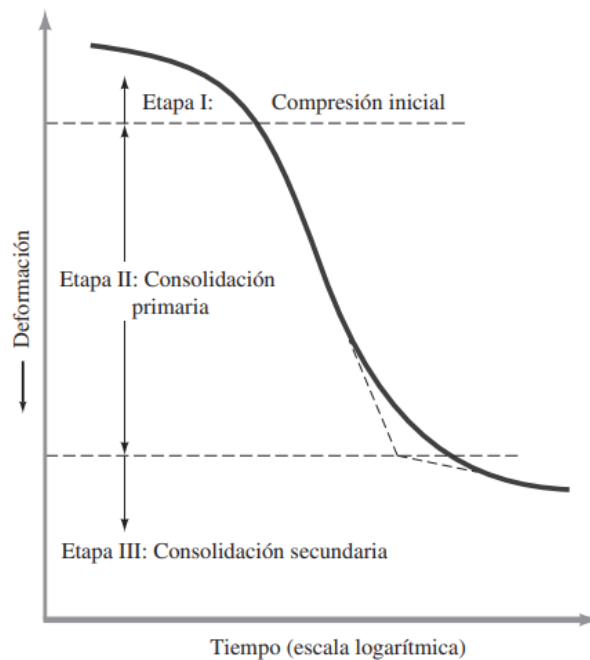


2.3.2 Ensayo edométrico

La prueba de consolidación unidimensional consiste en colocar una muestra dentro de un anillo de metal con dos piedras porosas, una en la parte superior y otra en la parte inferior. Las muestras típicamente tienen un diámetro de 63.5 mm y un espesor de 25.4 mm. La carga se aplica a la muestra mediante un brazo de palanca y la compresión se mide con un micrómetro calibrado. Durante el ensayo, cada carga se mantiene durante 24 horas antes de duplicarse, y luego se incrementa para medir nuevamente la compresión. A partir de esta prueba, se pueden obtener gráficos de deformación versus tiempo que deben realizarse en una escala logarítmica. Este ensayo muestra tres etapas de consolidación como se muestra en la Figura 2.10.

Figura 2.10:

Gráfica de deformación versus tiempo en un ensayo de consolidación. Fuente: Das. B. M (2001)



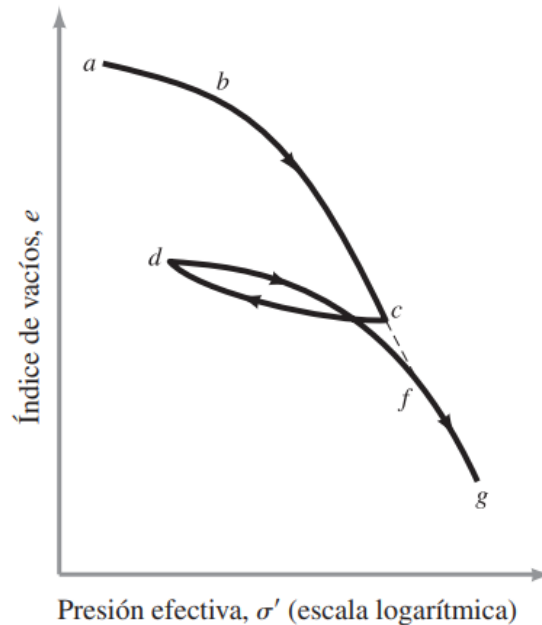
La primera etapa de compresión inicial es causada sobre todo por la precarga. Luego pasa a una etapa de consolidación primaria durante la cual el exceso de presión del agua intersticial se transfiere gradualmente en esfuerzo efectivo por la expulsión de esta. Finalmente, la consolidación secundaria se da tras la disipación total del exceso de presión del agua intersticial, cuando se deforma alguna deformación de la muestra por el reajuste plástico del suelo.

Otra curva importante en el ensayo de consolidación es la relación de vacíos vs. presión efectiva (Figura 2.11). Esta gráfica demuestra la dinámica entre la carga y descarga relacionada a la presión efectiva del suelo, que afecta directamente en el índice de vacíos dependiendo de la carga efectiva presente y la historia geológica del suelo (Das. B. M, 2001).

Figura 2.11:

Gráfica de relación de vacíos vs. presión efectiva mostrando carga, sobrecarga y ramas de recarga.

Fuente: Das. B. M (2001)



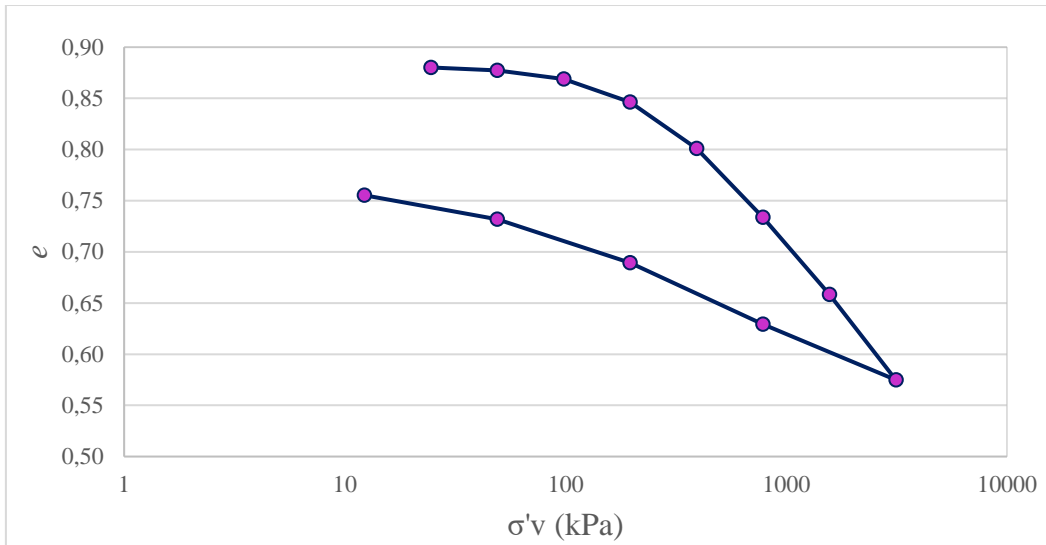
Resultados del ensayo

Se tienen los resultados de dos diferentes ensayos edométricos LIB-S7 CI2 y LIB-S7 CI4, a los que nos referiremos en adelante como CI2 y CI4 respectivamente. La profundidad del CI2 es de 3.7 m (capa superficial) y del CI4 es de 16.3 m (capa profunda).

Como primer paso para el análisis se realizaron las curvas de compresión para cada ensayo edométrico (Gráficas 2.1 y 2.2). Donde los suelos muestran una tendencia al hinchamiento significativa tanto en la pendiente de la línea de descarga como la de recarga. Este comportamiento puede deberse a la alta salinidad de la muestra, el suelo durante la descarga puede absorber agua destilada, y esta a su vez modificaría la muestra con efecto directo en su tendencia a hincharse (Di Maio & Vassallo, 2011).

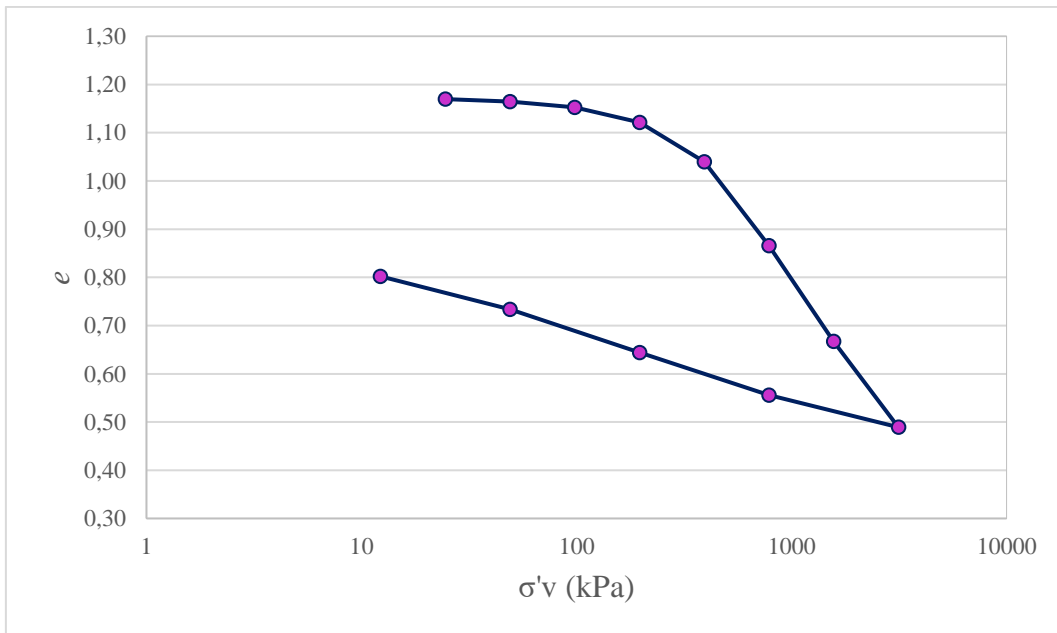
Gráfica 2.1:

Curva de compresión para ensayo CI2



Gráfica 2.2:

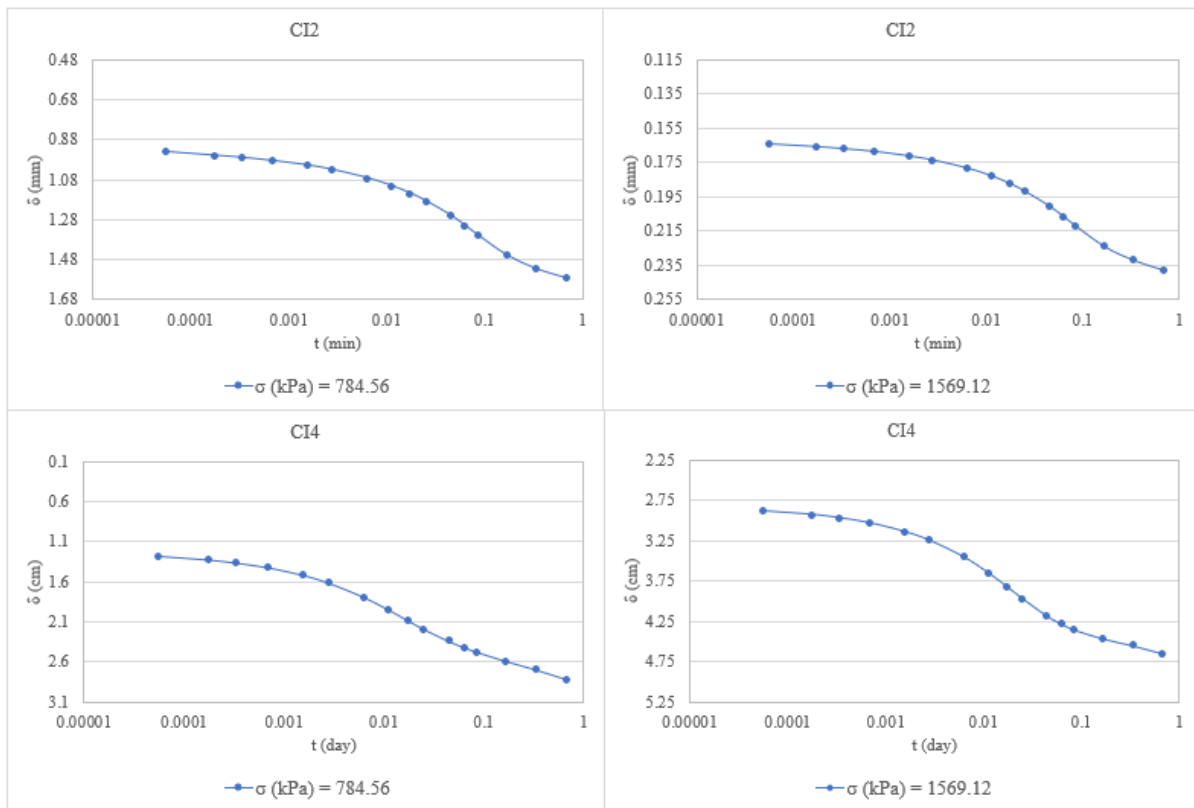
Curva de compresión para ensayo CI4



Además, se analizaron las curvas de deformación vs. tiempo para cada paso de carga, a partir de las cuales se obtiene el coeficiente de consolidación secundaria y su dependencia a la tensión vertical. Algunas de estas curvas para los ensayos son los presentados en la Gráfica 2.3.

Gráfica 2.3:

Ejemplo de curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI2 y CI4



2.3.3 Prueba penetrométrica estática (CPT)

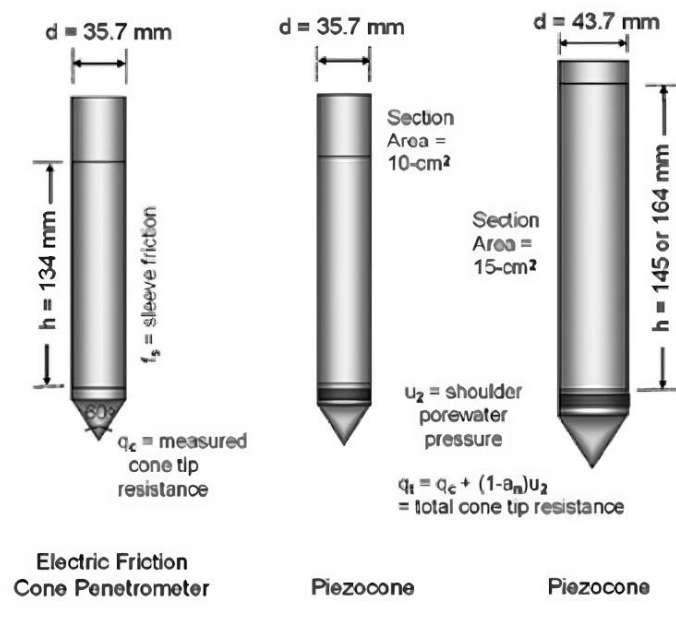
La prueba de penetración cónica o por sus siglas en inglés CPT (Cone Penetration Test), regulada por la ISO 22476-1 (2022) e ISO 22476-12 (2009), consiste en accionar un instrumento cilíndrico dotado de una punta cónica con un ángulo de vértice de 60° . Entre las medidas de penetrometro más usadas están las representadas en la Figura 2.12. Este ensayo sirve para reconstruir con gran detalle la estratigrafía del suelo. Además, permite obtener múltiples parámetros tanto para suelos cohesivos como granulares, utilizando correlaciones empíricas o fórmulas analíticas (Marchetti, 2019).

En base a las indicaciones dichas en la literatura, los parámetros que se pueden obtener con diferentes grados de confiabilidad son la estratigrafía: tipo de suelo y espesor de las capas, presión de poros en el sitio; parámetros de estado: volumen, densidad relativa de la

arena, tensión de sobreconsolidación o grado de sobreconsolidación OCR; parámetros de resistencia: resistencia al corte no drenado en suelos de baja permeabilidad, ángulo de fricción efectivo máximo Φ y ángulo de dilatación ψ por las arenas; parámetros de deformabilidad: módulo de Young al 50% para suelos drenantes, módulo de corte en pequeñas deformaciones, modulo edométrico, coeficiente de consolidación secundaria; etc.

Figura 2.12:

Dimensiones de las diferentes puntas para CPT. Fuente: Marchetti (2019)



Resultados del ensayo

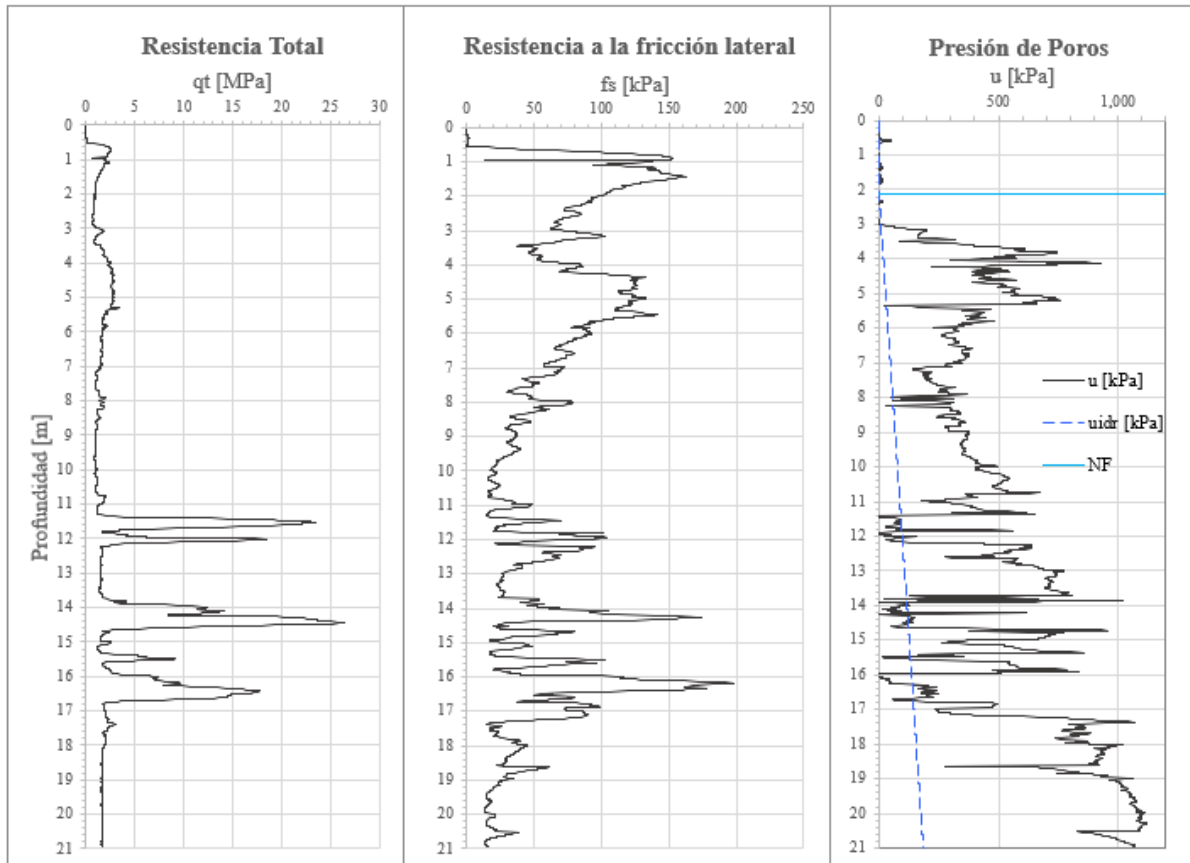
Con el ensayo CPT_u se realizaron los perfiles para los parámetros de resistencia total, resistencia a la fricción lateral y presión de poros (Figura 2.13). En base a estos datos se clasificó el suelo con el método de Robertson (2009) y Schneider et al. (2008).

En la clasificación de Robertson (2009) (Figura 2.14, perfil izquierdo) se identifica una primera capa de aproximadamente 1m de profundidad de suelo sobreconsolidado o de grano fino (STBn igual 9). Seguido, una capa más extensa y homogénea de suelo fino que varía entre arcillas, limos y limos arenosos (SBTn de 3 a 5) y se extiende hasta aproximadamente los 11 m de profundidad. Desde esta profundidad y hasta los 18 m se presenta un suelo con

un perfil más estratificado con tres tramos de aproximadamente 1 m de espesor compuesto por arena o arena arcillosa (SBTn de 6 a 7) intercalados con capas de suelo arcillosos o mezcla de limos (SBTn de 3 a 4).

Figura 2.13:

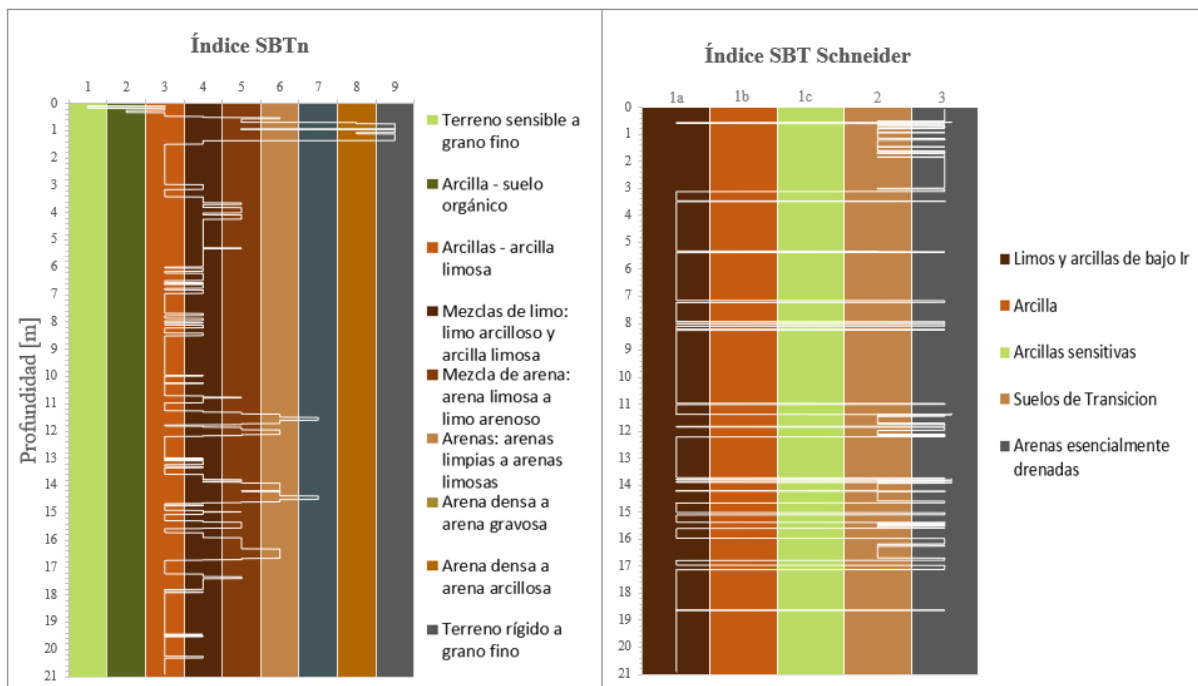
Perfiles de los parámetros medidos en el ensayo penetrómetro CPT_III



La clasificación de Schneider et al. (2008) (Figura 2.14, perfil derecho) identifica del mismo modo una capa inicial de aproximadamente 50 cm con suelos finos entre limos o arcilla (índice 1a), seguido por una capa de aproximadamente 2 m de suelos de transición o arenas drenadas (índice 2 o 3). Seguido, y hasta los 11 m de profundidad se visualiza una capa homogénea compuesta, mayormente, por limos o arcillas (índice 1a). Desde los 11 m y hasta los 17 m, el suelo fluctúa entre suelos tipo limosos o arcillosos (índice 1a) y suelos de transición o arenas (índices 2 o 3). Luego de esta capa el suelo se mantiene homogéneo con arcilla (índice 1a).

Figura 2.14:

Clasificación del suelo según el método de Robertson y Schneider

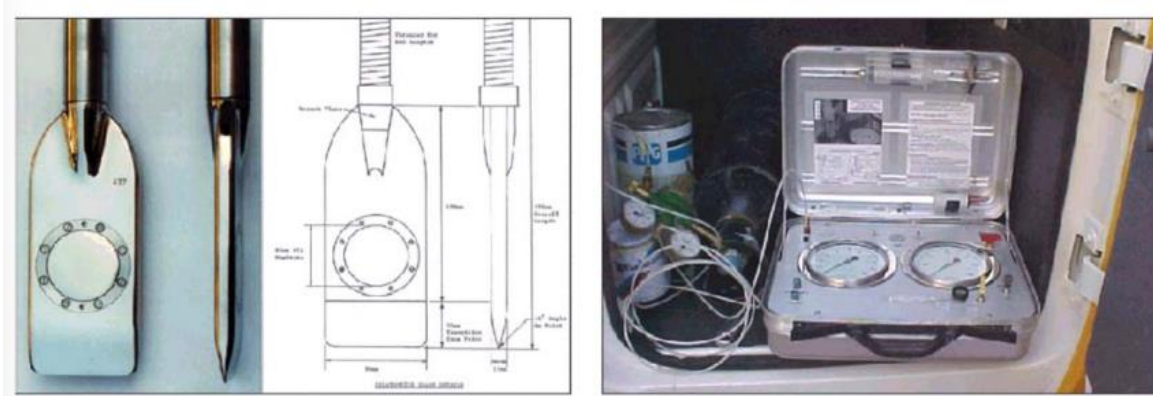


2.3.4 Ensayo Dilatómétrico de Marchetti (DMT)

El DMT es un ensayo geotécnico in situ que puede ser utilizado tanto en suelos granulares como cohesivos. Mediante este ensayo, es posible determinar el perfil estratigráfico del terreno y ahondar sobre sus parámetros de resistencia y deformabilidad, siendo una de sus principales aplicaciones la estimación de los asentamientos y la capacidad de carga del suelo. Todo esto se realiza mediante la instrumentación que consiste en una paleta plana que se hincó en el terreno y está provista de una fina membrana metálica circular (Figura 2.15), expandible horizontalmente en el suelo mediante un gas a presión (Davis, 2008).

Figura 2.15:

Paleta central y lectura del DMT. Fuente: García Núñez (2007)



Una vez hincada la paleta a la profundidad de exploración, la membrana se infla con presurizado, tomando las lecturas A, correspondientes a la presión necesaria para mover la membrana; la lectura B, la cual abarca la presión requerida para producir un deslizamiento a 1.1 mm en el terreno; y la lectura C, referente a la presión de poro en exceso que se genera en el suelo durante el proceso de hincado e inflamación de la membrana. Estas lecturas deben ser corregidas por los efectos de la rigidez de la propia membrana para así determinar las presiones P_o y P_i (García Núñez, 2007).

En base a estas mediciones es posible obtener una serie de nuevos parámetros. De los parámetros iniciales P_o y P_i se derivan los tres parámetros característicos de este ensayo:

- **I_D** Índice de material, relacionado con el tipo de suelo
- **K_D** Índice de esfuerzo horizontal, relacionado con la relación de sobreconsolidación (OCR).
- **E_D** Módulo Dilatómetro, determinado a partir de la teoría de la elasticidad.

Por medio de estos parámetros primarios se pueden obtener otros como:

- **Relación de sobreconsolidación, OCR:** se define como la relación entre la presión de pre-consolidación de una muestra y la presión vertical efectiva presente.

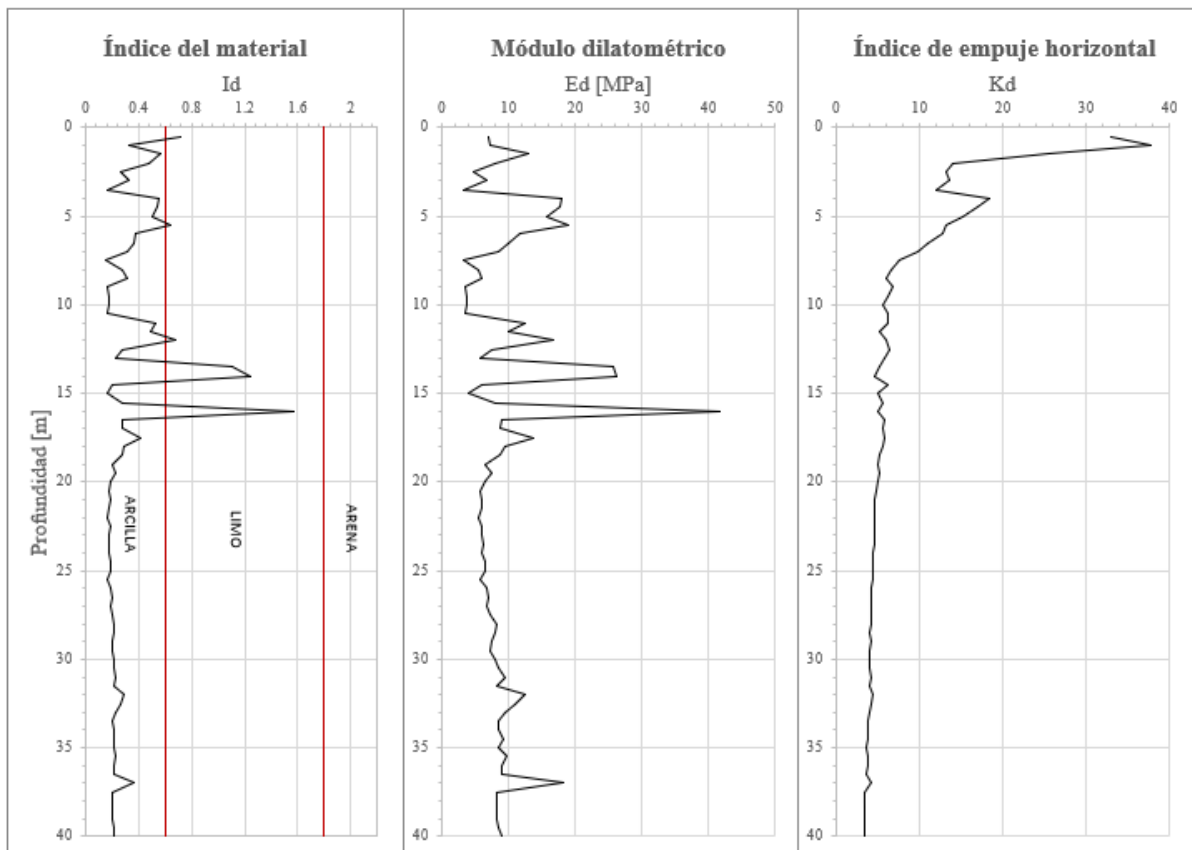
- **Coefficiente de presión de tierras en reposo K_0 :** Parámetro que describe la relación entre la presión lateral y vertical en el suelo cuando este se encuentra en su estado natural, es decir, sin deformaciones horizontales.
- **Ángulo de fricción Φ :** Representa el ángulo máximo en el que un material puede resistir el deslizamiento por la fricción interna entre sus partículas sin deformación permanente o falla.

Resultados del ensayo

En la Figura 2.16 se muestran los valores de los índices de material que se obtuvieron del ensayo dilatométrico DMT_I11, a partir de los parámetros iniciales P_o y P_i . En esta prueba dilatométrica se alcanzó una profundidad de 40 m, dando una visión más clara de los estratos más profundos y permitiendo una comparación de resultados con los otros ensayos.

Figura 2.16:

Perfil dilatómetro de los parámetros I_d , E_d y K_d para el ensayo dilatométrico DMT_I11



2.4 Análisis de resultados

Para el procesamiento de los resultados de laboratorio se utilizó el software Microsoft Excel donde se obtuvieron los principales parámetros disponibles en base a la información proporcionada por cada ensayo. Estos resultados son requeridos para la calibración y comparación en el modelo constitutivo del software de análisis geotécnico que se utilizará en el capítulo de diseño.

Parámetros adicionales a partir de los ensayos

Entre los parámetros del suelo que se pudieron obtener están: grado de sobreconsolidación (OCR), peso volumétrico (γ) e índice de vacío (e). A partir del ensayo CPTu se realizó la determinación del grado de sobreconsolidación en las capas con suelos arcillosos, utilizando las fórmulas de Kulhawy y Mayne (1990), considerando un $k = 0.33$.

$$OCR = kQt \quad (2.1)$$

Así como la fórmula de Robertson (2009):

$$OCR = 0.24Qt^{1.25} \quad (2.2)$$

Para el peso volumétrico se empleó la fórmula de Mayne (2007):

$$\frac{\gamma_t}{\gamma_w} = 1.22 + 0.15 \ln \left(100 \frac{f_s}{p_a} + 0.01 \right) \quad (2.3)$$

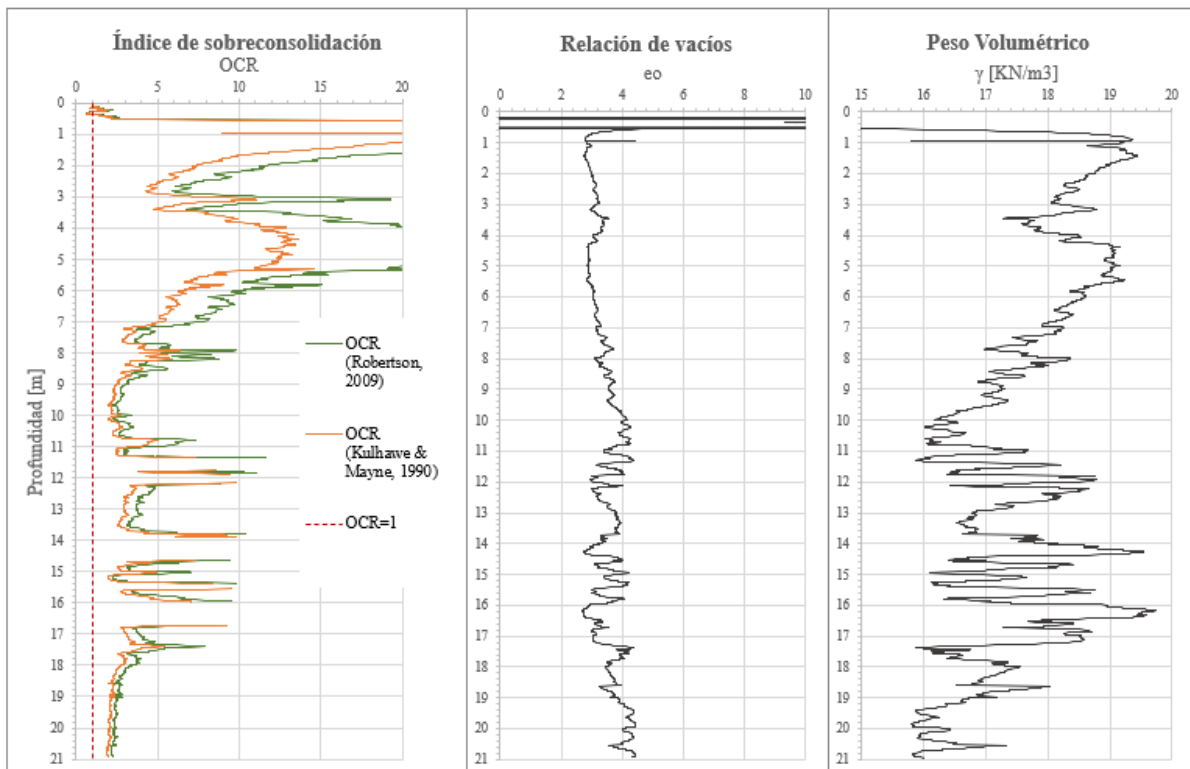
Finalmente, para la relación de vacíos se optó por una variación de esta, utilizando el peso volumétrico y la gravedad específica, para este último parámetro se utilizó el valor de referencia de 3.71, empleado en los ensayos edométricos.

$$e_o = \frac{\gamma_w G_s}{\gamma - \gamma_w} \quad (2.4)$$

Los resultados de cada parámetro se presentan en la Figura 2.17 para el ensayo CPTu_I11.

Figura 2.17:

Parámetros de estado deducidos del análisis del ensayo penetrométrico CPTu_I11



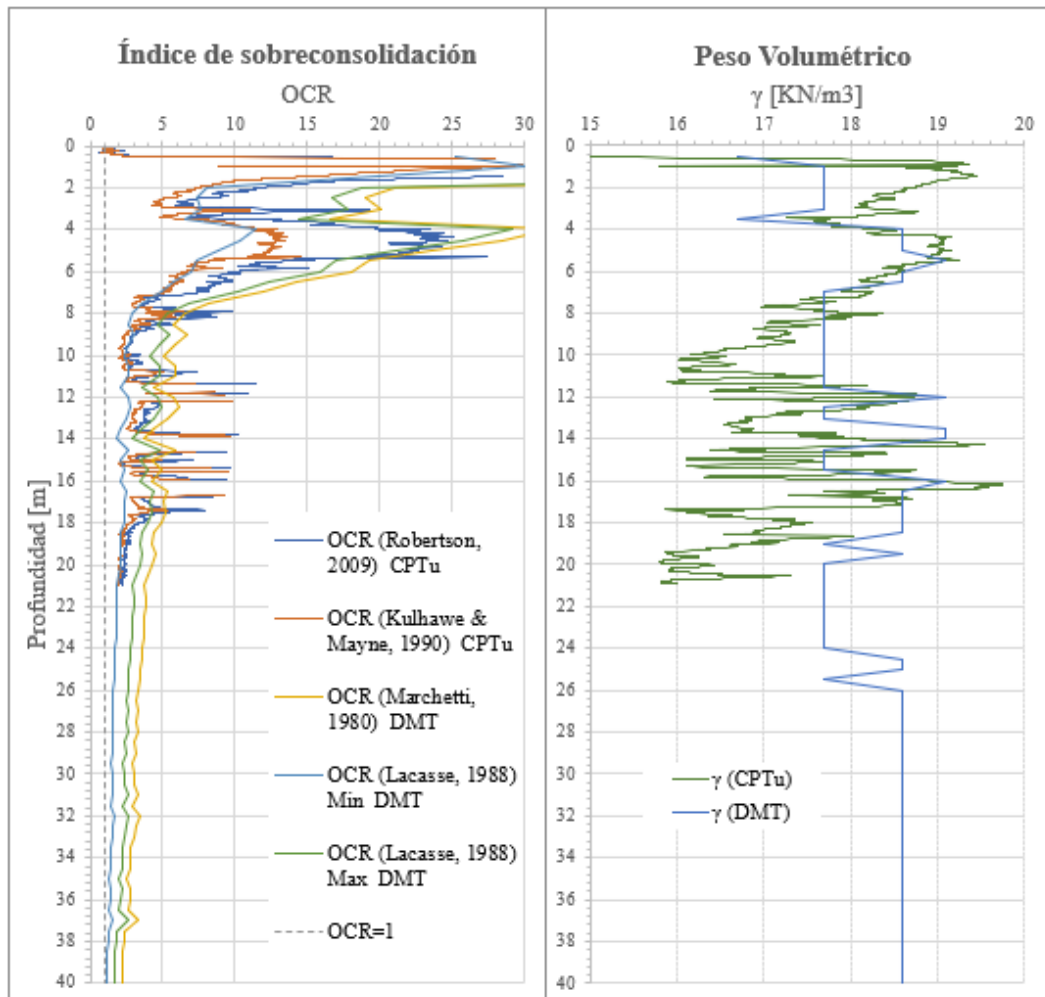
El perfil de OCR muestra un antecedes de estrés en el suelo complejo, lo que dificulta la interpretación de este. También se debe tener en cuenta que este grado de sobreconsolidación depende del tipo de suelo, esto debido al origen de las fórmulas utilizadas (2.1, 2.2), ambas involucran el parámetro de resistencia normalizada Q_t , el cual a su vez está controlado por la composición granulométrica del suelo. Es por esto, por lo que se ha excluido algunos picos de la gráfica en el análisis general.

Estos valores elevados pueden deberse a que en ciertos casos la zona resistente a la penetración puede extenderse lejos del instrumento y al pasar este de las capas cohesivas a las granulares, o viceversa, puede registrar valores de resistencia en la punta erróneos y generar estos picos (Cola et al., 2024). Un ejemplo de este comportamiento se puede observar en el tramo de profundidad de 11 a 18 m, donde la estratigrafía demuestra tramos de capas

cohesivas intercaladas con granulares, y se pueden observar altos valores de OCR (Figura 2.17).

Figura 2.18:

Comparación, de los perfiles OCR y peso volumétrico, entre los ensayos CPT_I11 y DMT_I11



Simultáneamente, se analizó el OCR con los resultados de la prueba dilatométrica, teniendo los resultados expuestos en el perfil comparativo de la Figura 2.18. Para esto se utilizaron las fórmulas de Marchetti (1980) para terrenos con I_d menor a 1.2 y no estructurados:

$$OCR = (0.5K_p)^{1.56} \quad (2.5)$$

Y la propuesta por Lacasse y Lunne (1988), donde la exponente varía desde el valor mínimo (1.35) al máximo (1.67) dependiendo de la plasticidad del terreno:

$$OCR = 0.225K_D^{1.35+1.67} \quad (2.6)$$

En el tramo más profundo, y como se evidencia en los resultados del ensayo DMT_I11 en la Figura 2.18, se observa una tendencia de disminución del OCR debido a una liberación de estrés por erosiones ocurridas en épocas pasadas. Es posible que en las distintas eras geológicas se hayan reproducido varias fases erosivas resultado de cambios en las condiciones altimétricas provocada por movimientos tectónicos o condiciones geo-climáticas propias de la región (Cola et al., 2024).

Los valores de OCR obtenidos con las diferentes pruebas y ecuaciones son diferentes entre sí, específicamente en la parte superficial, pero todos tienden a decrecer con profundidad.

Respecto al peso volumétrico, este varía entre valores desde 16-19 kN/m³ para ambas pruebas en suelos pocos profundos sobreconsolidados, con ciertos picos próximos a los 20 kN/m³. Para suelos profundos, el ensayo DMT_I11 arroja valores más constantes entre 17.6-18.6 kN/m³, finalizando con un peso volumétrico invariable de 18.6 kN/m³.

Características de compresibilidad del suelo

Para la prueba CPTu se utilizaron las ecuaciones de Robertson (2009; 2012) las cuales tienen sus bases en los estudios de Sanglerat (1972) y Mayne (2007):

$$M = \alpha_M q_n \quad (2.7)$$

Siendo α_M (2.8):

$$\alpha_M = 0.03 * 10^{(0.55I_c+1.68)}, \text{ si } I_c < 2.2$$

$$\alpha_M = Q_{tn} \quad , \text{ si } I_c \geq 2.2 \text{ y } Q_{tn} < 14$$

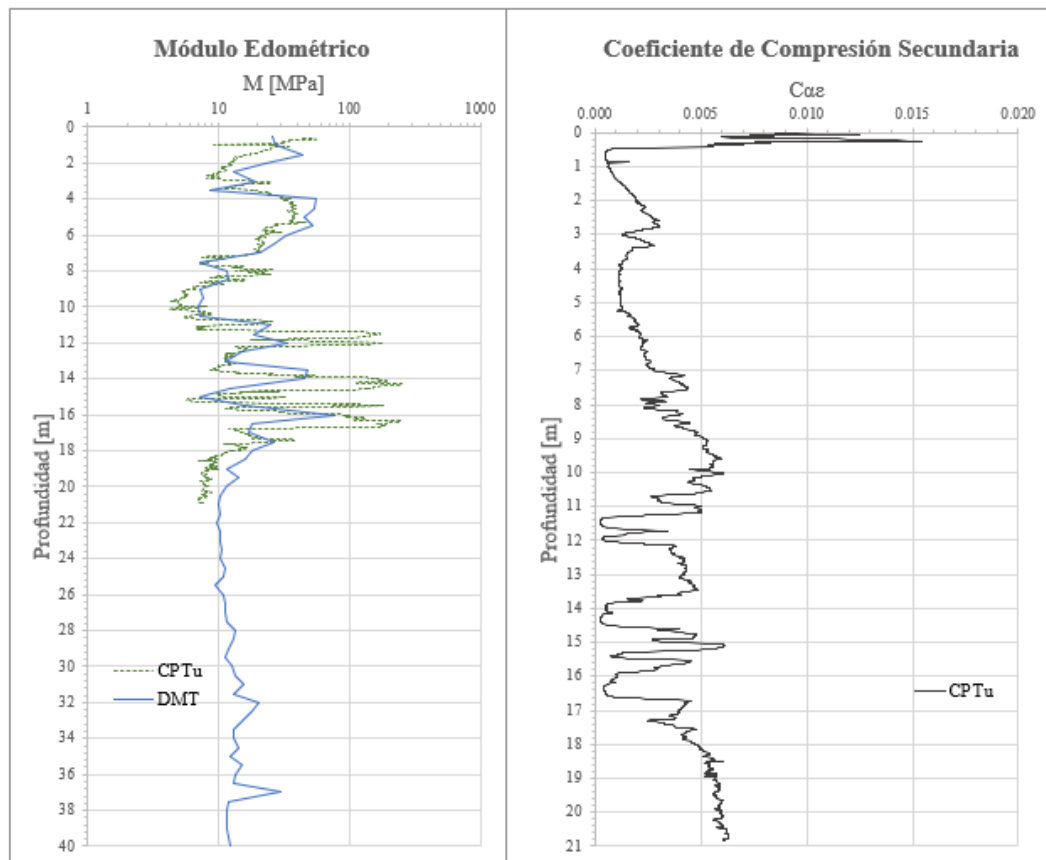
$$\alpha_M = 14 \quad , \text{ si } I_c \geq 2.2 \text{ y } Q_{tn} \geq 14$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2.19, en conjunto con el coeficiente de compresión secundaria $C_{\alpha\varepsilon}$, obtenido de la ecuación propuesta por Bersan et al. (2012):

$$C_{\alpha\varepsilon} = 0.03Q_{tn}^{-0.89} \quad (2.9)$$

Figura 2.19:

Módulos edométricos y coeficientes de compresión secundaria obtenidos en los ensayos in-situ



Los valores del módulo edométrico concuerdan parcialmente para ambas pruebas (CPTu y DMT), las zonas de picos coinciden y en las demás etapas mantienen la misma tendencia.

Para el perfil de $C_{\alpha\varepsilon}$, este parámetro crece de forma regular para los estratos más profundos (mayores a 16 m de profundidad) en capas más cohesivas, alcanzando un valor en torno a 0.005, donde el grado de consolidación desciende. La irregularidad de los valores en los tramos intermedios puede deberse, como ya se mencionó anteriormente, a la heterogeneidad de la estratigrafía en estas capas.

Características geotécnicas del suelo a partir de ensayo edométrico

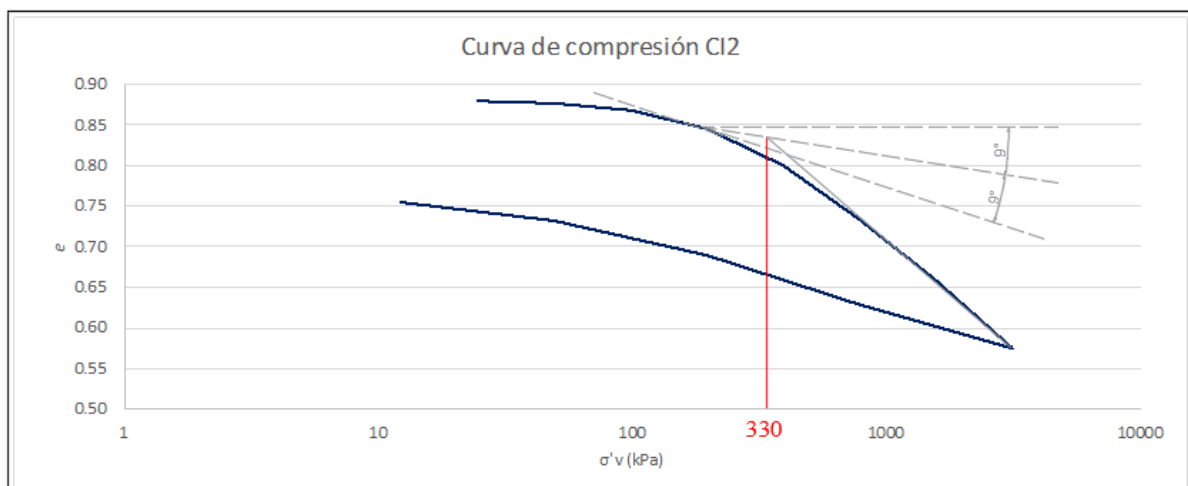
En cuanto a la plasticidad del suelo y usando como referencia la carta de plasticidad ASTM D2487, para el ensayo CI2 se tiene un suelo de alta plasticidad con un límite líquido

de 57.7% y un índice de plasticidad de 28.1%, el ensayo CI4 es un suelo poco plástico con un límite líquido de 40.8% y un índice de plasticidad de 12%.

Las curvas de compresión fueron procesadas con el método gráfico tradicional Casagrande (Figura 2.20) para estimar el esfuerzo de pre-consolidación, obteniendo un valor de este de 330 kPa para el ensayo CI2, y de 380 kPa para el ensayo CI4. Además, se estimó el esfuerzo vertical efectivo siendo de 38.27 kPa y 112.82 kPa, para los ensayos CI2 y CI4 respectivamente. Para efectos de estimar este esfuerzo efectivo y el OCR se adoptó el valor de la profundidad del nivel freático a 1 m, asumidos en el informe de ambos ensayos.

Figura 2.20:

Método Casa Grande para el análisis del esfuerzo de pre-consolidación, ensayo edométrico CI2



Los pesos unitarios para los ensayos CI2 y CI4 son de 18.74 kN/m³ y 16.24 kN/m³ respectivamente. Las relaciones de vacío utilizadas para el modelo fueron las obtenidas para el salto de carga de 3138.24 kPa, y estas son de 0.57 para el ensayo CI2 y de 0.49 para el CI4.

Modelo constitutivo

El software comercial geotécnico Plaxis 2D es una herramienta de análisis de elementos finitos, en especial para el análisis 2D de deformaciones y estabilidad en proyectos de ingeniería geotécnica como excavaciones, terraplenes, cimentaciones, túneles, geomecánica de yacimientos, entre otros. Adicional a esto, el software es reconocido por su

sólido calculo mediante el empleo de una variada lista de modelos de materiales que permiten modelar con mayor precisión y de forma realista las tensiones y desplazamientos en el suelo (Bentley, 2024). Conociendo las características del suelo in situ, se decide trabajar en específico con el modelo constitutivo Soft Soil Creep.

El modelo constitutivo Soft Soil Creep es utilizado para simular el comportamiento a largo plazo de suelos blandos. Este modelo introducido por Vermeer y Neher (1999) simula de manera efectiva los efectos de la fluencia, es decir, las deformaciones que se producen con el tiempo bajo cargas aplicadas constantemente (Cordero, 2016).

Una de las principales características de este modelo son las superficies de fluencia de tipo viscoplástico ya que definen el límite entre el estado elástico y el estado plástico del material. De esta manera, cuando las tensiones aplicadas al suelo superan esta superficie, el material empieza a deformarse plásticamente (PLAXIS 2D, 2024). Para este modelo es necesario parámetros de las características del material blando tales como:

Generales: Parámetros descriptivos del suelo. Tipo de suelo, drenaje, relación de vacíos, peso unitario saturado e insaturado.

Mecánicos: Describen el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga. Índice de compresión modificado, Índice de hinchazón modificado, cohesión, ángulo de fricción y ángulo de dilatación.

Agua subterránea: describen el comportamiento del agua cuando se encuentra debajo de la superficie. Permeabilidad horizontal y vertical.

Inicial: Presenta la razón de consolidación.

Respecto a los parámetros utilizados por el modelo, existe una serie de estos que se incluyen a diferencia de otros modelos constitutivos como el Mohr-Coulomb. Algunos de estos parámetros adicionales son: cohesión efectiva, c , ángulo de fricción, ϕ , y ángulo de dilatancia ψ . Para suelos con tendencia a ser cohesivos y de suelo fino, el ángulo de dilatancia

tiende a ser pequeño, para algunos casos se puede considerar incluso cero. Adicionalmente, el modelo considera ciertos parámetros relacionados con la rigidez del suelo, estos son: índice de hinchamiento modificado, κ^* (2.10), índice de compresión modificado, λ^* (2.11), índice de fluencia modificado, μ^* (2.12) (Manual Plaxis Versión 8).

$$\kappa^* \approx \frac{2}{2.3} \frac{Cr}{1+e} \quad (2.10)$$

$$\lambda^* = \frac{Cc}{2.3(1+e)} \quad (2.11)$$

$$\mu^* = \frac{C\alpha}{2.3(1+e)} \quad (2.12)$$

Estos parámetros pueden ser obtenidos mediante ensayos de compresión isotrópica o mediante ensayos edométricos, con la curva de compresión. Y se debe tener en cuenta que estos parámetros son diferentes a los parámetros originales κ y λ . Los parámetros modificados son definidos por la curva de relación de vacíos e y deformación volumétrica ε_v , mientras que μ^* se puede obtener midiendo la deformación volumétrica a largo plazo versus el logaritmo del tiempo (Manual Plaxis Versión 8).

2.5 Análisis de alternativas

Conociendo la importancia del análisis del comportamiento del suelo previo a la construcción, en especial en presencia de suelos blando, como el presente proyecto, se presentan a continuación una serie de posibles mejoras geotécnica del suelo. La demanda de asentamientos a largo plazo de 5cm en los próximos 100 años, lleva a la previa consideración de un mejoramiento del suelo. Alternativa que será sometida a comparación, mediante simulaciones, con el método inicial de construcción por fases sin modificación del suelo, análisis en base al cual se tomará la decisión final de implementación (o no implementación) de la mejora.

A1 Mejora del suelo usando geosintéticos

Consiste en usar geosintéticos para aumentar la capacidad portante y la estabilidad del suelo, reducir su compresibilidad y controlar los asentamientos diferenciales. Entre las opciones más comunes están los geotextiles tejidos y las geomallas para suelos blandos (Moreno et al., 2015) (Figura 2.21).

Figura 2.21:

A1-Mejora del suelo usando geosintéticos. Fuente: Geosintex



Nota: Suelo reforzado con geosintéticos en Tertenia, Italia

En el caso de los geotextiles en suelos blandos actúan como un elemento de refuerzo a nivel de la base, y son mayormente utilizados para el control de momentos inestables generados por el propio peso de la estructura (Moreno et al., 2015). Sin embargo, la baja permeabilidad del material podría interferir como una barrera hidráulica que a su vez genera exceso de presión de poros (Koerner, 1995).

Analizando la segunda opción, las geomallas, estas tienen un amplio uso en la geotecnia como el tratamiento de subbases, la estabilidad de taludes y la mejor de la capacidad de carga de los suelos. Esmaeili et al. (2018) en su investigación sobre el uso de las geomallas para estabilizar terraplenes, menciona que el efecto depende de varias capas de geomalla, las características del suelo, las dimensiones del terraplén, el coeficiente de interfaz y la resistencia a la tracción de la malla. Las características para evaluar para esta alternativa son:

Vida útil: Las membranas geosintéticas pueden durar entre 20 a 50 años dependiendo la capacidad de carga que resistan. (Geofantex, 2024)

Mantenimiento: Depende de la vida útil del geosintético.

Costo: Según el portal de compras públicas, el material de mejoramiento tiene un costo promedio por m³ de \$2.00 y el geotextil 4.28 el m². Es importante mencionar que estos materiales serán aplicados en toda la extensión del terraplén lo cual puede representar un costo excesivo en cuanto a la cantidad de material a utilizar. (Servicio Nacional de Contratación Pública, 2023)

Tiempo de ejecución y mano de obra: Representa mayor tiempo de ejecución y mano de obra debido a la larga extensión de vía ferroviaria que será colocado el material de mejoramiento.

Co2: Esta alternativa presenta grandes impactos ambientales debido a los grandes volúmenes de tierra que requiere el proyecto.

A2 Columnas de gravas o inclusiones granulares

Las columnas de grava surgen como una variación de la vibrocompactación y la compactación dinámica (Esrig, 1991). Involucra la inserción de columnas verticales de grava compactada en el suelo, que actúan como elementos de refuerzo. El proceso de construcción se basa en la excavación de un pozo vertical, que luego se rellena por capas compactadas, esto hasta alcanzar el nivel del superficial del suelo (Figura 2.22).

Existen diversos tipos de columnas de grava y su selección dependerá, principalmente, del método de construcción, el tipo de suelo que se desea estabilizar y el material de relleno (Esrig, 1991). Por lo que el método que más se adapta al tipo de suelo presente in situ, es el método de vibroreemplazo. Este consiste en la colocación a presión de capas de gravas con espesores de 0.3 m a 1.2 m. Estas capas son colocadas usando un vibrador eléctrico o hidráulico.

Figura 2.22:

A2-Columnas de grava. Fuente: Geopier



Nota: Sistema de columnas de piedra "X1 System"

Este método es recomendable en los terrenos con suelos blandos donde no se pueda mantener su cohesión cuando se excava en ellos y donde el nivel freático sea elevado (Barksdale & Bachus, 1983). Las características de esta alternativa son:

Vida útil: Supera los 50 años. (Diaz, Ruiz-Terán, 2020)

Mantenimiento: Relativamente poco.

Costo: Según el portal de compras públicas, el material granular tiene un costo promedio por m³ de \$8.79. Este material será colocado únicamente en partes específicas del terreno según el diseño de las columnas. (Servicio Nacional de Contratación Pública, 2023)

Tiempo de ejecución y mano de obra: El tiempo que requiere mejorar el suelo por medio de columnas de grava es menor que hacer una cimentación profunda o excavar y reemplazar el suelo. (Gutiérrez, 2005)

Co2: Esta alternativa no presenta grandes impactos ambientales debido a la puntualidad de ejecución del proyecto, se centra únicamente en la perforación del sitio para colocar la columna.

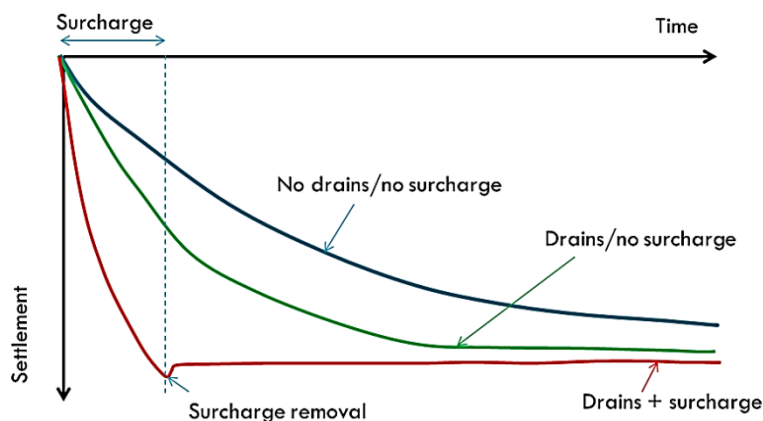
A3 Sobrecarga

Este método consiste en la aplicación de una carga temporal sobre el terreno, el objetivo es aplicar una carga mayor que el esfuerzo de pre-consolidación y así se induce el estado de normalmente consolidado al suelo y los asentamientos sean los mayores posibles (Figura 2.23). La aplicación de sobrecargas ayuda a consolidar el suelo blando subyacente y mejora la resistencia de este (Sakleshpur et al., 2018).

Figura 2.23:

Curvas típicas de tiempo-asentamiento para diferentes combinaciones de mejoramiento del suelo.

Fuente: Sakleshpur et al., (2018)



Para esta alternativa se presentan características importantes para la selección de la alternativa más óptima.

Vida útil: Su vida útil es similar al proceso de columnas de gravas

Mantenimiento: Relativamente poco.

Costo: Según el portal de compras públicas, el material de mejoramiento tiene un costo promedio por m³ de \$2.00 Este material será colocado a lo largo de todo el proyecto. (Servicio Nacional de Contratación Pública, 2023).

Tiempo de ejecución y mano de obra: El tiempo que puede llegar lograr el asentamiento deseado, por lo que una mejora puede ser añadir a este método drenes verticales y con esto se disminuye el tiempo de consolidación. (Sakleshpur et al., 2018)

CO₂: Poca emisión de CO₂.

Análisis final de alternativas

Mediante el análisis detallado considerando vida útil, mantenimiento, costos, tiempo de construcción y emisiones de dióxido de carbono, se selecciona la alternativa más eficiente de acuerdo con las demandas del proyecto. Con la Tabla 2.3 se puede identificar la opción más viable que soluciones con mejor efectividad las necesidades del cliente y del proyecto. La alternativa seleccionada se basa en la inserción de columnas verticales de grava compactada en el suelo. Esta alternativa ofrece optimizar costos, pero sobre todo brinda una larga vida útil con menores requerimientos de mantenimiento a lo largo de esta.

Tabla 2.3:

Evaluación de alternativas

Criterios a evaluar	Evaluación	A1	A2	A3
Criterio técnico	40%	24	36	36
Vida útil	20%	12	18	18
Mantenimiento	20%	12	18	18
Criterio económico	40%	20	28	22
Costo por m ²	20%	12	18	16
Tiempo de ejecución	10%	8	10	6
Mano de obra	10%	8	6	6
Criterio ambiental	20%	12	16	16
CO ₂	10%	6	8	8
Pérdida de hábitad	10%	6	8	8
TOTAL	/100%	56	80	74

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Introducción

Este capítulo se centra en el diseño y la simulación numérica del terraplén utilizando el software Plaxis 2D y el Modelo de Suelo Blando con Fluencia (Soft Soil Creep Model). Las simulaciones consideran distintos escenarios, desde la construcción del terraplén por fases hasta la mitigación de asentamientos mediante el uso de columnas de grava.

El modelo desarrollado se utilizará para evaluar el tiempo requerido para la construcción del terraplén y realizar posibles ajustes al diseño que permitan reducir los asentamientos a largo plazo. Finalmente, se presenta la evaluación de factibilidad de la propuesta, recurso fundamental para la proyección de los resultados del análisis y diseño, facilitando la comunicación técnica y la ejecución del proyecto.

3.2 Diseño

3.2.1 Calibración del modelo constitutivo

El modelo numérico utilizado está compuesto por dos estratos de suelo, identificados a partir de los ensayos DMT y CPT. Para cada capa de suelo se proporcionaron dos especímenes, en los cuales se realizaron ensayos edométricos. Los resultados de estos ensayos se emplearon posteriormente para la calibración del modelo constitutivo. Los principales parámetros de calibración son el índice de hinchamiento modificado, κ^* , el índice de compresión modificado, λ^* , el índice de fluencia modificado, μ^* , y la permeabilidad k .

Simulación de edómetro mediante malla

Con el fin de obtener una mejor calibración se realizó la simulación numérica del ensayo edométrico en el software con la finalidad de modelar el comportamiento del suelo bajo las mismas condiciones de un ensayo realizado en el laboratorio.

Capa CI2: Arcilla Limosa

Figura 3.1:

Selección de capa de suelo y muestra 0.02x0.025m. Fuente: Plaxis 2D

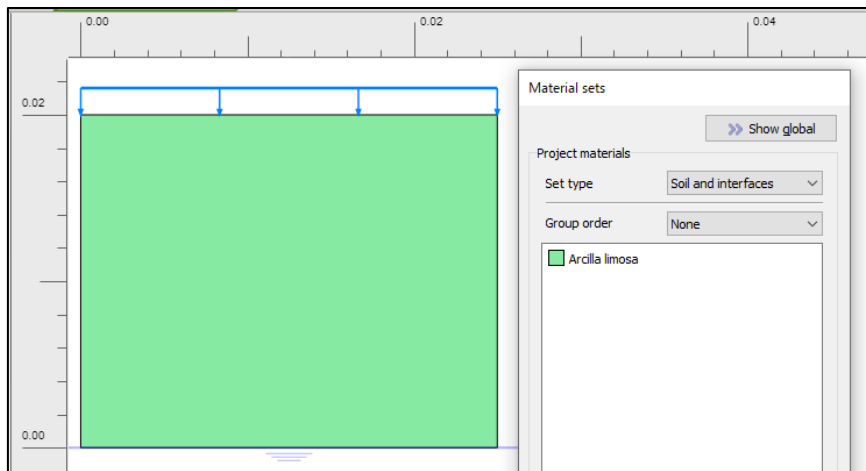
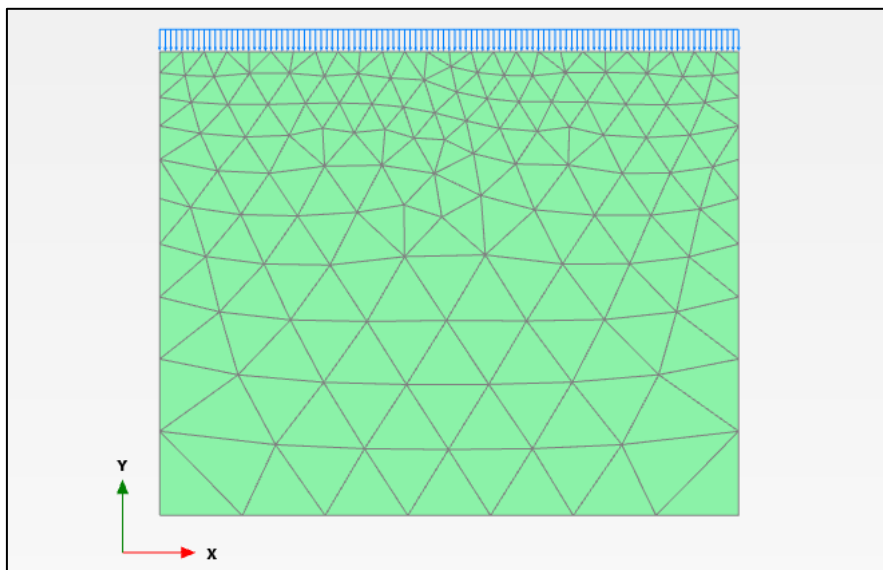


Figura 3.2:

Malla de elementos finitos. Fuente: Plaxis 2D



Para simular lo que sucede físicamente en el ensayo edométrico, se utiliza el modelo Axis-simétrico, a una muestra de medida 0.02x0.025m se le asignan los parámetros del suelo arcilla limosa. Esta muestra fue sometida a una carga distribuida que irá aumentando con el tiempo, tal como en el ensayo edométrico con una duración de 0.1 min (Figura 3.1). El programa utilizado permite un procedimiento de generación de malla de elementos finitos, de

tipo gruesa para este análisis en particular, en el que la geometría se divide en elementos triangulares optimizados (Figura 3.2).

Element test

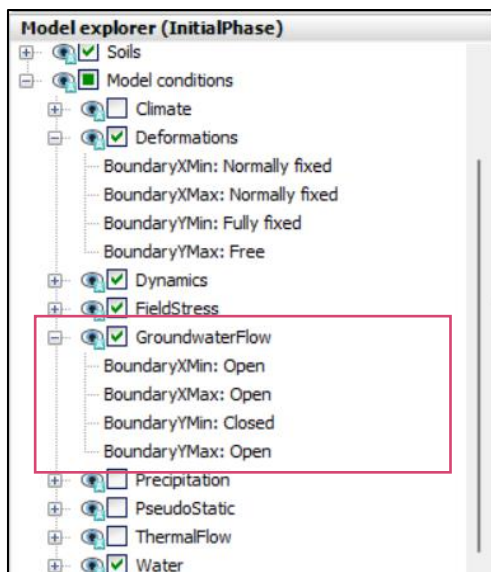
Las fases de construcción se desarrollaron según las cargas aplicadas en el ensayo de laboratorio. Con un total de 12 cargas aplicadas en un intervalo de tiempo de 1 día, se procede a configurar las fases con el tipo de cálculo “Consolidación”. Adicional a esto, en esta etapa se debe establecer las condiciones de frontera (Figura 3.3) donde la muestra podrá deformarse simulando las piedras porosas alrededor de ella, el eje X_{min} y $X_{máx}$ tiene condiciones normalmente arregladas las cuales hacen referencia a que la muestra debe estar totalmente restringida por el anillo de metal. El eje Y_{min} y $Y_{máx}$ presentan drenaje completo y libre respectivamente para que pueda existir la respectiva deformación.

Para simular de mejor manera la gráfica, se continúa con la calibración de la muestra de suelo, sometiéndola a un estado de sobreconsolidación con una fase previa que contiene una carga de 330kN/m^2 , usando como referencia el esfuerzo de pre-consolidación ya que las cargas aplicadas durante el ensayo de laboratorio no son lo suficientemente representativas para sobreconsolidar el suelo. Además, se consideró que cada carga tenga una fase adicional donde pueda efectuarse el estado de consolidación de un día de duración, es decir, el ensayo simulado en el programa Plaxis contiene 25 fases en total.

Luego de varias pruebas y error, se modifican los valores de λ^* y k^* , relacionados directamente con la permeabilidad del suelo e indica la capacidad del suelo de expandirse o contraerse según los cambios del contenido de humedad, a valores mayores. Con un ajuste final de $\lambda^*= 0.025$ y $k^*= 0.045$ respectivamente (Gráfica 3.1).

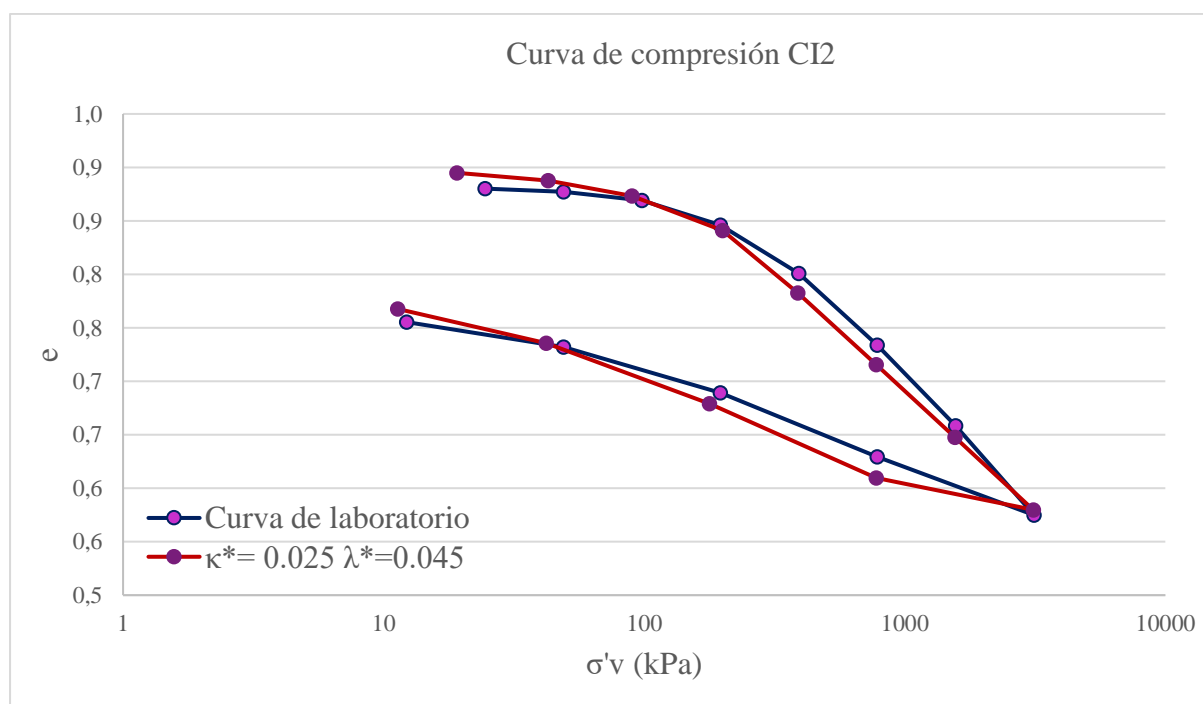
Figura 3.3:

Parámetros de condiciones de frontera. Fuente: Plaxis 2D



Gráfica 3.1:

Calibración final de la estratigrafía del suelo CI2

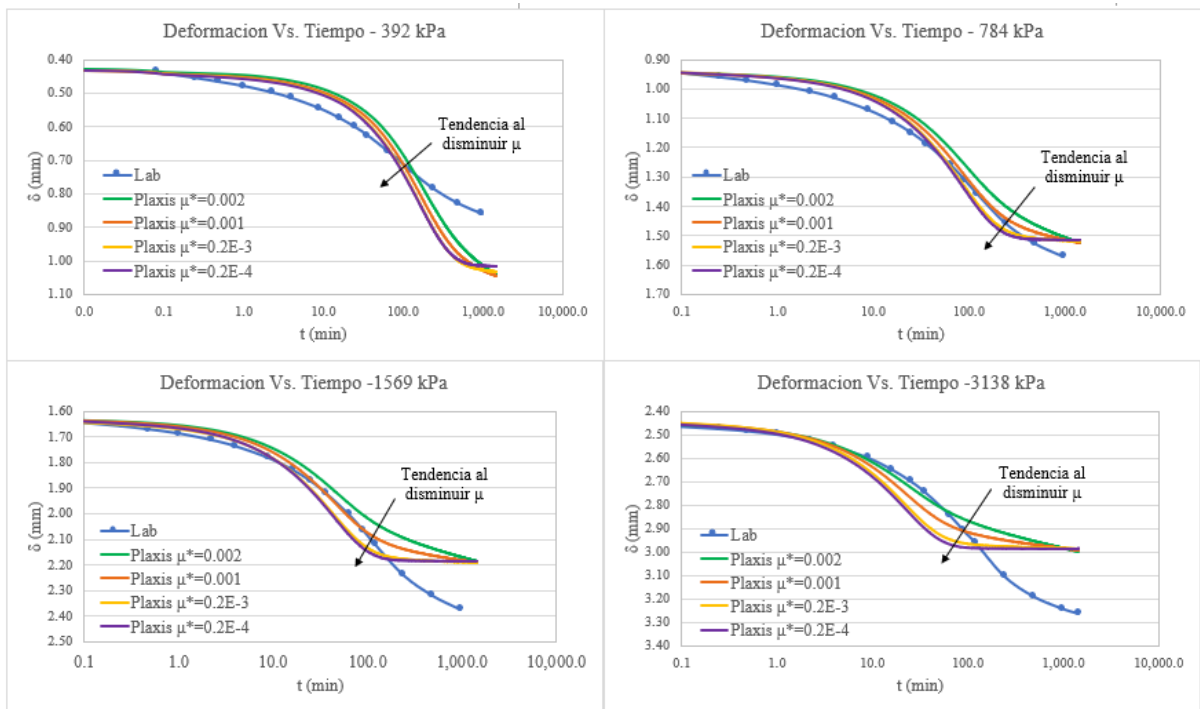


Posteriormente, se modificó el índice de fluencia modificado, μ^* , este parámetro esta relación coeficiente de compresión secundaria. Siendo así que, mientras más elevado es el valor, menor capacidad de asentamientos primarios va a tener el suelo. Por tanto, se procede a

analizar el comportamiento de este índice sobre el suelo, realizando cuatro variaciones de μ^* y observando las curvas de deformación (mm) vs. tiempo (min) en base a cuatro escalones diferentes de carga. Se consideraron los parámetros λ^* y k^* ya calibrados, y una permeabilidad constante para todas las curvas (Figura 3.4).

Figura 3.4:

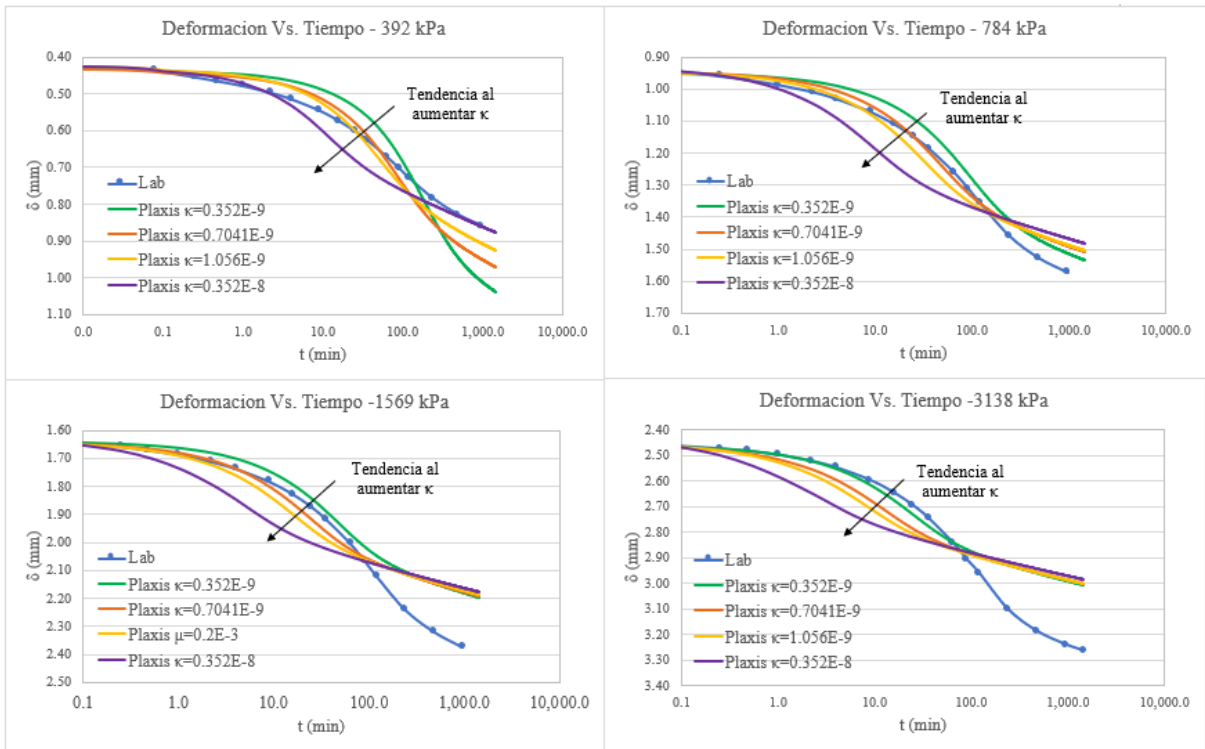
Calibración de μ^ en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI2*



Luego de analizar el comportamiento de las gráficas, es necesario e importante también analizar la influencia de la permeabilidad en un ensayo de consolidación, debido a que cuando se aplica una carga a un suelo saturado el agua contenida debe disiparse para permitir el proceso de consolidación. Entonces, cuanto mayor es la permeabilidad, más rápido será el proceso de consolidación primaria el cual se evidencia a continuación (Figura 3.5). Las flechas en las gráficas de análisis indican la tendencia a disminuir del asentamiento.

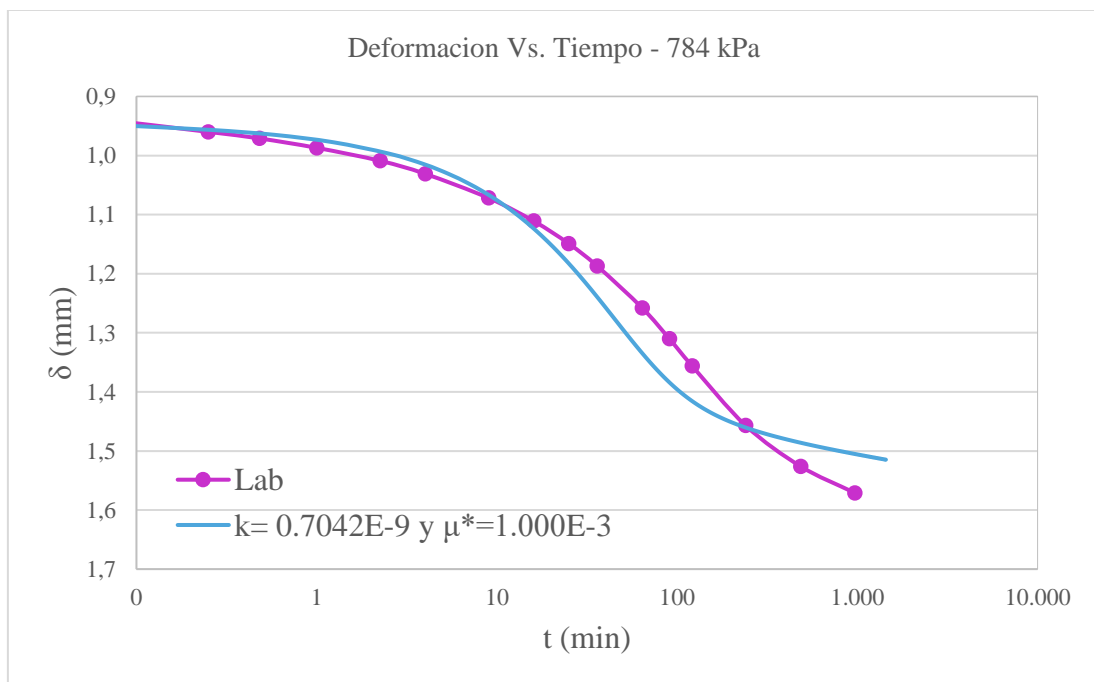
Figura 3.5:

Calibración de k en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI2



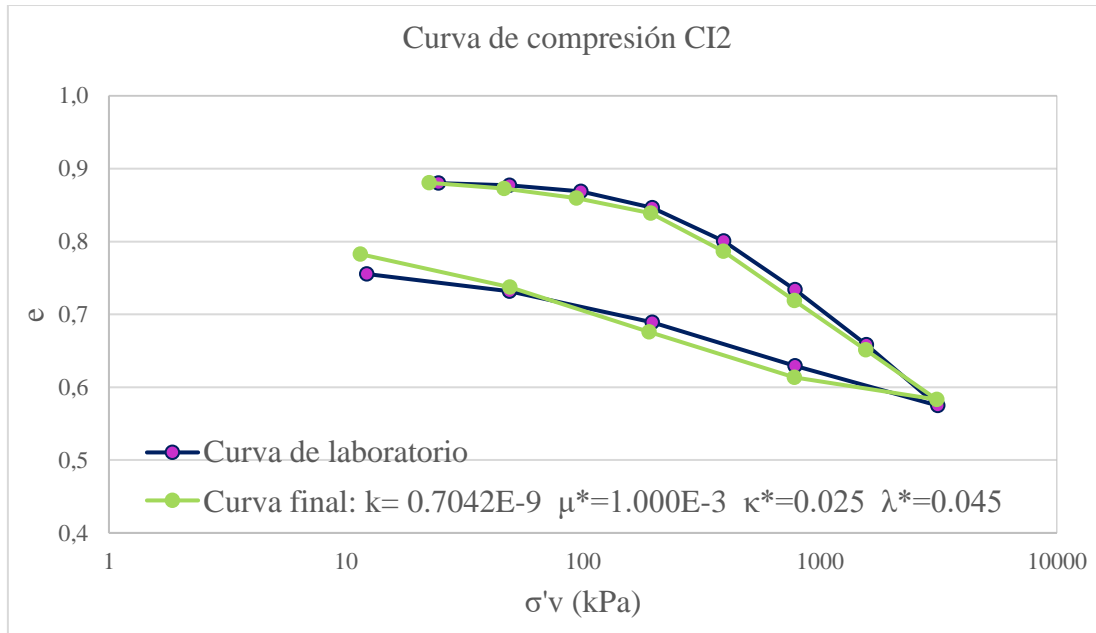
Gráfica 3.2:

Comparación entre curva de "Deformación vs. Tiempo" CI2 de laboratorio vs. calibración final



Gráfica 3.3:

Comparación entre curva de compresión CI2 de laboratorio vs. calibración final



Con estas calibraciones de cuatro escalones de carga, se determinan parámetros cercanos tanto del factor de fluencia modificado, μ^* , y la permeabilidad, k , en conjunto para culminar el proceso de calibración en el escalón de carga 784kPa (Gráfica 3.2). Una vez obtenidos estos parámetros se debe calibrar nuevamente la curva de compresión, esto se da para analizar el comportamiento de la relación de vacíos y cómo influye al modificar el índice de fluencia modificado y la permeabilidad (Gráfica 3.3).

Capa CI4: Limo Arcilloso

La capa profunda presente en el suelo (Figura 3.6) también estará sometida a un ensayo edométrico. Donde las consideraciones de dimensiones de la muestra serán las mismas (0.02x0.025m) y usando el modelo Axis-simétrico, empleado en la anterior capa de suelo superficial. De igual forma, se mantienen parámetros como las condiciones de frontera ya que se continúa simulando el ensayo edométrico. Continuando con la misma configuración, se procede con la generación de la malla de elementos finitos (Figura 3.7).

Figura 3.6:

Selección de capa de suelo y muestra 0.02x0.025m. Fuente: Plaxis 2D

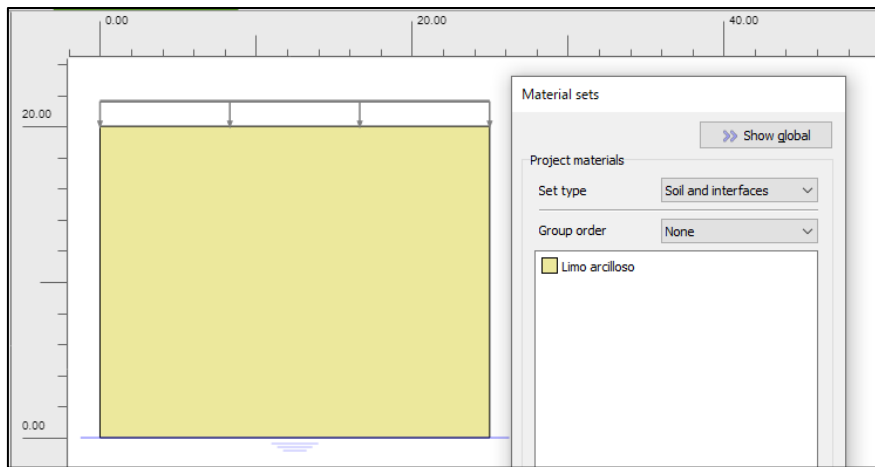
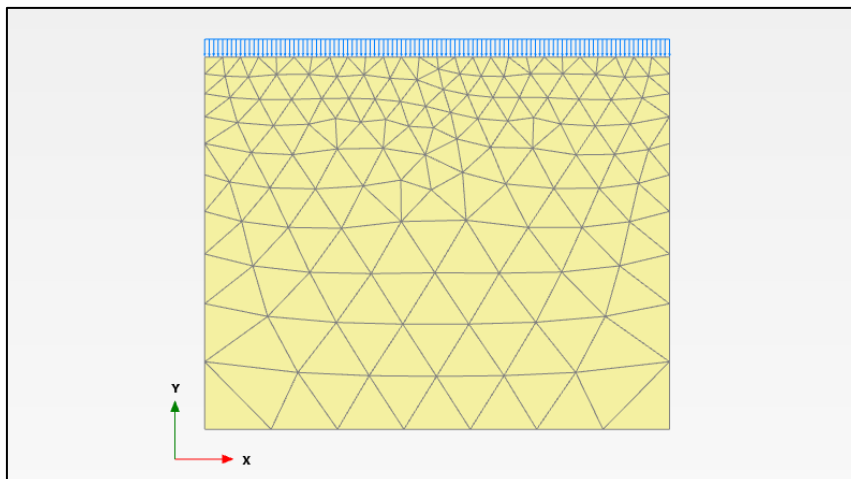


Figura 3.7:

Malla de elementos finitos. Fuente: Plaxis 2D



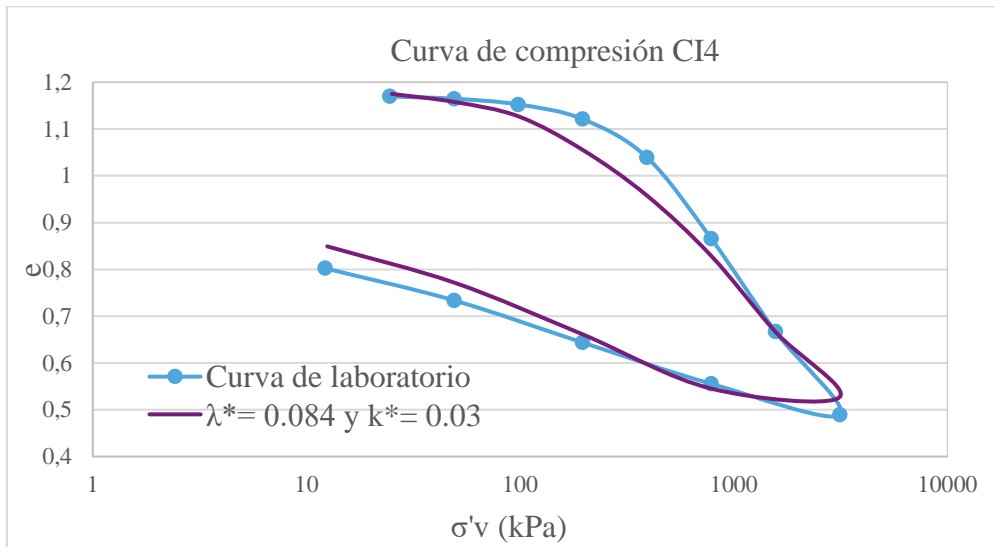
Element test

Continuando, se consideró una carga previa de 380 kN/m para representar un estado de sobreconsolidación, definida en base al esfuerzo de pre-consolidación estimado de la capa. El material muestra un comportamiento mínimamente rígido, por lo que se le aplicó una reducción al índice de compresión (λ^*), lo cual permite que el material pueda regresar a su estado inicial. Así como también, todas las cargas presentan una fase adicional donde pueda efectuarse la consolidación progresiva con un día de duración. Quedando definidos los

parámetros de λ^* y k^* como 0.084 y 0.030, respectivamente, asemejando de manera más fiel la gráfica real obtenida por laboratorio (Gráfica 3.6).

Gráfica 3.4:

Calibración final de la estratigrafía del suelo CI4



Una vez definidos los índices de hinchamiento y compresión, se debe calibrar el factor de fluencia modificado, para lo cual se utilizó el mismo método con una comparación previa del comportamiento de cada índice. Así, visualizando el comportamiento el índice de fluencia modificado, μ^* , manteniendo la permeabilidad constante (Figura 3.8), y viceversa para el análisis de la permeabilidad. Con una visión general del comportamiento del suelo ante el cambio de estos parámetros para los cuatro escalones de carga (Figura 3.9), donde se indica el comportamiento de disminución de los asentamientos por medio de la flecha, para ambos gráficos.

Procediendo a determinar los parámetros finales que se aproximen a los valores reales del suelo, se realizaron diferentes simulaciones modificando, μ^* , y la permeabilidad, k , original, en base a la tendencia mostrada por cada factor en el análisis previo del suelo. Los valores finales seleccionados son $\mu^*=0.003$ y $k=2.172E-06$, los cuales se confirma con una simulación final (Gráfica 3.5).

Figura 3.8:

Calibración de μ^ en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI4*

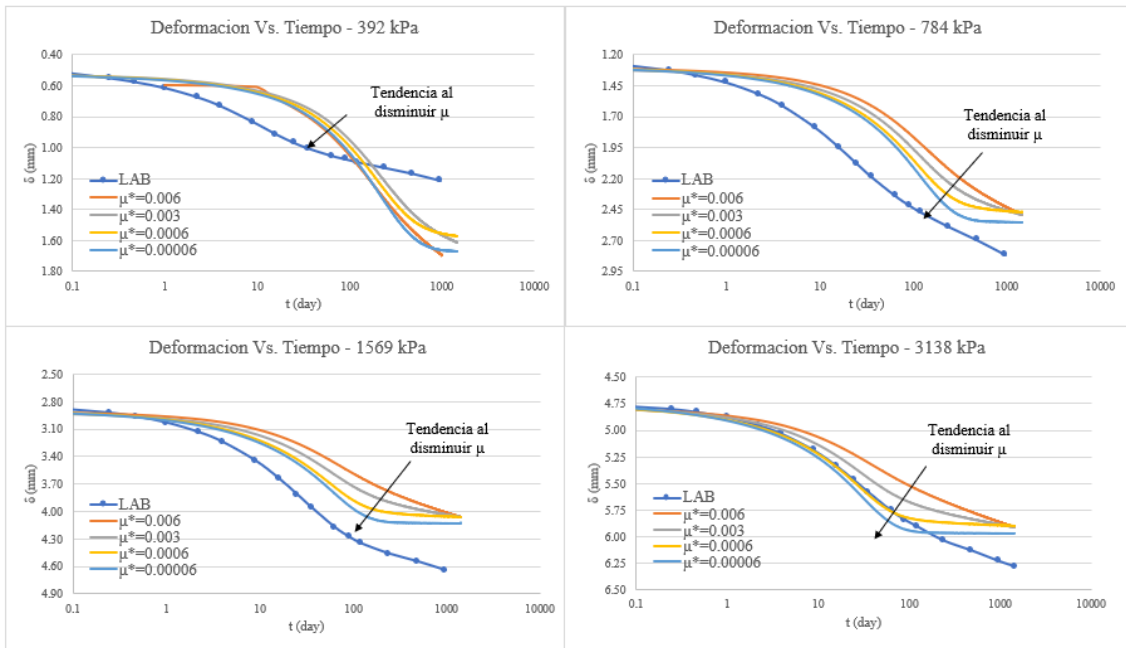
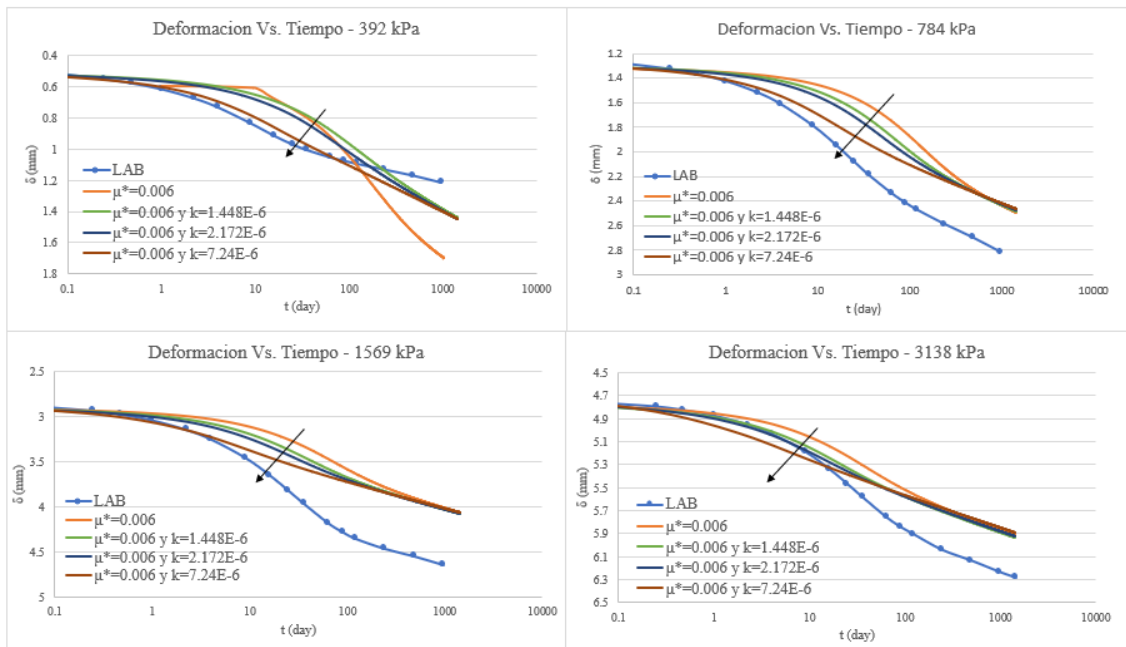


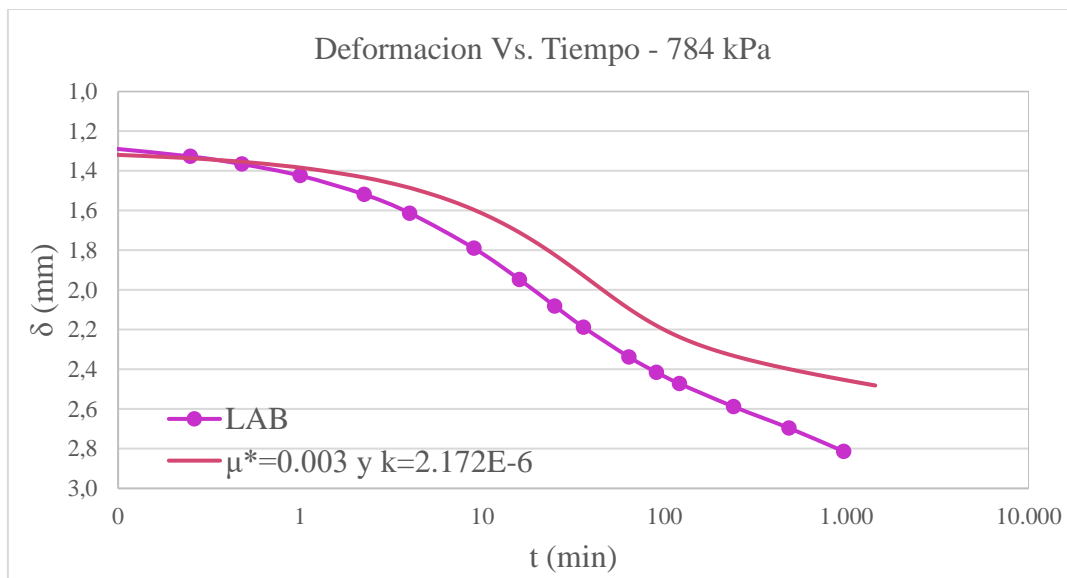
Figura 3.9:

Calibración de k en curva deformación vs. tiempo de los ensayos CI4



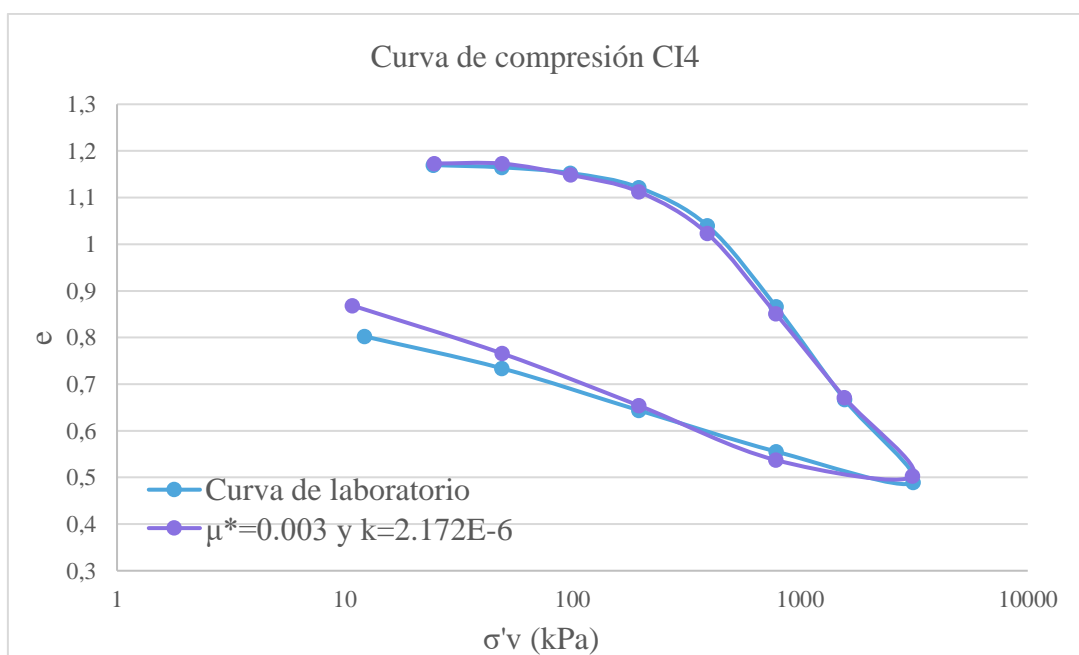
Gráfica 3.5:

Comparación entre curva de “deformación vs. Tiempo” CI4 de laboratorio vs. calibración final



Gráfica 3.6:

Comparación entre curva de compresión CI4 de laboratorio vs. calibración final



Con el fin de analizar cómo la calibración del factor de fluencia modificado y la permeabilidad influye en la relación de vacíos, se procede a simular la curva de compresión, lo que permite ver la comparación entre la curva de compresión de laboratorio y la final con

todos los parámetros ya calibrados (Gráfica 3.6). Por tanto, los parámetros finales para la calibración del modelo constitutivo se presentan en la Tabla 3.1 descrita a continuación.

Tabla 3.1:

Parámetros finales de calibración de modelo constitutivo

Parámetros	Nombre	Unidad	Terraplén	Arcilla	Limo
				Limosa	Arcilloso
Peso unitario no saturado	γ_{unsat}	kN/m ³	16	18	16
Peso unitario saturado	γ_{sat}	kN/m ³	19	18.6	16.7
Relación de vacíos inicial	e_{init}	-	0.5	1.13	1.98
Índice de compresión modificado	λ^*	-	-	0.045	0.088
Índice de hinchamiento modificado	κ^*	-	-	0.025	0.03
Factor de fluencia modificado	μ^*	-	-	0.001	0.003
Coefficiente de Poisson para descarga-recarga	ν_{ur}	-	-	0.15	0.15
Módulo de Young	E'_{ref}	kN/m ²	25000	-	-
Ángulo de fricción	ϕ'	°	40	25	25
Permeabilidad horizontal	k_x	m/día	3.499	1.01E-06	2.17E-06
Permeabilidad vertical	k_y	m/día	3.499	1.01E-06	2.17E-06

3.2.2 Diseño del terraplén

Para el diseño del terraplén se tienen las dimensiones previas solicitadas por el cliente, siendo estas: base mayor 48.4 m, base menor 18.4 m y altura de 10 m. Las propiedades del suelo para el terraplén son las anteriormente definidas en la Tabla 3.2. Este será construido con un total de cinco etapas. Con la altura final de 10 m se definen cinco etapas, cada una para 2m de altura, previendo un total de 2 días para su construcción. El tiempo para la consolidación de cada etapa se analizará individualmente en cada simulación, con valor inicial de 30 días por fase de consolidación.

Factor de seguridad

Una vez simulado la estratigrafía del suelo con la construcción de terraplén en 5 etapas de 2 m de espesor cada una. Se debe verificar el factor de seguridad para analizar la estabilidad terraplén, y descartar la necesidad de algún tipo de mejoramiento adicional. El

punto más crítico del factor será una vez construido cada etapa del terraplén, el cual está considerado para un periodo de 2 días. Por tal motivo, es necesaria la verificación de la estabilidad al corte global o rotación, se establece el factor de seguridad mínimo requerido de 1.3, este factor fue obtenido en el software Plaxis 2D para cada etapa de periodo de dos días de la construcción (Gráfica 3.7).

Gráfica 3.7:

Curva de seguridad por fases de construcción

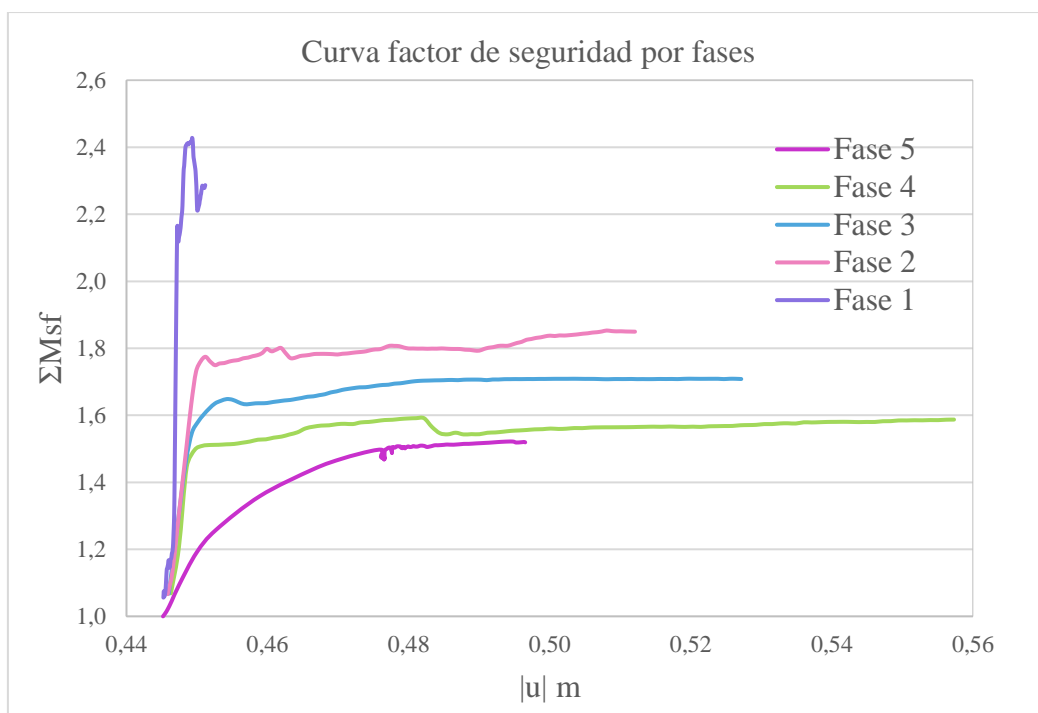


Tabla 3.2:

Factores de seguridad por fase

Factor de seguridad por fases	
Fase	Factor
1	2,43
3	1,85
5	1,71
7	1,59
9	1,52

De esta manera se determinan los factores de seguridad de las etapas más críticas (las fases de consolidación de cada carga del terraplén) de construcción en la Tabla 3.2, la cual

evidencia que todas las etapas cumplen el parámetro mayor a 1.3. Por lo que, el terraplén no necesitará ningún tipo de material de mejoramiento adicional.

Método “Phi-c reduction”

Una vez obtenidos los factores de seguridad para cada etapa de construcción. Se procede a realizar el método Phi-c reduction de Plaxis, el cual consiste en que los parámetros de resistencia $\tan\phi$ y c son reducidos hasta que tenga lugar la falla de la estructura (Alarcón, 2012).

$$\sum Msf = \frac{\tan\phi_{entrada}}{\tan\phi_{reducida}} = \frac{c_{entrada}}{c_{reducida}}$$

En la ecuación mencionada, los parámetros que muestran el subíndice “entrada” hacen referencia a los valores ingresados de la Tabla 3.2 del material del terraplén y los parámetros con el subíndice “reducida” son los determinados por el programa mediante el análisis y el cálculo del factor multiplicador “ $\sum Msf$ ”.

$$c_{reducida} = \frac{2}{1.52} = 1.32$$

$$\tan\phi_{reducida} = \frac{40}{1.52} = 26^\circ$$

Simulación del terraplén

Para todas las simulaciones se ha considerado el mismo sistema constructivo por fases, cinco fases de colocación de carga y para cada una de estas una fase de consolidación de la carga, con un total de diez fases para la construcción. Para las fases de consolidación se irá variando el tiempo de consolidación, con el fin de extender el tiempo de construcción y permitir mayores asentamientos previos a la puesta en marcha. De este modo reducir los asentamientos a largo plazo. A continuación, se presentan los resultados para fases de consolidación de 30, 90, 180 y 728 días.

Figura 3.10:

Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 160 días de construcción.

Fuente: Plaxis 2D

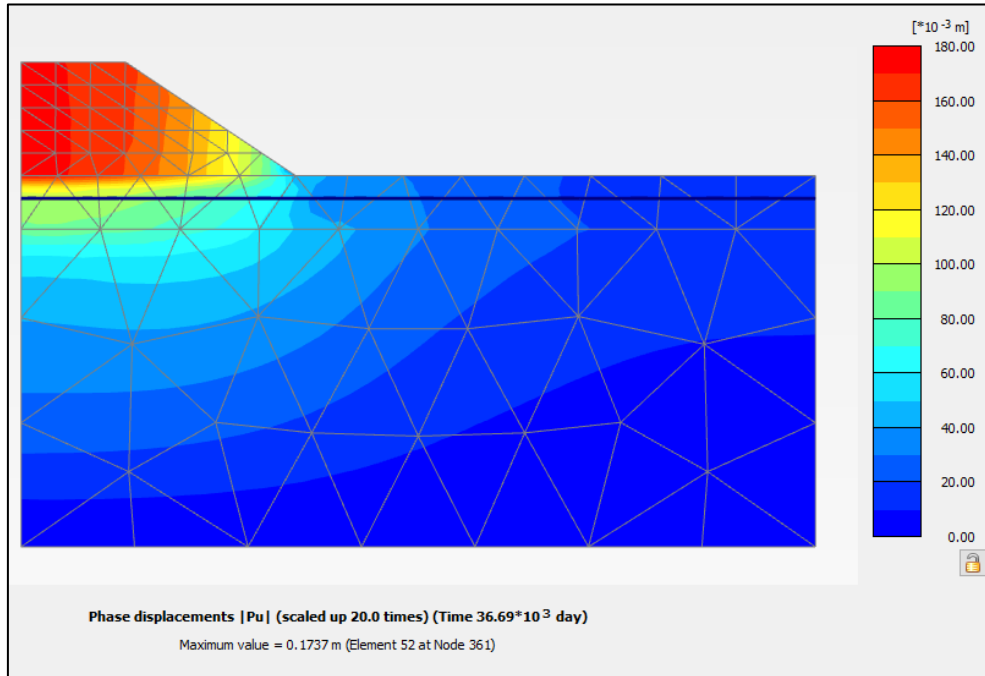


Figura 3.11:

Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 460 días de construcción.

Fuente: Plaxis 2D

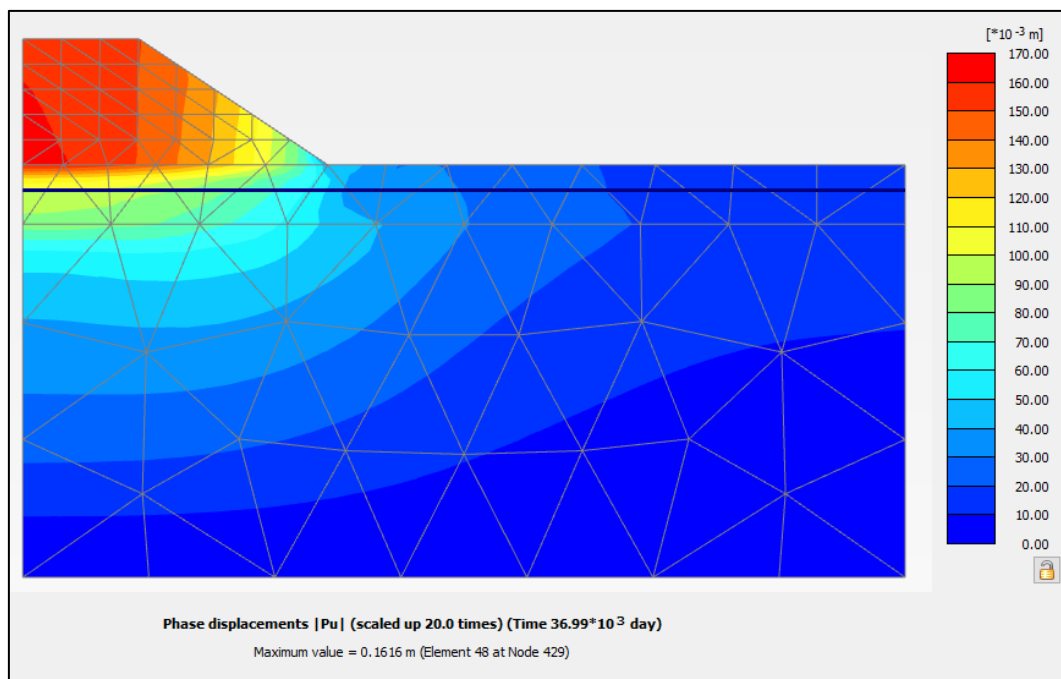


Figura 3.12:

Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 910 días de construcción.

Fuente: Plaxis 2D

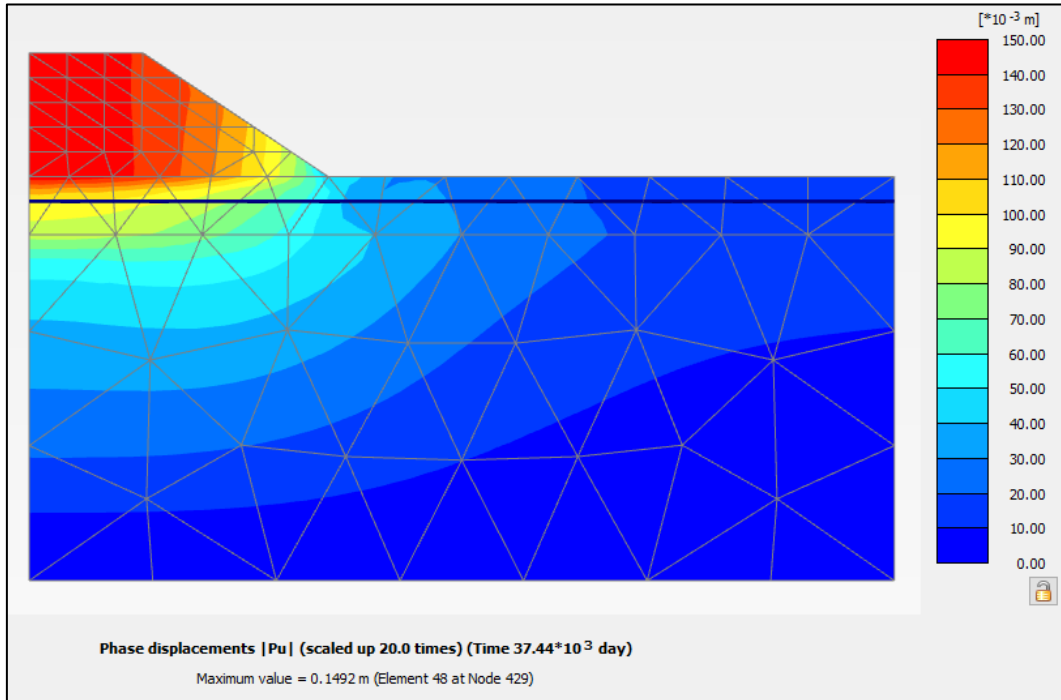
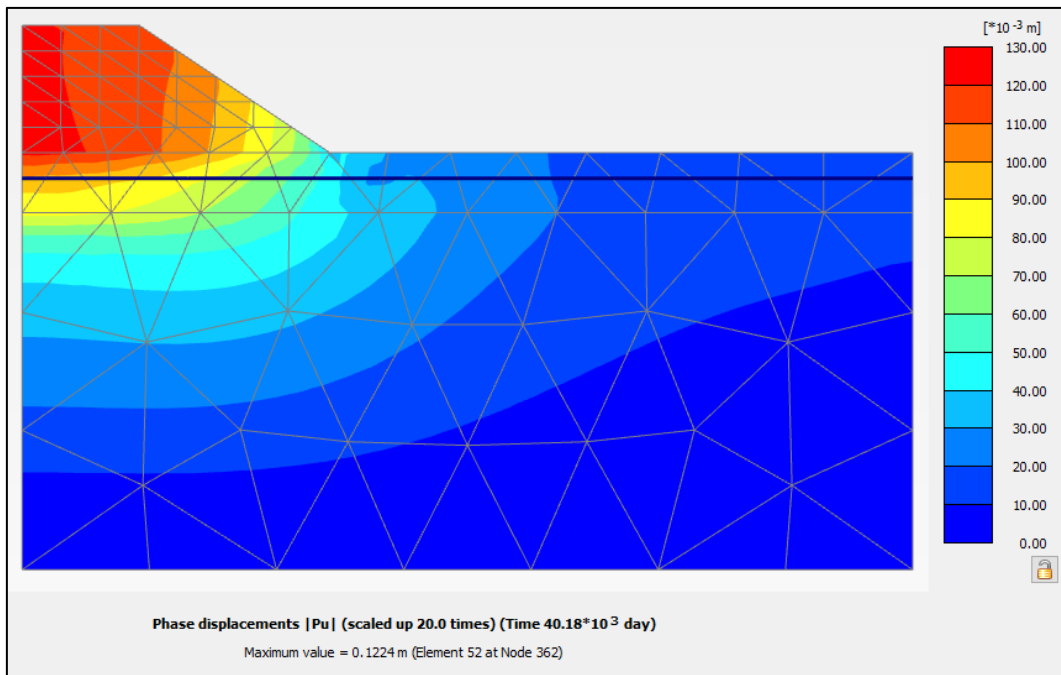


Figura 3.13:

Asentamientos a largo plazo en los próximos 100 años, para un total de 10 años de construcción.

Fuente: Plaxis 2D



En la primera simulación (Figura 3.10) se definió un tiempo de consolidación por fase de 30 días, con un total de 160 días para la construcción completa del terraplén, presentando asentamientos al final de la consolidación de la última fase de construcción de 20.02 cm y en los próximos 100 años 17.37 cm. Con el fin de reducir estos asentamientos a largo plazo se aumenta el tiempo de consolidación por capas, con un primer aumento de 90 días, y un total de 460 días (1 año y 3 meses) para la construcción, teniendo un asentamiento final de 20.94 cm y a largo plazo de 16.16 cm (Figura 3.11).

El terraplén no presenta fallas, sin embargo, para demandas de asentamientos más críticas se pueden considerar otros tiempos para la construcción, a fin de tener una visión general del comportamiento del conjunto suelo-terraplén. En base a la reducida diferencia entre la consolidación de 30 días y la de 90 días, se decide duplicar el tiempo de asentamiento a 180 días, teniendo en cuenta que el tiempo final de construcción sería 2 años y medio. Con este cambio se obtuvo un asentamiento al final de la última fase de construcción de 21.97 cm y a largo plazo de 14.92 cm (Figura 3.12).

Finalmente, y a modo de análisis se simula un caso especial considerando un tiempo de construcción de 10 años, con un resultado de asentamientos a largo plazo de 12.24 cm (Figura 3.13). Si bien los asentamientos se continúan reduciendo a medida que se extiende el tiempo de construcción, la variación de los resultados no muestra una gran diferencia, es por esto por lo que considerar nuevas medidas de mejoramiento de suelo es una opción para reducir los asentamientos en un menor tiempo de construcción.

3.2.2 Diseño de las columnas de gravas

Para la mejora de suelos debajo de terraplenes o cargas extendidas, es conveniente utilizar un método basado en celdas unitarias cilíndricas, formadas por una columna y el suelo circundante definido como área tributaria. Las condiciones de contorno en la pared exterior son: esfuerzo cortante cero, desplazamiento radial cero y ausencia de flujo de agua.

Además, para la longitud de la columna se considera un límite inferior extendido hasta el lecho rocoso, penetrando totalmente el suelo blando (Castro & Sagaseta, 2008).

En base a los ensayos, en específico el DMT, se conoce que el suelo blando se extiende, al menos, hasta los 40 m de profundidad del ensayo con una capa de limo arcilloso. Para mejorar emplazamientos grandes la extensión de las columnas más efectivas es entre 6 a 10 m, sin embargo, en existen proyectos donde debido a las altas cargas o demandas de asentamientos se han construidos hasta profundidades de hasta 30 m (Das, 2011).

Muchas empresas dedicadas al mejoramiento de suelo emplean sistemas de columnas de piedras como solución a proyecto sobre suelos con tendencia a hundirse, como la empresa Geopier que cuenta con sistema perforación y relleno de columnas de piedras llamado X1®, del cual garantizan su instalación para perforaciones mayores a los 40ft (Geopier, 2021). Otra empresa que ya ha realizado proyectos similares es Keller, con su proyecto “Vale Malaysia iron ore facility” en la ciudad de Nitra, Eslovaquia, donde emplearon esta solución de mejoramiento con profundidades variadas entre 20 a 30 m (Keller Group plc., 2021). Por lo que, por las características críticas del proyecto se decide colocar una profundidad de columnas de 30 m.

En el diseño de celdas unitarias se emplea colocando estas en una configuración de mallas regulares conformadas por celdas, la configuración de las columnas puede ser triangular, cuadrada o hexagonal. Esta área tributaria se relaciona con el diámetro de la columna mediante un diámetro equivalente que crea un círculo con la misma área que la tributaria. Este diámetro equivalente se obtiene a partir de las siguientes relaciones, dependiendo del tipo de celda unidad.

$$\text{Celda cuadrada} \quad de = 1.13s \quad (3.7)$$

$$\text{Celda hexagonal} \quad de = 1.05s \quad (3.8)$$

$$\text{Celda triangular} \quad de = 1.29s \quad (3.9)$$

Siendo s la separación entre centro de columnas.

El porcentaje de terreno blando sustituido o desplazado por las columnas es el cociente entre el área de la columna y el área de la celda, y se define como la razón de sustitución, obtenido por la siguiente ecuación (Castro, 2020).

$$a_r = \frac{A_c}{A} = \left(\frac{d_c}{d_e}\right)^2 \quad (3.4)$$

Siendo:

A_c : área de la columna

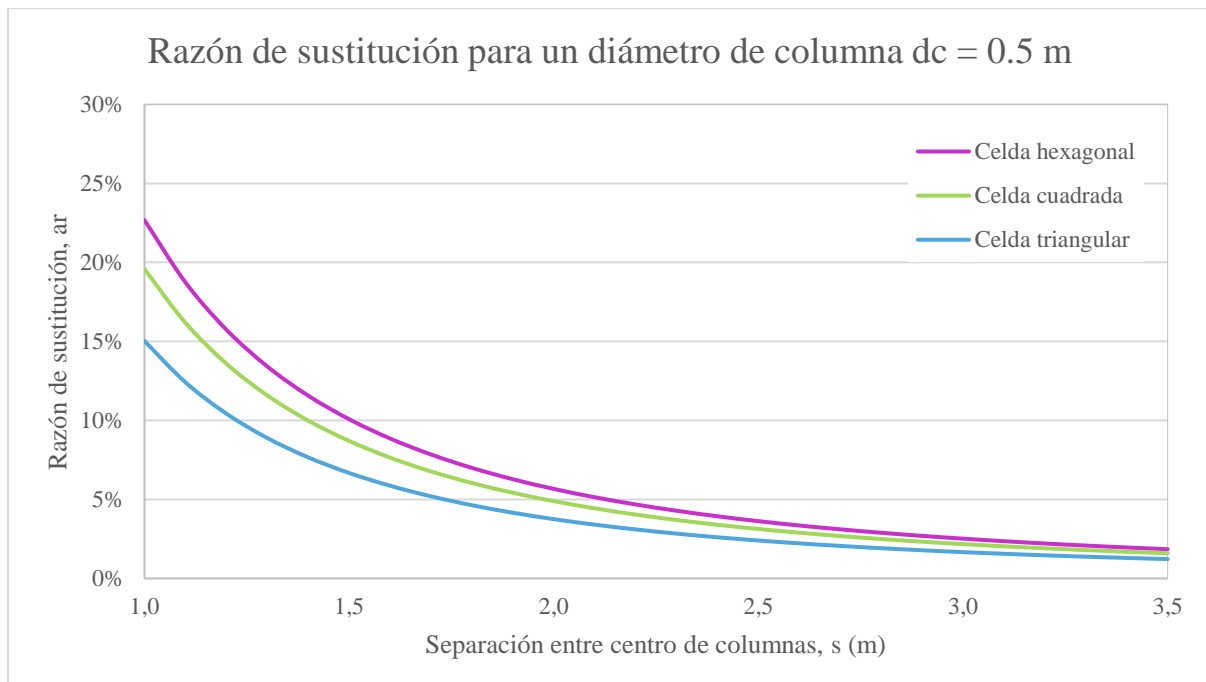
A : área de la celda unidad

d_c : diámetro de la columna

d_e : diámetro equivalente del cilindro equivalente

Gráfica 3.8:

Comparación entre los diferentes tipos de mallas

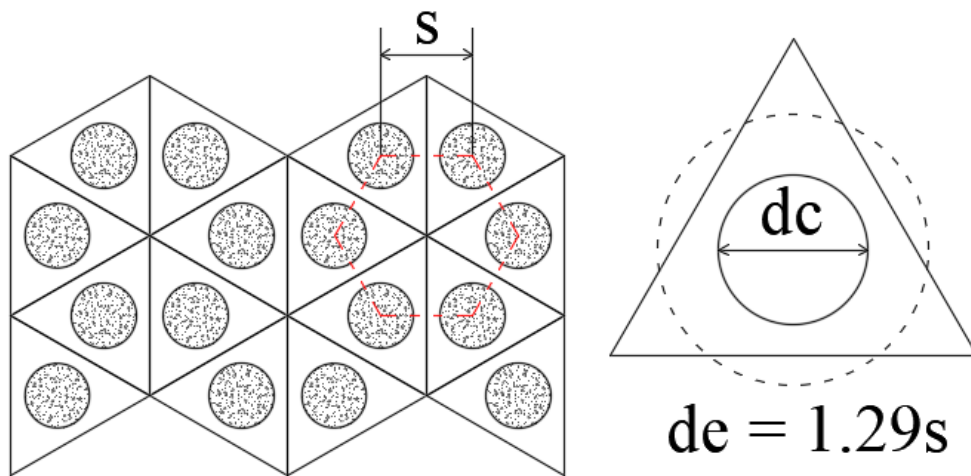


Para la selección del tipo de malla a emplear se realizó la gráfica comparativa (Gráfica 3.8), donde se analizó la razón de sustitución de cada una de las configuraciones de mallas con un mismo diámetro de columnas y para diferentes separaciones entre centros de

columnas. En esta comparación se puede observar que las mallas con celdas triangulares brindan la menor densidad de tratamiento reduciendo el costo final del proceso. Este tipo de celda proporciona una configuración de columnas hexagonal (Figura 3.14), siendo este el diseño de malla seleccionado para el presente proyecto.

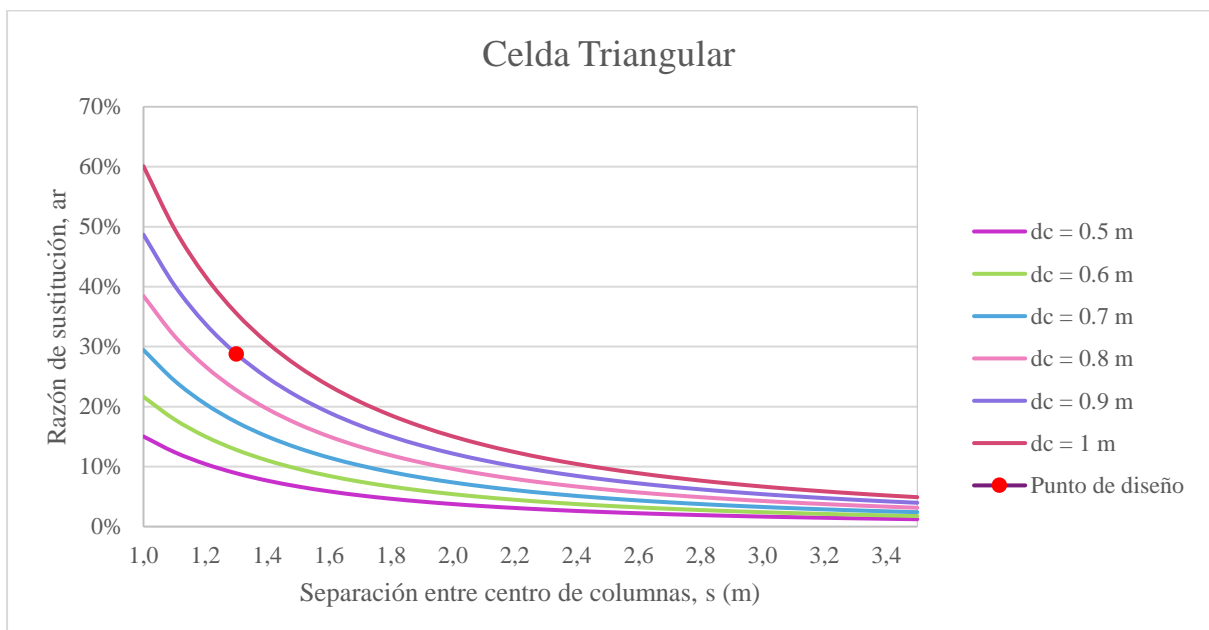
Figura 3.14:

Configuración de columnas y celda unitaria seleccionada



Gráfica 3.9:

Comparación de las celdas unitarias según el diámetro de la columna



El rango de la razón de sustitución sugerido es del 5 al 30% (Sagaseta, 2006).

Conociendo este rango y optimizando el espacio entre columnas, de modo que la separación entre centros de columnas sea el mayor posibles, se seleccionó el diámetro de las columnas. Para este análisis se realizó una comparación de las razones de sustitución versus separación entre centros para los diferentes diámetros de columnas (Gráfica 3.9).

El punto señalado en rojo es el seleccionado para el diseño, considerando la mayor razón de sustitución manteniendo la mayor separación entre centro de columna posibles. Como resultado se tiene un diámetro de columna de 0.9 m, separación entre centros de columnas de 1.3 m y una razón de sustitución de 29%. Para las columnas de grava se utilizará gravas con tamaño entre 6 a 40 mm (Das, 2011), con un ángulo de fricción de 45°. Para el modelado en Plaxis se empleará el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb, los parámetros utilizados se presentan en la Tabla 3.3.

Con la implementación de columnas de gravas, se debe colocar al final de la construcción una capa de material de relleno sobre estas. Por lo que a continuación, se presentan las características de este relleno, considerando que se espera reutilizar el material anteriormente excavado, siendo:

$$\begin{aligned} \text{Peso Unitario} & \quad \gamma = 18 \frac{kN}{m^3} \\ \text{Ángulo de fricción} & \quad \phi = 25^\circ \\ \text{Profundidad del relleno} & \quad H = 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabla 3.3:

Resumen de parámetros finales para para el materia de gravas para modelamiento en Plaxis 2D

Parámetros	Nombre	Unidad	Grava
Modelo del suelo	-	-	Mohr - Coulomb
Peso unitario no saturado	γ_{unsat}	kN/m ³	22.5
Peso unitario saturado	γ_{sat}	kN/m ³	26.0
Relación de vacíos inicial	e_{init}	-	0.4

Módulo de Young	E'_{ref}	kN/m ²	200000
Cohesión (constante)	c'_{ref}	kN/m ²	1
Ángulo de fricción	φ'	°	45

Simulación con columnas

Con la configuración usando columnas se puede evidenciar como esta metodología disminuye los asentamientos a largo plazo. Pasando de un máximo de 17.37 cm a 11.34 cm utilizando las columnas, reduciendo un 21% el asentamiento inicial, para un total de 160 días de construcción (Figura 3.15). Así mismo, si se extiende las fases de asentamiento para cada etapa de construcción del terraplén, a 90 días, dando un total de 460 días totales para toda la etapa de construcción del terraplén, se obtiene una reducción del asentamiento a largo plazo de 16.16 cm a 6.17 cm, representando una disminución del 62% del asentamiento inicial sin columnas (Figura 3.16).

Figura 3.15:

Asentamientos a largo plazo, simulación con columnas, 160 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D

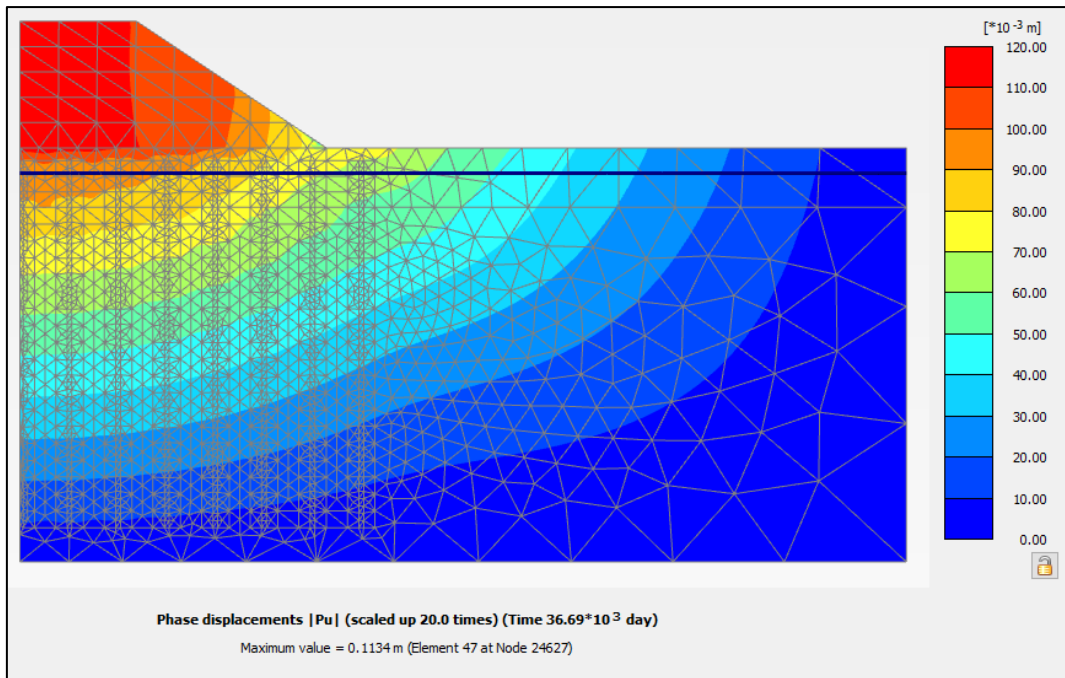
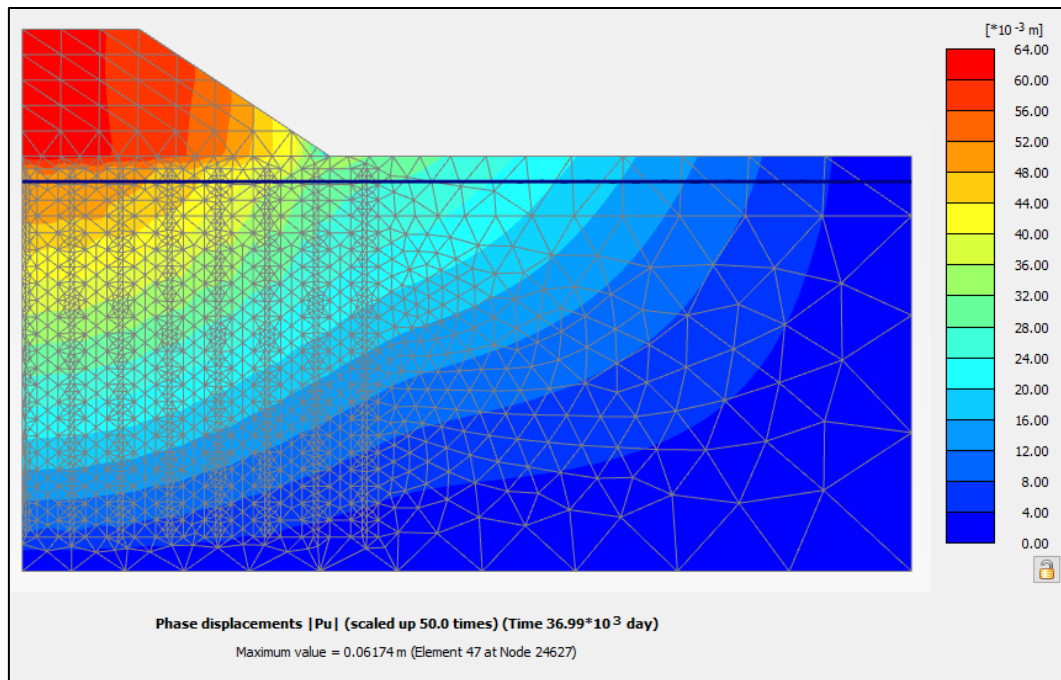


Figura 3.16:

Asentamientos a largo plazo, simulación con columnas, 460 días de construcción. Fuente: Plaxis 2D



3.3 Especificaciones Técnicas

1. Obras preliminares

1.1. Desbroce y retirada de vegetación

Descripción:

Comprende el desraíce y la limpieza en zonas cubiertas de maleza, escombros, cultivos y arbustos. Así como también, la remoción total de árboles aislados o grupos de árboles dentro de superficies que no representan un bosque continuo. Para esta actividad se deberá proteger las especies de flora y fauna presentes en la zona afectada, dañando lo menos posible y sin hacer desbroces innecesarios, además de considerar al entorno socioeconómico protegiendo áreas con interés económico.

Materiales mínimos: Preparación de áreas en general para la remoción de municiones de guerra incluyendo la erradicación de pasto arbustos, vegetación en general y raíces, la tala de árboles pequeños.

Procedimiento de trabajo: Las actividades de remoción de vegetación se llevarán a cabo en las zonas especificadas, bajo la supervisión técnica señaladas en los planos o indicadas por el Supervisor, cumpliendo con las normativas ambientales vigentes. Se priorizará la seguridad de los operarios y la preservación de los recursos naturales. La tala de árboles se realizará de forma selectiva y controlada, evitando daños a la vegetación remanente y a las propiedades adyacentes. Se establecerá una franja de seguridad de al menos 6 metros a ambos lados del eje vial, libre de obstáculos que puedan comprometer la estabilidad de la obra.

Medición y forma de pago: La medición para el pago de este rubro será en metros cuadrado (m²) de desbroce y retirada de vegetación, el mismo que indicará la entidad, administración, contratista, fiscalizador y otros puntos relacionados a la obra, ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Las cantidades determinadas del rubro indicado se pagarán a los precios contractuales que consten en el contrato.

Estos precios incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

1.2. Trazado y replanteo

Descripción: Este rubro consiste en el trazado y replanteo de las obras en campo, utilizando las alineaciones y cotas indicadas en los planos, respetando estas especificaciones de construcción ordenadas por la Fiscalización.

Este trabajo debe realizarse con la suficiente precisión para obtener la perfecta ubicación en el terreno de cada uno de los futuros trabajos a realizar.

Materiales mínimos: Levantamientos geoelectrónicos con al menos 32 electrodos

Procedimiento de trabajo: Este trabajo tiene como objetivo es establecer un sistema de referencia preciso y duradero para guiar todas las actividades constructivas; las mismas que permanecen fijas en todo el proceso de construcción. Se aplicarán en las áreas en las que se tiene programado construir los trabajos de trazado y replanteo, utilizando estacas de madera, además de otros elementos como cal y piola el en caso de necesitarse. Luego, es indispensable delimitar el sitio adecuado para realizar los rellenos y excavaciones según las abscisas y cotas del proyecto identificadas por los planos de Fiscalización.

En los trabajos de replanteo y nivelación se exigen que sean realizados por personal técnico capacitado y experimentado. Establecer mojones de hormigón para garantizar la permanencia de las referencias en el tiempo, de acuerdo con la magnitud de la obra y necesidad de trabajo y/o órdenes del Fiscalizador. Se debe tomar en consideración el dato de campo, el BM y las referencias que constataran en los planos, en base a las cuales el contratista, procederá replantear la obra a ejecutarse.

Mediante trabajos topográficos precisos, se establecerán en el terreno los puntos de referencia necesarios para la ejecución de la obra. Se realizará un replanteo planimétrico detallado, seguido de la materialización de las alineaciones y cotas de proyecto. La fiscalización llevará a cabo un control riguroso de las actividades topográficas, asegurando la conformidad de la obra con el proyecto ejecutivo. El contratista garantizará la conservación de los bancos de nivel y demás elementos de control topográfico.

Medición y forma de pago: La medición este rubro será en metros cuadrado (m²) de trazado y replanteo, este debe indicar la entidad, administración, fiscalizador, así como otros puntos relacionados a la obra, ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Los precios contractuales se deben pagar según el contrato. Estos precios incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos,

materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

1.3. Valla temporal de obra

Descripción: Hace referencia a la instalación y colocación de letreros que se relacionan a la construcción de obras civiles, los cuales son financiados por la entidad contratante. Su instalación está definida únicamente por el Supervisor de la obra.

Materiales mínimos: Valla temporal de obra Montaje en obra y posterior desmontaje y retirada al final de las obras.

Procedimiento de trabajo: Es necesario que este letrero de obra permanezca durante toda la ejecución de la obra, recordando que es exclusiva responsabilidad del contratista el proteger, mantener y reponer en caso de la desaparición de este.

Los postes serán contruidos de madera, así como el tablero, cuyas dimensiones serán entregadas por el supervisor de obra y serán colocados sobre bases de hormigón.

Medición y forma de pago: La dimensión para el pago de este rubro es la unidad (u) de letrero de obra. Los precios relacionados a este rubro incluyen los costos asociados a mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario, las cantidades relacionadas al rubro indicado serán ordenados y aprobados por Fiscalización.

2. Movimiento de tierra

2.1. Excavación a máquina sin clasificar

Descripción: En general, las excavaciones se basan en remover o quitar la tierra u otros materiales con el fin de conformar espacios para alojar elementos estructurales. Las excavaciones deberán realizarse con maquinaria, acuerdo a lo especificado a continuación.

Materiales mínimos: Excavación realizada con medios mecánicos en rocas sueltas (arcilla, arena, grava, tierra vegetal y similares) de hasta 2 m.

Procedimiento de trabajo: La ejecución de las excavaciones incluirá la implementación de medidas de control de aguas superficiales para garantizar el adecuado desarrollo de los trabajos. Se priorizará el drenaje natural de las aguas a través de las propias excavaciones o mediante la construcción de sistemas de drenaje provisionales. Estas obras de drenaje, consideradas inherentes a las excavaciones, están contempladas en los precios unitarios. Al finalizar los trabajos, se procederá a la remoción de los sistemas de drenaje provisionales, previa autorización de la fiscalización.

Las excavaciones se realizarán siguiendo estrictamente las especificaciones técnicas detalladas en los planos o indicadas por la fiscalización. Se recomienda utilizar retroexcavadoras para obtener superficies uniformes y ajustadas a los diseños. Se deberán minimizar las sobre excavaciones para evitar desperdicios de material y retrasar la ejecución de la obra.

Si los resultados obtenidos no son los esperados, la Fiscalización podrá ordenar y el Contratista debe presentar, sistemas alternativos adecuados de excavación, sin que haya lugar a pagos adicionales o diferentes a los constantes en el contrato. Así mismo, si se encontraren materiales inadecuados para la fundación de las obras, la Fiscalización podrá ordenar una sobre excavación, pagando por este trabajo los mismos precios indicados en el contrato.

En caso de que se ejecute encima de las excavaciones, donde el terreno tenga presencia de disgregado por la acción atmosférica o por cualquier otra causa. Este relleno deberá alcanzar el nivel de asiento de la obra según se trate.

Si la capacidad portante del fondo es baja, y como tal se entiende como aquella cuya carga admisible sea inferior a $0,5 \text{ Kg/cm}^2$, esto refiriéndose a suelos de arcillas muy blandas o peores, es necesario que se mejore el terreno mediante su sustitución, utilizando el tipo de cimentación que corresponda. La consolidación del terreno se efectúa por medio del aumento de material seleccionado al suelo original y posterior compactación.

Medición y forma de pago: La medición para que se pague este rubro será el metro cúbico (m³) de excavación mecánica sin clasificar, el mismo que menciona la entidad, administración, contratista y otros puntos según requiera la obra. Teniendo en cuenta que, debe ser ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Estos precios incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

2.2. Desalojo de material

Descripción: Se entenderá por desalojo de material a toda operación que es necesaria para transportar y descargar los materiales que no van a ser usados en el relleno de la obra.

Carga y transporte: Transporte a residuos o a una planta de valorización adecuada del material procedente de obras de movimiento de tierra hasta 10 km.

Procedimiento de trabajo: Se entenderá por desalojo de material al producto de excavación y no apto para relleno, la operación consiste en el transporte de dicho material hasta los lugares de desperdicio o de almacenamiento que señale el proyecto y/o el ingeniero Fiscalizador. No se incluyen en este rubro los residuos de materiales, desperdicios y demás sobrantes generados en la obra, cuyo manejo, recogida, cargado, transporte, descarga y demás actividades relacionadas, son de responsabilidad del Contratista. No se podrá desalojar materiales fuera de los sitios definidos por la Fiscalización. Para esto, se implementará un mecanismo de control para la entrega de materiales mediante una boleta de recibo-entrega. Para que se considere efectuado este rubro, la Fiscalización constatará que el sitio de la obra y la zona de influencia de esta, este completamente limpia.

La carga del material excavado se realizará mediante retroexcavadoras, y su transporte se efectuará en volquetas en óptimas condiciones. Se establecerán rutas de transporte que minimicen las molestias a los vecinos y eviten la interrupción del tráfico. Para

prevenir la dispersión de material durante el transporte, las volquetas deberán contar con cubiertas adecuadas.

El contratista es responsable del transporte y disposición final de los residuos generados durante la obra, incluyendo las tareas de descarga, esparcimiento y compactación en el botadero. Los costos asociados al uso de botaderos municipales deberán ser asumidos por el contratista conforme a lo señalado en la Ordenanza Municipal que Regula la gestión integral de los Desechos y Residuos Sólidos y considerados en los precios unitarios. En caso de que el contratista gestione un botadero privado, deberá presentar un diseño detallado y aprobado por las autoridades municipales antes de su uso.

Medición y forma de pago: La medición para este rubro será realizada en metro cúbico por kilómetro (m^3 -km) de desalojo de material, el mismo que indica la entidad y otros puntos que están relacionados a la obra, los cuales son ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Estos precios incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

2.3. Perforación de pozos para columnas de 0.9m de diámetro

Descripción: Las perforaciones se realizan con equipos que trabajan con brocas, trícorno o trépano perforador giratorios, con un sentido de rotación igual al de los enrosques o uniones de las piezas que conforman la sarta de perforación. Las brocas, trícorno o trépano tienen como función triturar o voltear las distintas deformaciones que van encontrándose a su paso, es por lo que cada herramienta es diseñada según el tipo de suelo que se espera encontrar en el sitio.

Para el trabajo de perforación, además, se requiere del lodo de perforación para evitar el sobrecalentamiento de las herramientas cuando estén operando. Adicionalmente, este lodo

transporta hacia la superficie, en suspensión, el material sobrante de la perforación y al finalizar forma una película protectora alrededor de las paredes del pozo evitando el desmoronamiento o directamente el derrumbe de este.

El equipo típico de perforación está compuesto por las siguientes partes: mesa de rotación, barra giratoria o Kelly, Swivel o eslabón giratorio, Drill pipe o tubería liviana de perforación, Drill collars o tubería pesada de perforación, triconos o brocas de perforación, bomba de lodos y motor.

Esta tecnología de perforación consiste en dos movimientos: perforación y percusión, los cuales se combinan para soltar la tierra del fondo y desplazar la tierra suelta de forma continua, esto último mediante tubos que consiguen recircular el agua que fluye a presión mediante la bomba de lodos.

Materiales mínimos: Perforación vertical realizada para destruir el núcleo, con un diámetro de 85 a 145 cm, incluido el examen de corte, para perforaciones de pequeña profundidad: en suelos de grano fino como arcillas, limos, limos arenosos, tobas no pétreas, etc. de 0 m a 40 m desde el nivel del suelo.

Procedimiento de trabajo: Para la perforación de los pozos es necesario tener en cuenta la calidad del agua a utilizar (para arcillas es suficiente con agua limpia, libre de materia orgánica), la fuente debe ser cercana a la ubicación de los pozos, es por esto por lo que es importante conocer del sitio las características superficiales de la zona, como las corrientes de agua, la vegetación, ríos o manantiales presentes. Además, no solo revisar las posibles fuentes de abastecimiento sino también los posibles contaminantes: aguas residuales, zonas de grandes depósitos de basura, etc. Para esta ubicación de las fuentes existen varios métodos predictivos usando imágenes satelitales o fotografías aéreas, estudios de resistividad eléctrica o estudios sísmicos.

Una vez ubicados los pozos se procede al montaje de los equipos, se verifican todas las partes principales y accesorios usando una lista de chequeo, se ensambla e instala la torre de perforación y para la instalación de la bomba de lodos se debe construir la poza principal, adicionalmente las pozas de sedimentación a las que se conectará la bomba mediante canales. Si el terreno superficial es muy permeable se debe revestir con plástico laminado las pozas.

Previo a la perforación de los pozos, y para conocer la ubicación exacta de los pozos, se deja caer libremente el primer tubo de la barra de perforación, con la marca dejada se conocer dicha ubicación. Con el punto de inicio marcado, se procede a una pre-perforación, avanzando unos 0.5 m, con esto se garantiza la estabilidad inicial de la barra de perforación.

Terminada la pre-perforación, se realiza la perforación, llenando previamente el pozo con agua e introduciendo la barra con la broca. La barra se levanta unos 50 cm y se deja caer, cada vez realizando medio giro, permitiendo arrancar el material del fondo, el cual se disuelve con el agua inyectada a presión para evacuar el material (que se sedimenta en la poza de sedimentación), este procedimiento de levantar y dejar caer la barra se repite permitiendo la perforación y extracción del suelo. Una vez que el manubrio llega hasta el borde superior del pozo se debe acoplar la siguiente barra de perforación y repetir el mismo proceso mencionado.

Es importante señalar la importancia de mantener constante la inyección del agua, para evitar la formación de barro en la punta de la broca, una vez finalizada la perforación se detiene la circulación del agua una vez que el agua comienza a salir clara, y se retiran entonces los tubos de barra de perforación.

Medición y forma de pago: El pago de este rubro se medirá en metros lineales (ml). Este rubro debe incluir: entidad, administración, obra, contratista, fiscalizador y otros puntos importantes relacionados a la obra, todo esto aceptados por la fiscalización.

Las cantidades que se describen en el rubro serán pagadas según los precios contractuales que consten en el contrato, contemplando el total incluyendo mano de obra, equipos, materiales, otros dispositivos auxiliares y otras obras conexas necesarias, asegurando la plena satisfacción de la fiscalización.

2.4. Suministro e instalación de encamisado de PVC a 30 m de profundidad

Descripción: Consiste en colocar una tubería de PVC a lo largo de la perforación para evitar que las paredes sufran derrumbe, además, funcionan como cámara de almacenamiento del agua.

Materiales mínimos: Tuberías de polietileno reforzadas con acero diámetro interior 900 mm incluidas las piezas especiales y todos los costos de instalación.

Procedimiento de trabajo: Para el revestimiento de la perforación del pozo se utilizó una tubería de PVC de diámetro interno de 900mm. La tubería de revestimiento se instalará en toda la longitud perforada siendo su extremo inferior ciego o cerrado en punta, y el extremo superior sobresaliendo 40cm sobre la superficie del terreno. La captación del agua se hace a través de ranuras transversales al eje de la tubería, hechas con amoladora, separadas 5cm entre sí, en una longitud mínima de 4m y se realizará en el último tramo del encamisado.

Medición y forma de pago: La medición para el pago de este rubro será en metro lineal (ml) de entibado metálico, el mismo que indicará la entidad, administración, contratista, fiscalizador y otros puntos relacionados a la obra, ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Las cantidades que se describen en el rubro serán pagadas según los precios contractuales que consten en el contrato, contemplando el total incluyendo mano de obra, equipos, materiales, otros dispositivos auxiliares y otras obras conexas necesarias, asegurando la plena satisfacción de la fiscalización.

3. Estructura del terraplén

3.1. Suministro de grava

Descripción: El suministro de grava contempla el conjunto de operaciones para la construcción de rellenos con material grava seleccionada, hasta llegar a los niveles y cotas determinadas y requeridas.

El objetivo será el relleno de espacios delimitados en planos y/o requeridos en obra, hasta lograr las características del suelo existente o mejorar el mismo en caso de requerirlo el proyecto, de acuerdo con las especificaciones indicadas en el estudio de suelos y/o la fiscalización.

Materiales mínimos: Grava 40-70 mm material reciclado

Procedimiento de trabajo: Este rubro consiste en el suministro e instalación de un agregado grueso en forma de piedra triturada, proveniente exclusivamente de roca de alta densidad y libre de laminaciones. El tamaño máximo de las partículas del agregado no excederá 1/5 de la dimensión menor entre las caras del encofrado, ni tres cuartos de la separación entre las barras de refuerzo o entre estas y el encofrado.

Normas técnicas

La parte granulométrica presentada, corresponde a que todos los agregados sean estos gruesos y finos se estipularan dentro de los límites que indica la designación ASTM C-33, así como los mostrados en las Especificaciones Generales para el desarrollo y Construcción de Caminos y Puentes del MOP-001-F-2002.

Este material se colocara en cantidades y sitios establecidos dentro de la planimetría desarrollada, sujetando por parte del Fiscalizador la mejor asignación posible tanto para el material fino y todo aquel confinamiento que impedirá la disgregación de este.

Medición y forma de pago: La medición designada dentro de este rubro se dará en metro cubico (m³) de suministro de grava, el mismo que abarcará el área de los contratistas, su entidad, administración y demás actores involucrados dentro del desarrollo de la obra, los cuales deben ser aceptados por parte de la Fiscalización.

Los valores presentes incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

3.2. Inserción de columnas cada 1.3 m

Descripción: Este rubro consiste en la inserción de la grava una vez posicionada la máquina necesaria para el trabajo, se hinca el vibrador llevándolo hasta la profundidad de diseño. La incorporación de la grava al terreno se realizará mediante una tolva alimentada a nivel del suelo con una pala cargadora.

Materiales mínimos: Inserción de grava gruesa o guijarros de 20- 30 cm de espesor, incluida la aproximación del material, esparcimiento y compactación también realizados con la ayuda de medios mecánicos

Procedimiento de trabajo: Para el hincado de pilotes en terraplenes de espesor superior a 1.50 metros, se deberá realizar previamente una perforación o punzonado. Las dimensiones de estos orificios no serán inferiores a la sección transversal máxima del pilote más un margen de 15 centímetros a cada lado, con el objetivo de minimizar los daños al terraplén durante la operación de hincado. Una vez insertadas las columnas de grava de profundidad 30m, se deberá rellenar el espacio en derredor hasta el nivel de la superficie, empleando arena o gravilla. El material resultante de los agujeros deberá ser dispuesto en lugar aprobado por el Fiscalizador.

Medición y forma de pago: La medición para el pago de este rubro será en metro lineal (m) de la inserción de columnas de grava, el cual abarcara la parte contratista, su

entidad, administración y demás actores involucrados dentro del desarrollo de la obra, los cuales deben ser aceptados por parte de la Fiscalización.

Las cantidades descritas anteriormente serán canceladas con los valores actuales que indique legalmente el contrato.

Estos valores dados incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

3.3. Relleno compactado con material del sitio

Descripción: Es el relleno de las áreas excavadas para la colocación de las columnas, una vez terminada esta, se procede a rellenar con el material del sitio un espesor de 1m. El relleno se realizará con material proveniente de las excavaciones de la obra o de áreas aledañas al proyecto, que cumpla con las características especificadas en el proyecto. Este material deberá ser distribuido en capas uniformes de 0.3m de espesor máximo.

Equipo mínimo: Excavadora incluyendo operador, combustible y lubricante: peso da 13 a 17,9 t

Mano de obra: Operario común

Procedimiento de trabajo: Previo a la colocación del relleno se debe verificar que el área esté libre de escombros, agua y otros materiales que puedan interferir con el relleno.

Para la colocación del material este se debe extender en capas de no más de 0.30m de espesor de manera uniforme. Compactar cada capa usando rodillos hasta alcanzar el 95% de la densidad máxima seca del suelo (ensayo Proctor Modificado). Al final de cada capa se debe verificar la densidad que se ha alcanzado con la compactación y si cumple con la requerida continuar el proceso de y relleno con las siguientes capas hasta alcanzar 1m.

Medición y forma de pago: La medición para el pago de este rubro será en metro cubico (m³) de relleno compactado con material de mejoramiento, el mismo que indicará la

entidad, administración, contratista, fiscalizador y otros puntos relacionados a la obra, ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Las cantidades determinadas del rubro indicado se pagarán a los precios contractuales que consten en el contrato.

Estos precios incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de esta etapa se dará sujeta mediante la completa aprobación de la Fiscalización.

3.4. Relleno compactado mediante material de mejoramiento

Descripción: Se entenderá por relleno a la acción requerida para la colocación, y compactación de material de mejoramiento posterior a la realización de la obra.

La granulometría de la mezcla deberá ser comprobada mediante los ensayos INEN 696 (AASHTO T-11 y T-27), los mismos que serán realizados inmediatamente después de completado el mezclado.

El índice de plasticidad y los límites de consistencia serán determinados mediante los ensayos INEN 691 y 692, (AASHTO T-89 y T-90).

Materiales mínimos: Relleno material árido como A1, A2-4, A2-5, A3 procedente de canteras o de una planta de recuperación adecuada

Procedimiento de trabajo:

El relleno deberá ser compactado de la manera más rápida y eficaz posible una vez instaladas las columnas de grava, para así poner en marcha el terraplén. El relleno será compactado mediante el vibro apisonador el cual se ejecutará por etapas y según las condiciones y características del suelo en excavación.

Por otro punto, para el control de calidad de la obra en cuestión, se efectuarán los ensayos apropiados de Densidad Máxima y Humedad Óptima, conforme a las estipulaciones de la AASHTO T-180, método D. Así mismo, la densidad presentada en campo será

comprobada a partir de un equipo nuclear previamente calibrado o mediante el ensayo AASHTO T-191, el cual indica que su valor debe ser menor al 95% de la Densidad Máxima expresada en el laboratorio.

Antes de iniciar los trabajos relacionados al relleno compactado, el terreno de fundación deberá ser completamente limpiado y exento de cualquier material ajeno al relleno. El material empleado para la conformación de los rellenos deberá estar libre de contaminantes orgánicos, como troncos, raíces o cualquier otro elemento que pueda comprometer la estabilidad del relleno. La aprobación previa del material a utilizar ya sea procedente de las excavaciones o de bancos de préstamo, será responsabilidad de la supervisión de obra. Cualquier relleno ejecutado sin la autorización correspondiente será considerado no conforme y deberá ser removido por cuenta del contratista.

La primera sección que establece la parte de relleno se utilizara tierra fina previamente seleccionada, libre de cualquier piedra, ladrillo, teja y demás materiales duros.

Medición y forma de pago: La medición para el pago de este rubro será en metro cubico (m³) de relleno compactado con material de mejoramiento, el mismo que indicará la entidad, administración, contratista, fiscalizador y otros puntos relacionados a la obra, ordenados y aceptados por la Fiscalización.

Las cantidades determinadas del rubro indicado se pagarán a los precios contractuales que consten en el contrato.

Estos precios incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

3.5. Transporte de material

Descripción: Este rubro se refiere al o los medios de transportes aprobados que faciliten todo aquel material granular y/o rocosos necesarios para la construcción. Como a su

vez mediante préstamos, de igual forma, el mejoramiento de la subrasante con suelo señalado, material para drenes bases, subbases y cualquier material extra para la construcción de la obra, cada uno de ellos están previsto dentro de los pagos de transporte.

Carga y transporte: Transporte de material hasta 10 km

Procedimiento de trabajo: El transporte de materiales será llevado a cabo hacia las ubicaciones especificadas en los planos, bajo la supervisión estricta de la fiscalización y cumpliendo en todo momento con las leyes y regulaciones vigentes.

Medición y forma de pago: La medición dada para el costo de este rubro será en metro cubico por kilómetro (m^3 -km) de transporte de material, el cual abarcara la parte contratista, su entidad, administración y demás actores involucrados dentro del desarrollo de la obra, los cuales deben ser aceptados por parte de la Fiscalización.

Cada una de estas cantidades se cancelarán a los precios contractuales que denoten dentro del contrato.

Estos costos incluyen todos los valores asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación del área de Fiscalización.

3.6. Acabado de obra

Descripción: Este rubro indica la limpieza de la zona al final de la construcción del proyecto, es importante realizarla en las distintas etapas de la obra el estado de limpieza para el buen desempeño de los trabajos.

Materiales mínimos: Limpieza varía, mediante retirada de material depositado

Procedimiento de trabajo: Se implementarán medidas de seguridad exhaustivas para prevenir accidentes laborales, prestando especial atención a la identificación y eliminación de elementos punzantes como clavos expuestos. Al finalizar los trabajos, el contratista deberá

proceder a la demolición de las estructuras provisionales, revirtiendo las condiciones del sitio a su estado original y eliminando cualquier daño causado durante la ejecución de la obra.

Medición y forma de pago: La medición del presente rubro se dará en metro cuadrado (m²) de acabado de obra, el cual abarcará la parte contratista, su entidad, administración y demás actores involucrados dentro del desarrollo de la obra, los cuales deben ser aceptados por parte de la Fiscalización.

Cada una de estas cantidades se cancelarán a los precios contractuales que denoten dentro del contrato.

Estos costos incluyen todos los precios asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

4. Plan de manejo ambiental

4.1. Agua para control de polvo

Descripción: Este trabajo hace referencia en la aplicación, según las órdenes del Fiscalizador, de agua para controlar el polvo que se produzca como consecuencia de la construcción de la obra o del tráfico público que transita por el proyecto, los desvíos y los accesos.

Para prevenir la generación de polvo, el contratista deberá humedecer regularmente las áreas de la obra expuestas al tránsito de maquinaria, utilizando camiones cisterna que rociarán agua a baja velocidad. En zonas donde se acumulen materiales sueltos o se realicen excavaciones, se emplearán rociadores controlados para evitar la dispersión de partículas y la formación de charcos

Otra alternativa, el Contratista podrá recubrir los materiales antes mencionados con plásticos, lonas u otro material similar en caso de ser necesario.

Con el objetivo de controlar el polvo de manera efectiva, será distribuida el agua de uniformemente por medio de carros cisterna dotados a partir de un sistema de rociadores a manera de presión. Su aplicación se dará en una tasa de los entre 0,90 y 3,5 litros por metro cuadrado y una frecuencia optima conforme manifieste el Fiscalizador. Al llevar a cabo el control de polvo mediante estos carros, la velocidad máxima de su aplicación es de 5 Km/h. Esto se debe a que no es aprobado implementar químicos para el control y el esparcimiento del polvo dentro de la atmósfera.

Carga y transporte: Tanque para almacenamiento de agua potable capacidad 100l

Procedimiento de trabajo: Se utilizarán camiones cisterna con sistemas de rociado a presión, previamente aprobados por la supervisión, para distribuir el agua de manera uniforme y controlar la generación de polvo. La tasa de uso oscila entre 0,90 y 3,5 litros por metro cuadrado, conforme el Fiscalizador vea optimo. Así mismo, al efectuar dicho control sobre el polvo, su velocidad máxima de implementación varia a los 5 Km./h.

Medición y forma de pago: La medición del presente rubro será en metro cubico (m^3) de agua para control de polvo, el cual abarcara la parte contratista, su entidad, administración y demás factores involucrados dentro del desarrollo de la obra, los cuales deben ser aceptados por parte de la Fiscalización.

Cada una de estas cantidades se cancelarán a los precios contractuales que denoten dentro del contrato.

Estos valores incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

4.2. Cerramiento protector antipolvo

Descripción: Este rubro radica en localizar y puntuar las áreas dentro de la obra para así prevenir el esparcimiento desmedido del polvo, con la finalidad de mejorar las

condiciones a los usuarios con respecto a la seguridad y conservación de la vía y a encargados del proyecto constructivo.

Reduciendo el riesgo a todos los trabajadores en cuestión, la población de la zona y lo demás transeúntes que avisten el sitio, de acuerdo con lo indicado en los planos y lo admitido por el área de Fiscalización.

Materiales mínimos: Cerco para obras de defensa del suelo.

Procedimiento de trabajo: Este ítem permitirá implementar medidas de control de polvo, especialmente cuando las condiciones del terreno o las actividades constructivas dificulten el uso de agua o estabilizantes químicos. Se emplearán cerramientos protectores antipolvo diseñados para retener las partículas y evitar su dispersión por el viento. La instalación de estos cerramientos será supervisada y aprobada por la fiscalización, asegurando el cumplimiento de los requisitos técnicos.

Se instalarán cerramientos porosos con una apertura superior a 0.20 mm, los cuales actuarán como barreras contra el viento y el polvo. La ubicación de estos cerramientos será perpendicular al viento predominante. Es fundamental realizar una limpieza periódica de las barreras para mantener su efectividad.

Medición y forma de pago: La medición estipulada dentro de este rubro será en metro cuadrados (m²) de cerramiento protector antipolvo, el cual abarcara toda el área de contratistas, la entidad, parte de administración y demás actores involucrados dentro del desarrollo de la obra, los cuales deben ser aceptados por parte de la Fiscalización.

Cada una de estas cantidades se cancelarán a los precios contractuales que denoten dentro del contrato.

Estos valores incluyen todos los costos asociados a la ejecución de los trabajos, cubriendo mano de obra, equipos, materiales y cualquier otro elemento necesario. La realización de los trabajos estará sujeta a la completa aprobación de la Fiscalización.

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

Para la mitigación de los asentamientos de segundo orden en el tramo de la línea férrea de alta velocidad perteneciente al área del Vallo di Diano, se empleará la tecnología de las columnas de gravas para la estabilización del suelo, con un posterior diseño de terraplén, cumpliendo con los ODS 9 y 11, construyendo estructuras más resilientes, permitiendo el crecimiento económico de las poblaciones de los pueblos aledaños a la vía, la interconexión entre ciudades y la sostenibilidad en las obras civiles.

Este proyecto al tratarse de una mejora geotécnica del suelo contempla fases de limpieza de terreno, perforación y excavación, y trabajo con múltiples maquinarias para la colocación de las columnas y construcción del terraplén. En lo respectivo a los materiales se requerirá grava de diferente granulometría para las columnas y material de mejoramiento para relleno y la construcción del terraplén, dando prioridad a los materiales de fuentes locales y con una adicional gestión del suelo excavado.

En lo respectivo a la solicitud de los permisos de acuerdo con los requisitos de protección y servicio, la propiedad se encuentra bajo tres distintos niveles de protección: nacional, internacional y local. Respecto al nivel nacional el sitio está cubierto por el Decreto Legislativo italiano no.42/2004 “Código para el patrimonio cultural y el paisaje”, como resultado cualquier intervención requiere aprobación de las organizaciones nacionales de patrimonio pertinente como Municipios y Superintendencias de Patrimonio Arquitectónico y Paisaje.

El Parque Nacional del Cilento y Valle de Diano también están cubiertos por la Ley Italiana no.394/1991, que aplica controles estrictos sobre áreas naturales. Adicionalmente, este parte está bajo el control de la Ley Forestal Italiana por lo que para todas las actividades que se realiza dentro del parque se requiere de la autorización del “Ente Parco” la autoridad

del parque. Con todos estos antecedentes se demuestra el especial manejo que requiere el proyecto en cuestiones del manejo y uso de recursos y residuos.

4.2 Línea base ambiental

Al tratarse de un proyecto enfocado directamente en la geología del sitio, es de suma importancia conocer las características previas del suelo presente antes de la intervención geotécnica. Conociendo así que, el proyecto se desarrolla en la región de Campania, al sur de Italia, abarcando principalmente territorios del Vallo di Diano y el Parque del Cilento. Ambos sitios pertenecientes al área natural protegida del Cilento en la provincia de Salerno, reconocida, desde el 2010 por la UNESCO, como geoparque. Esta área se extiende por unas 395 mil hectáreas de superficie, de las cuales aproximadamente 320 mil hectáreas son de área terrestre.

Geográficamente, se encuentra rodeado por las montañas del grupo Alburni, Monte Motola y Monte Cervati al oeste, las cuales forman parte del Parque del Cilento, mientras que al este se encuentran las montañas de la Maddalena, un complejo sistema montañoso centro de los Apeninos lucanos. Estas montañas están compuestas principalmente por rocas calcáreas y dolomíticas, presentando características típicas de karst, como sumideros y cuevas, con formaciones margas-arenáceas en la base de las laderas, cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios que llenan la cuenca (Cola et al.,2024).

La zona del valle es atravesada por el río Tanagro, con una cuenca a 400 metros de altura, haciendo sus tierras aptas para el cultivo y el asentamiento poblacional, albergando una población de más de 220 mil habitantes. Según datos de la UNESCO estas poblaciones se dedican principalmente a las actividades económicas de la agricultura: ganadería ovina, producción de aceite de oliva, higos blancos y el vino, adicional, durante los meses de verano, el turismo es una importante fuente de ingreso. Es por esta última actividad, que en

las zonas al interior se desarrollan los negocios locales y el patrimonio rural, mediante la silvicultura y la pesca.

Esta área protegida (Parque del Cilento), cuenta con flora y fauna local que dependen directamente del conjunto de características específicas que brinda el valle relacionado con su variabilidad, litología, geomorfología y clima. En total la zona tiene 28 sitios de importante interés comunitario, los cuales incluyen dos sitios marinos reconocidos por la Directiva de Hábitats, además de ocho Zonas de Protección Especial reconocidas por la Directiva de Aves, ambas de la Comisión Europea. El parque es también refugio de algunas especies en peligro o amenaza de extinción como la nutria europea, la liebre corsa, el murciélago mediterráneo, la perdiz pardilla y el halcón de Eleonora (UNESCO, s.f.).

Adicional, la UNESCO resalta el patrimonio cultural presente aquí como “particularmente rico”. La zona cuenta con numerosos vestigios arqueológicos que datan de tiempos paleolíticos, una serie de artefactos históricos-culturales sobre ocupaciones humanas de sucesiones completas de diferentes civilizaciones. Por lo que el área del geoparque cuenta con entornos físicos como el área arqueológica de Paestum, en la base del Monte Maddalena, y con numerosos pueblos de gran interés histórico.

4.3 Actividades del proyecto

La mejora de los asentamientos de segundo orden conlleva la utilización de columnas de gravas que modificarán las características del suelo y asegurarán la estabilidad necesaria para las obras posteriores. Sin embargo, esto conlleva la intervención del suelo y del hábitat en general. Por lo que la identificación y evaluación de los impactos que las actividades a realizar durante el proyecto son cruciales para la planificación y ejecución de las medidas requeridas de mitigación de estas.

Entre las actividades que afectaran directa o indirectamente la estructura superficial del suelo se encuentra:

- **Desbroce y retirada de vegetación:** desraíce y limpieza de la zona, despojándola de maleza, escombros, cultivos y arbustos.
- **Trazado y replanteo:** esto en obra utilizando las alineaciones y cotas indicadas.
- **Excavaciones y movimiento de tierra:** remoción del material en el sitio para reemplazar por elementos estructurales o materiales de mejoramiento.
- **Acabado de obra:** son todas las limpiezas necesarias al final de distintas etapas de construcción.

Otras actividades afectaran las estructuras más subterráneas del suelo:

- **Perforación de pozos para columnas:** excavación profunda (> 30m) del suelo mediante brocas, trícono o trépano.
- **Suministro e instalación de encamisado:** luego de la perforación de los pozos se coloca una tubería de PVC a lo largo de la perforación.

La obra en el sitio puede conllevar riesgos de provocar altos niveles de ruido y vibraciones de las maquinarias:

- **Uso de maquinaria para excavaciones y desalojo de material:** en la etapa de movimiento de tierra se requiere la excavación de material y desalojo de este del lugar de la obra (transporte y descarga).
- **Traslado y suministro de materiales:** transporte y descarga del material para columnas y terraplén.
- **Relleno de columnas:** relleno de los pozos con el material para columnas.
- **Compactación de relleno sobre columnas terminadas:** relleno y compactación de capa final sobre columnas terminadas.
- **Compactación de relleno para terraplén:** colocación y compactación de relleno por capas para la construcción del terraplén. Incluye también la colocación de geomalla.

4.4 Identificación de impactos ambientales

Para la identificación y evaluación se utilizará un método de matrices, basándonos en la Matriz de Leopold, realizando una primera matriz de identificación en la cual se detallan los posibles impactos por cada actividad del proyecto con cada uno de los aspectos ambientales y una segunda matriz de valoración (siguiente sección) donde se medirá el impacto de cada actividad que pueda resultar dañina al medio ambiente. Este método matricial fue desarrollado en 1971 para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos de América (Leopold et al, 1971).

En la matriz de impacto ambiental (Tabla 4.2) se detallan las diferentes actividades que se prevén realizar en el proyecto y los diversos aspectos ambientales presentes en el área de estudio que pueden verse afectados directamente. Para la identificación de los factores del medio susceptibles a afectación tanto directa como indirecta, se utilizó como referencia la lista global de elementos del sistema ambiental sugerida por el SCI (1993), (Tabla 4.1). Y mediante un análisis de cada actividad en esta matriz se señala con "X" cuando existe un posible impacto de la acción del proyecto en el factor ambiental correspondiente.

Tabla 4.1:

Componentes y elementos del sistema ambiental. Fuente: SCI (1993)

Componente	Elementos
Geosférico	Geología, geomorfología, geotecnia, sismología, suelos: características físicas y químicas y uso; identificación de recursos mineros y energéticos; erosión; otros.
Atmosférico	Aspectos climáticos: micro y macro clima, calidad del aire, ruido, otros.
Hídrico	Calidad del agua y regularidad, caudales, densidad de drenaje, uso del agua, otros.
Biótico	Vegetación, fauna, ecosistemas, otros.

Socioeconómico

Población, empleo, servicios básicos,
vivienda, tenencia de la tierra,
asentamientos humanos, otros.

Cultural, y patrimonio histórico y paisajístico

Arqueología, aspectos históricos de
ocupación, recursos paisajísticos, zonas
turísticas, otros.

Tabla 4.2:

Matriz de Identificación de Impacto Ambiental

Acciones del Proyecto	Factores ambientales									
	Suelo	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Flora	Fauna	Calidad del aire	Nivel de ruido y/o vibraciones	Paisaje	Uso del suelo (agrícola)	Comunidad local
1. Instalación de Columnas de Gravas										
1.1. Preparación del terreno										
1.1.1. Limpieza y nivelación del área				X	X	X	X	X	X	
1.1.2. Marcado de las ubicaciones para las columnas de gravas										
1.2. Perforación										
1.2.1. Uso de maquinaria de perforación para crear agujeros en el suelo	X	X	X	X	X	X	X			X
1.3. Relleno con gravas										
1.3.1. Inserción de gravas en los agujeros perforados	X		X				X		X	
1.3.2. Compactación de las gravas para asegurar la estabilidad.				X	X		X			
1.4. Control de calidad										
1.4.1. Inspección y pruebas para asegurar la correcta instalación										
2. Excavación del Terreno										
2.1. Desbroce y retirada de vegetación										
2.1.1. Remoción de vegetación superficial	X			X	X	X	X	X	X	
2.2. Excavación del suelo										

7.3.2. Monitoreo de la calidad del agua											
7.3.3. Monitoreo de la biodiversidad											
7.3.4. Monitoreo de ruidos y vibraciones											
7.4. Mantenimiento de infraestructuras											
7.4.1. Inspección y reparación de vías férreas											

4.5 Valoración de impactos ambientales

Tabla 4.3:

Calificación de la magnitud de la actividad

Descripción	Valor Asignado
Daño grave al indicador	-3
Daño medio al indicador	-2
Daño menor al indicador	-1
Daño insignificante al indicador	0
Pequeño efecto positivo sobre el indicador	1
Efecto medianamente positivo sobre el indicador	2
Efecto grandemente positivo sobre el indicador	3

Tabla 4.4:*Calificación de la importancia de la actividad sobre el factor ambiental*

Descripción	Valor Asignado
Sin importancia para el indicador	0
Poco importante para el indicador	1
Medianamente importante para el indicador	2
Muy importante para el indicador	3

Tabla 4.5:*Escala de evaluación de las actividades incluyendo magnitud e importancia respecto al factor ambiental*

Descripción	Valor Asignado
Daño grave con importancia para el indicador	-9
Daño medio con importancia para el indicador	-6
Daño medio con mediana importancia para el indicador	-4
Daño grave/poca importancia o menor/importancia para el indicador	-3
Daño medio/poca importancia o menor/mediana importancia para el indicador	-2
Daño menor con poca importancia para el indicador	-1
Daño insignificante y/o sin importancia para el indicador	0
Efecto pequeño positivo y poco importante para el indicador	1
Efecto pequeño positivo y medianamente importante para el indicador	2
Efecto pequeño positivo/muy importante o grandemente positivo/poco importante para el indicador	3
Efecto medianamente positivo e importante para el indicador	4
Efecto medianamente positivo/muy importante o grandemente positivo/medianamente importante para el indicador	6
Efecto grandemente positivo y muy importante para el indicador	9

3. Transporte de Materiales																																				
3.1. Carga de materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-6	-1	0	-4	-4	0	0	0	0	0	-3	6						
3.2. Transporte a través del sitio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-6	-1	0	-4	-4	0	0	0	0	0	-3	-1						
3.3. Descarga de materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	-3	-6	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0							
3.4. Control de emisiones y derrames	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4						
4. Manejo y Reubicación de Suelos Excavados																																				
4.1. Clasificación del suelo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
4.2. Reubicación del suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-6	-1	0	-4	-4	0	0	0	0	0	0	0	0						
4.3. Compactación del suelo reubicado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-4	-3	-1	-6	-6	0	0	0	0	0	0	-3	0						
4.4. Monitoreo de estabilidad y calidad	4	0	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
5. Uso de Maquinaria Pesada																																				
5.1. Selección de maquinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	3	0	4	4	0	0	0	0	0	0	3	0						
5.2. Operación de maquinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-6	-4	-3	-6	-6	0	0	0	0	0	0	0	0						
5.3. Mantenimiento de maquinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	3	3						
5.4. Control de emisiones y ruido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	4	4	6	4	0	0	0	0	0	0	4	0						
6. Construcción del Terraplén																																				
6.1. Preparación del área	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-4	-1	-6	-1	-1	-4	0	0	0	0	-3	-3	-4	0	0	-4	0	0	0	0						
6.2. Colocación de capas de suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	0	-4	-6	-4	-3	-1	-6	-6	-4	-3	0	-3	-3	0	-4	0						
6.3. Estabilización del terraplén	-4	0	-4	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
6.4. Control de erosión	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0						
7. Post-Construcción																																				
7.1. Gestión de residuos post-construcción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	-3	-4	0	0	-3	-3	3	0	0	0	0	0	0	0						
7.2. Habilitación de la línea férrea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	-4	-3	-3	-4	-4	0	0	0	0	0	9	9	9						
7.3. Monitoreo ambiental	0	0	0	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	9	9	6	0	9	6	6	6	6	0						
7.4. Mantenimiento de infraestructuras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	9	9						
TOTALES	2				31					28						-30				-17							-41			-62		-1		4		54

Para la evaluación de impacto ambiental se evaluó conforme a la magnitud del efecto que cada actividad produce sobre el indicador ambiental, utilizando una escala que varía de -3 a 3, para lo cual se utilizó la escala general para métodos matriciales presentada en la Tabla 4.3. Adicionalmente, se consideró la importancia del impacto producido por la actividad sobre el indicador en una escala del 0 al 3 (Tabla 4.4). Finalmente, se obtiene el producto del valor asignado de magnitud e importancia para cada actividad sobre los diferentes indicadores, dando una valoración final. Con motivos de simplificación se creó una nueva escala en base a este análisis, donde se clasifican las diferentes valoraciones finales posibles (Tabla 4.5).

En la matriz presentada en la Tabla 4.6 se presentan de forma detallada los resultados de la evaluación de impacto ambiental. Esta matriz se distribuye con la primera fila presentando los factores o indicadores ambientales con las diferentes subcategorías, y en la primera columna se despliegan cada una de las actividades realizadas en la ejecución del proyecto, señalando en cada celda de cruce una valoración final que describe magnitud e importancia del impacto. Por lo tanto, las actividades que afectan negativamente el factor ambiental se califican con signo (-) y con un valor de cero cuando la actividad no presenta un efecto significativo o esta no es de importancia para el indicador evaluado.

Como se puede observar en el cuadro resumen (Tabla 4.7) los principales factores afectados y los principales causantes o atenuantes. Entre los factores afectados negativamente se encuentran la flora, fauna, la calidad del aire, la contaminación por ruido y/o vibraciones y el paisaje; en cambio, los factores no serán afectados o bien beneficiados por las actividades son en general el suelo, la hidrología del sitio y la comunidad. El control y monitoreo ambiental en cada una de las fases destaca como la principal causa para mitigar las secuelas que pueda dejar el proyecto.

En específico, el factor con mayor puntaje negativo es la contaminación por ruido y/o vibraciones, en conjunto con la calidad del aire. Al tratarse de un proyecto geotécnico-vial, las perforaciones, el transporte de materiales y las operaciones con maquinarias contribuyen

directamente a la emisión de polvo, ruido y vibraciones. Este conjunto de factores deteriora la calidad del aire local, y pueden causar molestias a la comunidad y estresar la fauna circundante.

Tabla 4.7:

Resumen de la valoración de impactos sobre los diferentes factores ambientales

Factores ambientales	Carácter	Causa principal
Suelo	Positivo	Inspecciones y monitoreos de cada proceso de excavación y gestión de escorrentías.
Aguas superficiales	Positivo	Gestión de escorrentías y monitoreo ambiental.
Aguas subterráneas	Positivo	Inspecciones y pruebas durante cada proceso de excavación, y monitoreo ambiental.
Flora	Negativo	Desbroce y retirada de vegetación para preparación del terreno.
Fauna	Negativo	Excavación y uso de maquinarias.
Calidad del aire	Negativo	Perforaciones, transportes de materiales y operaciones con maquinarias.
Nivel de ruido y/o vibraciones	Negativo	Diversas operaciones con maquinarias.
Paisaje	Negativo	Desbroce y retirada de vegetación.
Uso del suelo (agrícola)	Positivo	Habilitación de línea férrea y monitoreos ambientales.
Comunidad local	Positivo	Uso de materiales locales y habilitación de la línea férrea.

4.6 Medidas de prevención/mitigación

En base a lo planteado por Conesa (1993) existen tres tipos de medias: protectoras, correctoras y compensatorias. Las cuales se definen de la siguiente manera:

- **Medidas protectoras:** Evitan que se produzcan los efectos al modificar los elementos definitorios de la actividad, tales como la tecnología, el diseño, la ubicación, la materia prima, entre otros.
- **Medidas correctoras:** Estas se aplican a impactos que pueden ser recuperados y se emplean para eliminar, reducir, corregir o modificar las acciones o efectos sobre: procesos productivos, condiciones de operación, factores ambientales como agentes transmisores o como agentes receptores, entre otros parámetros.
- **Medidas compensatorias:** Estas en cambio se aplican a impactos que no pueden ser recuperados y son inevitables. Aunque estas medidas no previenen la aparición del efecto compensan de alguna forma la alteración del factor.

En base a la matriz de evaluación de impactos se identifican los factores ambientales más afectados por las actividades del proyecto, y estos son: flora y fauna, calidad del aire, ruidos y vibraciones, y el paisaje. Una vez reconocidos estos se propone el siguiente Plan de Manejo Ambiental, constituido por 5 programas donde se establecen las medidas para proteger, mitigar o compensar los efectos posibles o impactos negativos que serán causados por las diferentes fases del proceso constructivo del proyecto. Estas medidas se detallan mediante las siguientes fichas.

Programa 1:

Gestión Integral de Residuos (Ordinarios, Orgánicos, Reciclables, Escombros y Peligrosos)

PROGRAMA 1	Gestión Integral de Residuos (Ordinarios, Orgánicos, Reciclables, Escombros y Peligrosos)
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none">- Segregar correctamente los residuos- Promover el reciclaje y la reutilización- Minimizar la generación de residuos- Disponer adecuadamente los residuos peligrosos
ETAPA	Preconstrucción, Construcción, Post-construcción
TIPO DE MEDIDA	Protectora/Compensatoria

IMPACTOS A MANEJAR

- Contaminación del suelo y cuerpos de agua
 - Riesgos para la salud humana
 - Degradación del paisaje
 - Emisión de gases y olores desagradables
 - Incomodidades a la comunidad
-

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

Clasificación de los residuos sólidos:

Residuos sólidos ordinarios: Estos son los residuos que no requieren de algún tratamiento especial y pueden ser entregados a la empresa recolectora en las mismas condiciones de residuos domésticos.

Residuos orgánicos: Estos son los residuos biodegradables de origen vegetal o animal.

Residuos reciclables: Son aquellos que pueden ser utilizados o transformados, por lo general en las obras estos residuos suelen ser: papel, cartón, plástico, vidrio y metal.

Residuos escombros: Son residuos de construcción y demolición inertes (RCD): materiales de construcción, ladrillos, agregados, etc.

Manejo de residuos ordinarios y orgánicos:

- Colocar contenedores específicos para residuos ordinarios y orgánicos, en ubicaciones estratégicas.
 - Asegurar la recolección regular de residuos para evitar acumulaciones.
 - Instruir a todo el personal de la obra sobre la obligatoriedad de depositar los residuos en los contenedores según su clasificación y no dejar residuos en otras áreas.
-

-
- Realizar una limpieza diaria de la zona donde se realiza la obra.

Manejo de residuos reciclables:

- Establecer puntos de reciclaje en el sitio de construcción.
- Capacitar al personal sobre la importancia del reciclaje y los tipos de materiales reciclables.

Manejo de residuos de escombros:

- Designar áreas específicas para la acumulación temporal de escombros.
- Promover la reutilización de escombros en otras fases del proyecto o en otros proyectos.
- Las bases granulares serán llevados a una planta de reciclaje en caso de existir. En caso de no existir serán llevados a una escombrera autorizada.
- La madera, metales y otros reciclables serán entregados a entidades recicladoras.
- Si se requiere de la ubicación de patios de almacenamiento temporal para el material reciclable de excavación, el sitio elegido debe estar provisto de canales perimetrales con respectivas estructuras para el control de sedimentos, dándoles a este sedimento el mismo tratamiento dado a los escombros.

RESPONSABLES

Contratista de Obra (Director de Obra), Ingeniero Residente, Interventoría (Residente de Interventoría, Ingeniero residente ambiental)

Programa 2:

Control de Emisiones Atmosféricas

PROGRAMA 2	Control de Emisiones Atmosféricas
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> - Controlar la generación de polvo - Disminuir afectaciones a la salud - Mitigar la alteración de la calidad del aire - Controlar la generación de ruido
ETAPA	Preconstrucción, Construcción
TIPO DE MEDIDA	Protectora/Correctora

IMPACTOS A MANEJAR

-
- Alteración de la calidad del aire
 - Emisión de partículas y gases
 - Generación de ruido
 - Alteración del paisaje
 - Incomodidades a la comunidad
-

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

- Proteger las fuentes de polvo y emisiones durante la manipulación de materiales.
- Mantener húmedas las áreas de trabajo para controlar la generación de polvo.
- Para tiempo seco (días de no lluvia) se debe controlar las actividades de construcción que generan gran cantidad de polvo, regando las áreas de trabajo con agua por lo menos 2 veces al día.
- Conservar con una humedad suficiente los materiales generados en excavaciones y cortes, para evitar que se levante polvo y mantener cubiertos.
- La velocidad de las volquetas y maquinaria no debe superar los 20 km/h dentro del frente de obra con el fin de disminuir las emisiones fugitivas y los accidentes en el área de influencia directa.
- Inspeccionar que los vehículos que cargan y descargan materiales dentro de las obras estén acondicionados con carpas o lonas para cubrir los materiales.
- Todos los vehículos que carguen y descarguen materiales en la obra deben de contar con el respectivo certificado de emisiones de gases vigente.
- Proporcionar periódicamente mantenimiento adecuado a los equipos y maquinaria que son usados en las diferentes actividades de las obras.

RESPONSABLES

Contratista de Obra (Director de Obra), Ingeniero Residente, Interventoría (Residente de Interventoría, Ingeniero residente ambiental)

Programa 3:

Control de Ruidos y Vibraciones

PROGRAMA 3	Control de Ruidos y Vibraciones
OBJETIVOS	- Minimizar la generación de ruido - Reducir las vibraciones generadas por la construcción
ETAPA	Preconstrucción, Construcción
TIPO DE MEDIDA	Protectora/Correctora
IMPACTOS A MANEJAR	

- Emisión de ruido
- Generación de vibraciones
- Incomodidades a la comunidad

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

- Utilizar maquinaria y equipos con certificación de baja emisión sonora.
- Para decibeles mayores a los 80 o cuando se vayan a generar grandes vibraciones, procurar realizar estas actividades en jornadas diurnas y durante tiempos cortos.
- Para grandes ruidos y por periodos prolongados utilizar intervalos de descanso de alrededor de 2 horas o utilizar equipos insonorizados.
- Se debe advertir a la comunidad antes de realizar cualquier tipo de ruido o vibraciones que puedan afectar, para que esta pueda tomar las medidas de precaución necesarias.
- Durante trabajos que produzcan grandes ruidos el personal está en la obligación de usar equipos de protección auditiva.
- Los vehículos no pueden hacer uso de las bocinas, cornetas o claxon a menos que sea requerido o en casos de emergencia.
- Establecer un único horario para el cargue y descargue de materiales, con el fin de que la comunidad planee sus actividades de acuerdo con esto.

RESPONSABLES

Contratista de Obra (Director de Obra), Ingeniero Residente, Interventoría (Residente de Interventoría, Ingeniero residente ambiental)

Programa 4:

Manejo de la Vegetación y del Paisaje

PROGRAMA 4	Manejo de la Vegetación y del Paisaje
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> - Conservar la vegetación existente - Minimizar el impacto visual del proyecto - Garantizar el mínimo impacto al componente arbóreo y vegetal
ETAPA	Preconstrucción, Construcción, Post-construcción
TIPO DE MEDIDA	Protectora/Correctora/Compensatoria

IMPACTOS A MANEJAR

- Pérdida de vegetación
 - Alteración del paisaje
-

- Deterioro de la capa orgánica del suelo
- Contaminación del suelo
- Reducción de las zonas verdes

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

- Realizar un inventario de la vegetación existente antes de iniciar las obras.
- Establecer áreas de protección para conservar la vegetación nativa.
- En caso de poda de árboles, tratar los cortes de los árboles con cicatrizante hormonal.
- Integrar el proyecto en el entorno mediante un diseño paisajístico armonioso.
- Se debe desinstalar todas las instalaciones temporales, de modo que se recupere estas zonas.
- No se pueden mezclar los residuos silviculturales con escombros u otros residuos ordinarios. Estos deben ser tratados de forma especial y en zonas autorizadas para su disposición.
- La operación de maquinarias en zonas cercanas al sitio de implantación debe ser con extremo cuidado de no dañar la flora circundante.
- El personal debe estar capacitado sobre el tipo de flora y fauna circundante y como cuidar y respetar esta.

RESPONSABLES

Contratista de Obra (Director de Obra), Interventoría (Residente de Interventoría, Ingeniero residente ambiental)

Programa 5:

Manejo de Fauna y Conservación de Hábitats

PROGRAMA 5	Manejo de Fauna y Conservación de Hábitats
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger los hábitats naturales - Minimizar el impacto visual del proyecto - Garantizar el mínimo impacto al componente arbóreo y vegetal
ETAPA	Preconstrucción, Construcción, Post-construcción
TIPO DE MEDIDA	Protectora/Correctora/Compensatoria

IMPACTOS A MANEJAR

-
- Pérdida de hábitats
 - Desplazamiento de fauna
 - Alteración de ecosistemas
-

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

- Realizar un inventario detallado de la fauna existente en el área del proyecto.
 - Identificar y proteger hábitats críticos para la fauna.
 - Crear corredores ecológicos para facilitar el desplazamiento de fauna.
 - Monitorear la fauna durante y después de la construcción.
 - Realizar charlas o talleres sobre concienciación sobre la biodiversidad del ecosistema del Vallo di Diano.
 - No se podrá utilizar parlantes u otro tipo de amplificador con música, de modo que no se perturbe la fauna del lugar.
 - Las maquinarias y automóviles que lleven silenciadores deben estar bajo inspección para garantizar que estas operen con un bajo nivel sónico.
 - Queda determinantemente prohíbe la caza de cualquier tipo de fauna silvestre presente en la zona.
 - El personal debe rescatar las especies de animales que se vean afectadas por cualquier trabajo de la obra. Este rescate está enfocado en nidos de aves y crías de las diferentes especies.
 - Los bosques que sea fuertemente alterados deben ser restaurados, por lo que se deben dejar los remanente para a partir de estos poder conservar la conectividad biológica.
-

RESPONSABLES

Contratista de Obra (Director de Obra), Ingeniero Residentes, Interventoría (Residente de Interventoría, Ingeniero residente ambiental), obreros en general.

CAPÍTULO 5

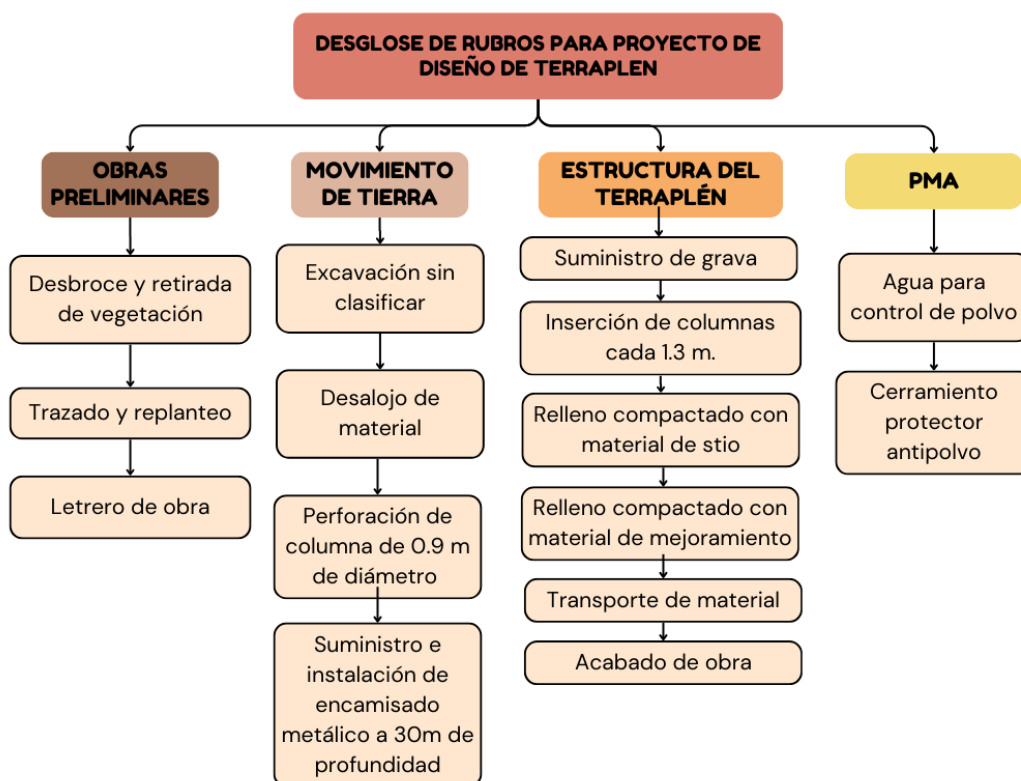
5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

La estructura desglosada de trabajo (EDT) es una herramienta indispensable de gestión de proyectos, ya que permite definir y descomponer en niveles según las actividades del proyecto. Esta metodología maneja una estructura jerárquica que desglosa actividades complejas en otras más detalladas con el objetivo de facilitar la planificación y ejecución de este en el tiempo estimado. A continuación, se presenta la estructura de desglosada de trabajo EDT (Figura 5.1) propuesto para el presente proyecto, considerando las categorías del presupuesto referencial.

Figura 5.1:

Desglose de rubros para proyecto de diseño de terraplén



5.2 Rubros y análisis de precios unitarios (fusión)

Los rubros del proyecto se descomponen en 4 categorías.

- 1. Obras preliminares:** Se centra en los trabajos que deben ejecutarse antes de la construcción para proteger el terreno de este. Abarca desde desbroce y retirada de la vegetación existente hasta el letrero de obra.
- 2. Movimiento de tierras:** Comprende la fase de proyecto de construcción en la cual se realizan acciones sobre el terreno con maquinarias o de forma manual. Los rubros asignados para este capítulo son la excavación y el desalojo de material, estos nos permiten preparar el terreno para los respectivos cimientos.
- 3. Estructura del terraplén:** Se enfoca en la construcción del proyecto de manera detallada. Tiene como objetivo satisfacer las necesidades de los beneficiarios e incrementar la calidad de vida del lugar de ejecución del proyecto. Comprende en los rubros utilizados para la construcción del terraplén.
- 4. Plan de manejo ambiental:** Los rubros asignados contienen las suficientes medidas ambientales para prevenir, controlar y mitigar los futuros impactos ambientales generados por la ejecución de la obra.

Los análisis de precios unitarios utilizados en este presupuesto se obtuvieron directamente de los índices de precios regionales Emilia Romagna, región análoga al área de estudio. Los análisis de precios unitarios APU detallados de cada rubro se presentan en los anexos adjuntos (Anexo A: Análisis de precios unitarios).

5.3 Descripción de cantidades de obra

La cuantificación de los rubros se realizó según los materiales y/o actividades especificadas en cada APU. Las cantidades de cada rubro se obtuvieron en base al diseño de las columnas de grava, donde se tomaron las dimensiones de cada parte de la obra según los planos del proyecto. Estas se encuentran detalladas en la sección de Anexos (Anexo B: Volumen de obra).

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

Este tipo de proyectos de vías de alta velocidad son financiados por un Fondo Europeo de inversión, por medio del Ministerio de Infraestructuras Sostenibles y Movilidad, los representan un costo aproximado de 4.6 a 9 miles de millones de euros. (Italiano, 2022)

Con los APUs y volúmenes de obra para cada rubro, se determina el costo por kilómetro del proyecto, este es de 15,508,822.89 €/km. Considerando que la vía de alta velocidad que conecta a estas dos regiones es de 37 km.

OBJETO DEL PROCESO: DISEÑO DE TERRAPLENES SOBRE SUELOS COMPRESIBLES PARA LA LÍNEA FERROVIARIA DE ALTA VELOCIDAD SALERNO-REGGIO CALABRIA EN ITALIA

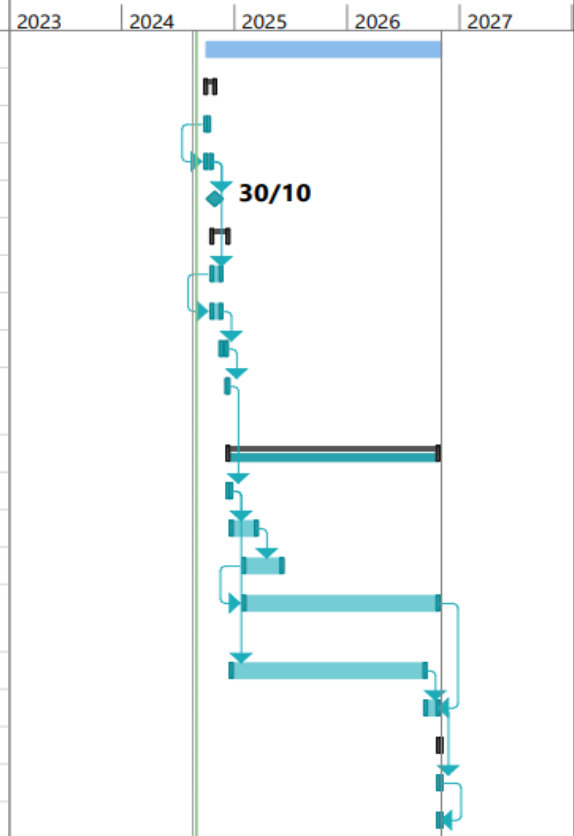
PLAZO: 180 DÍAS

N°	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	OBRAS PRELIMINARES				€ 43.174,60
1,1	Desbroce y retirada de vegetación	m2	60000	€ 0,43	€ 25.800,00
1,2	Trazado y replanteo	m	2120	€ 8,15	€ 17.278,00
1,3	Valla temporal de obra	m	60	€ 1,61	€ 96,60
2	MOVIMIENTO DE TIERRA				€ 6.441.529,13
2,1	Excavación sin clasificar	m3	60000	€ 8,16	€ 489.600,00
2,2	Desalojo de material	m3-km	5173609,34	€ 1,15	€ 5.949.650,74
2,3	Perforación de columna de 0.9 m de diámetro	m3	19,0851754	€ 101,34	€ 1.934,09
2,4	Suministro e instalación de encamisado metálico a 30m de profundidad	u	5	€ 68,86	€ 344,30
3	ESTRUCTURA DEL TERRAPLÉN				€ 8.585.035,15
3,1	Suministro de grava	m3	114,511052	€ 12,85	€ 1.471,47

3,2	Inserción de columnas cada 1,3 m	u	27108	€	€
				54,00	1.463.832,00
3,3	Relleno compactado con material de sitio	m3	60000	€	€
				10,16	609.600,00
3,4	Relleno compactado con material de mejoramiento	m3	334000	€	€
				18,00	6.012.000,00
3,5	Transporte de material	m2	60114,5111	€	€
				1,15	69.131,69
3,6	Acabado de obra	m2	60000	€	€
				7,15	429.000,00
4	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				€
					439.084,00
4,1	Agua para control de polvo	m3	16700	€	€
				4,52	75.484,00
4,2	Cerramiento protector antipolvo	m2	60000	€	€
				6,06	363.600,00
VALOR TOTAL:					€
					15.508.822,89

5.5 Cronograma de obra

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin					
						2023	2024	2025	2026	2027
1		DISEÑO DE TERRAPLÉN	546 días	mar 1/10/24	mar 3/11/26					
2		Obras preliminares	21 días	mar 1/10/24	mié 30/10/24					
3		Desbroce y retirada de vegetación	7 días	mar 1/10/24	mié 9/10/24					
4		Trazado y replanteo	14 días	mar 1/10/24	vie 18/10/24					
5		Valla temporal de obra	0 días	mié 30/10/24	mié 30/10/24					
6		Movimiento de tierras	38 días	lun 21/10/24	mié 11/12/24					
7		Excavación sin clasificar	21 días	lun 21/10/24	lun 18/11/24					
8		Desalojo de material	21 días	lun 21/10/24	lun 18/11/24					
9		Perforación de columna de 0.9 m de diame	14 días	mar 19/11/24	vie 6/12/24					
10		Suministro e instalación de encamisado metálico a 30m de profundidad	3 días	lun 9/12/24	mié 11/12/24					
11		Estructura del terraplen	487 días	jue 12/12/24	vie 23/10/26					
12		Suministro de grava	7 días	jue 12/12/24	vie 20/12/24					
13		Inserción de columnas cada 1,3 m	60 días	lun 23/12/24	vie 14/3/25					
14		Relleno compactado con material de sitio	90 días	sáb 1/2/25	jue 5/6/25					
15		Relleno compactado con material de mejoramiento	450 días	lun 3/2/25	vie 23/10/26					
16		Transporte de material	450 días	lun 23/12/24	vie 11/9/26					
17		Acabado de obra	30 días	lun 14/9/26	vie 23/10/26					
18		Plan de manejo ambiental	7 días	lun 26/10/26	mar 3/11/26					
19		Agua para control de polvo	7 días	lun 26/10/26	mar 3/11/26					
20		Cerramiento protector antipolvo	7 días	lun 26/10/26	mar 3/11/26					



Proyecto: Diseño de terraplenes. Autores: Katherine Viera - Carla Santos Fecha: vie 30/8/24	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El diseño de esta nueva estructura ferroviaria representa un importante desafío geotécnico, en específico con los asentamientos que grandes estructuras, como los terraplenes, pueden generar en especial en suelo blandos. Por lo que, por medio de los datos recibidos de ensayos edométricos, CPT y DMT, de la campaña geotécnica realizada previamente, se analizó el suelo in situ. Mediante estos se revelaron características críticas del suelo en las diferentes profundidades.

Los ensayos edométricos mostraron que los suelo presentan una tendencia significativa al hinchamiento, especialmente en las capas más profundas. Este comportamiento se asocia con la salinidad del suelo, que influye en su capacidad para absorber el agua y modificar su volumen, lo que podría tener un impacto directo en la estabilidad y asentamiento del terreno durante la construcción. Adicionalmente, se evaluaron otras características del suelo como su coeficiente de consolidación, modulo edométrico, relación de vacíos, etc.

En base a los resultados obtenidos de los ensayos se realizó la calibración del modelo Soft Soil Creep utilizado. Se evidenció que, para replicar de manera precisa los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, fue necesario ajustar los parámetros fundamentales del modelo como los módulos de compresión e hinchamiento modificados, mediante la curva de compresión del ensayo edométrico; y el índice de fluencia modificado junto con la permeabilidad, mediante la curva de asentamientos versus logaritmo de tiempo realizada también a partir de los resultados del ensayo de compresión. Estos ajustes se redefinieron cada uno de los parámetros mencionados, para una simulación más fiel a las características del suelo in situ.

Una vez calibrado el modelo en Plaxis, se definieron las diferentes fases de construcción, en cada fase se definió el tiempo requerido de asentamiento. Con una primera simulación sin

columnas donde se obtuvo asentamientos de 17.13 cm para una etapa de construcción de 160 días en total, y de 16.16 cm para 460 días de construcción. Con esta simulación preliminar se conoce que los asentamientos a largo plazo, para un suelo sin tratamiento geotécnico adicional, presentan asentamientos máximos de 12 cm, extendiendo las fases de consolidación hasta alcanzar 10 años de demora en la etapa de construcción, dando lugar a la consideración de una mejora del suelo mediante el diseño de columnas de gravas.

En el diseño de columnas se evaluó la configuración de malla más favorable, así como el diámetro requerido óptimo. El diseño fue evaluado y validado, a través de simulaciones en PLAXIS 2D. Los resultados de las simulaciones mostraron que la propuesta más viable es con un tiempo de construcción final de terraplén de 460 días, para tener un asentamiento a largo plazo de 6.17 cm, con un comportamiento del suelo dentro de los límites aceptables de estabilidad, aun así, no cumpliendo con la normativa italiana la cual sugiere asentamientos no mayores a 5 cm.

Por otro lado, se han identificado diversos impactos ambientales derivados de las diferentes fases del proyecto: reconstrucción, construcción y operación del proyecto. Los impactos principales influyen directamente en la flora y fauna, calidad del aire, generación de ruidos y vibraciones y cambios o alteración del paisaje. En base a esto, se proponen un total de 5 programas de manejo ambiental, cada uno con un enfoque específico en aspectos como la gestión integral de residuos, control de emisiones atmosférica, manejo de fauna y conservación de hábitats.

Dichos programas se enfocan en diferentes tipos de medidas de protección, corrección y compensación, tales como la segregación adecuada de residuos, establecimiento de puntos de reciclaje, control de generación de polvo y ruido, protección de hábitats críticos, y creación de corredores ecológicos para facilitar el desplazamiento de fauna. Adicionalmente, se enfatiza en el constante monitoreo de los impactos ambientales durante y después de la construcción, así

como la realización de talleres de educación ambiental para trabajadores y la comunidad en general para concienciar sobre la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas.

En lo respectivo a los costos, se procuró durante el diseño la optimización de los costos a través de la precisión en el diseño, posible gracias a las simulaciones geotécnicas en Plaxis y una calibración previa del modelo. Aunque la implementación de medidas de mitigación ambiental incrementa los costos iniciales, estas acciones evitan posibles futuras sanciones y sobrecostos, asegurando un control eficiente del presupuesto. Adicional, se reveló que la estructura del terraplén requiere la mayor inversión, acaparando el 55% del costo total del proyecto. Por tanto, representa el componente más relevante en términos de inversión.

Con un presupuesto referencial total para el proyecto de 15.5 millones de euros, considerando que para este tipo de proyectos de vías ferroviarias de alta velocidad la inversión se utiliza de un fondo europeo, el cual para proyectos análogos abarca desde los 4.6 a los 9 miles de millones de euros.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar más ensayos en las diferentes condiciones del suelo en capas más profundas o zonas que no han sido estudiadas, para un mejor análisis del comportamiento general del suelo de la vía. Esto permite mejorar la calibración del programa y las simulaciones se pueden replicar para otros tramos de la vía con estratigrafías menos homogéneas.
- Se recomienda complementar la mejora del suelo realizada con columnas de grava mediante la implementación de geotextiles y un proceso de precarga, con el objetivo de reducir los asentamientos a largo plazo y alcanzar la meta de 5 cm que no fue posible lograr únicamente con las columnas de grava.
- Para futuras ampliaciones o modificaciones de la vía, se recomienda considerar los resultados de estas simulaciones para evitar problemas de estabilidad o asentamientos no

deseados, considerando especialmente el área abarcada por las columnas de gravas y respetando la configuración previa.

- La implementación rigurosa de los diferentes programas de manejo ambiental es crucial, cada responsable debe garantizar el cumplimiento de estas para lograr la reducción de impacto ambiental esperado.
- La involucración de la comunidad en las actividades de monitoreo y educación ambiental es crucial para fomentar el sentido de responsabilidad compartida y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.
- Si bien el Estudio de Impacto Ambiental involucra medidas a largo plazo, la revisión y actualización periódica de este es de suma importancia para contemplar nuevas condiciones del sitio o modificaciones dentro del alguna fase del proyecto, así como, para incorporar nuevos conocimientos y tecnologías que puedan surgir, con esto se garantiza la mejora continua en la gestión de impactos ambientales.

7. REFERENCIAS

- Adrian Herrera, S. Q. (2015). *Elementos que participan en la construcción de una carretera*.
Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/18051/Capitulo5.pdf>
- Alarcón, D. M. (2012). *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS: APLICACION AL TERRAPLEN DE ENTRADA VIADUCTO DE MAS RUBIO*. Cataluña.
- Alonso, J., & Jimenez, R. (Enero de 2014). Diseño basado en técnicas de fiabilidad del tratamiento de mejora del terreno mediante columnas de grava. *Tesis Doctoral*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Barksdale, R. D., & Bachus, R. C. (1983). *Design and construction of stone columns* (Vol. I). United States. Obtenido de Design and construction of stone columns
- Bentley. (Julio de 2024). *PLAXIS 2D: Geotechnical Engineering Software, Bentley Systems*.
Obtenido de Bentley Systems: Infrastructure Engineering Software Company: <https://es-la.bentley.com/software/plaxis-2d/>
- Bentley. (s.f.). *PLAXIS Version 8 Material Models Manual*.
- Bersan, S., Cola, S., Simonini, P., Gottardi, G., & Tonni, L. (2012). Secondary Compression of Venice Lagoon Sands and Silts from CPTU. *4th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC'4)*, 4, págs. 383-389.
- Botero, E., Ovando, E., & Mendoza, M. J. (Enero de 2020). Successful prediction of slope failure in an excavation trial. *Engineering Failure Analysis*(109). doi:104392
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design* (Quinta ed.). McGraw-Hill.
- Canter, L. W. (1998). *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto*. Madrid: McGraw-Hill.
- Castro, J. (2008). Análisis teórico de la consolidación y deformación alrededor de columnas de grava. *Tesis Doctoral*. Santander: Universidad de Cantabria.

- Castro, J. (2020). Avances en el diseño y cálculo de columnas de grava. Parte I: Ejemplo de cálculo. *Informes de la Construcción*, 72, 560, e362. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.71911>
- Castro, J., & Sagaseta, C. (October de 2008). Consolidation around stone columns. Influence of column deformation. *Wiley InterScience*. doi:DOI: 10.1002/nag.745
- Cola, S., Ceccato, F., Mangraviti, V., & Folin, F. (2024). *Realizzazioni di linee guida per la stima dei cedimenti dei rilevati ferroviari nell'ambito della Progettazione di Fattibilità Tecnico Economica della Nuova Linea AV Salerno - Reggio Calabria Lotto 1b-1c Romagnano - Praia*. Rapporto Tecnico, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Padova. Recuperado el 24 de Mayo de 2024
- Conesa, F. V. (1993). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 276. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante & Mundi-prensa.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (Séptima ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentals of Geotechnical Engineering* (Cuarta ed.). (J. León Cárdenas, Trad.) México D.F.: CENGAGE Learning.
- Davis, T. (2008). *Geotechnical Testing, Observation, and Documentation* (Segunda ed.). American Society of Civil Engineers (ASCE). doi:10.1061/9780784409497
- Di Maio, C., & Vassallo, R. (2011). Geotechnical Characterization of a Landslide in a Blue Clay Slope. *Landslides*, 8, 17-32.
- Esmaeili, M., Naderi, B., Neyestanaki, H. K., & Khodaverdian, A. (2018). Investigating the effect of geogrid on stabilization of high railway embankments. *Soil and Foundations* 58, 319-332. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.02.005>
- Esrig, M. I. (1991). *Deep foundation improvements: design, construction, and testing* (Vol. 1089). ASTM International.
- Geopier. (2021). X1 System. Obtenido de <https://www.geopier.com/solutions/rammed-aggregate-pier-systems/x1-system>

- González Rodríguez, R. A., Mánica, M., & Ovando-Shelley, E. (Marzo de 2021). Simulación de un terraplén en suelo blando con un modelo constitutivo anisótropo dependiente del tiempo. En S. M. A.C. (Ed.), *XXX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica*. México.
- Holtz, R. D., Christopher, B. R., & Berg, R. R. (April de 1998). *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*. (13213), No. FHWA HI-95-038. Washington, D.C.
- ISO 22476-1. (2022). *Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1: electrical cone and piezocone penetration test*.
- ISO 22476-12. (2009). *Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM)*.
- Italiano, G. (13 de 01 de 2022). *Linea Amica*. Obtenido de <https://lineaamica.gov.it/news-e-multimedia/news/d/2022/01/13/alta-velocit%C3%A0-i-progetti-del-mims-per-unire-l-italia#:~:text=Il%20costo%20totale%20dell%E2%80%99investimento%20%C3%A8,%20di%204.64%20miliardi%20di%20euro>.
- Keller Group plc. (9 de Agosto de 2021). Jaguar Land Rover. Obtenido de <https://www.keller.com/projects/jaguar-land-rover>
- Koerner, R. M. (1995). *Designing with Geosynthetics* (Quinta ed.). Prentice Hall.
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). *Manual on estimating soil properties for foundation design* (No. EPRI-EL-6800). Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, USA; Cornell University, Ithaca, NY, USA, Geotechnical Engineering Group.
- Lacasse, S., & Lunne, T. L. (1988). Calibration of Dilatometer Correlations. *Penetration Testing 88, ISOPT-1* (págs. 539-548). Rotterdam: Balkema.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1991). *Mecánica de suelos*. Mexico: Limusa S.A De C.V.
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsey, J. E. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. U.S. Geological Survey Circular 645. Washington D.C.

- López-Acosta, N. P., Espinosa-Santiago, A. L., Pineda-Núñez, V. M., Ossa, A., Mendoza, M. J., Ovando-Shelley, E., & Botero, E. (2019). Performance of a test embankment on very soft clayey soil improved with drain-to-drain vacuum preloading technology. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(5), 618-631.
- Marchetti, S. (1980). In Situ Tests by Flat Dilatometer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 106(GT3), 299-321.
- Mayne, P. W. (2007). *Cone Penetration Testing*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:<https://doi.org/10.17226/23143>
- Mesasol . (2022). *Mesasol* . Obtenido de <https://mesasol.es/la-importancia-de-la-construccion-del-terraplen/>
- Ministerio de Obras Públicas de Chile. (2018). *Manual de Carreteras Volumen 2*. Chile.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Libro A Norma para Estudios y Diseño Viales* (Vol. 2). Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Moreno, C. A., Pérez, S., & Sifuentes, N. (2015). Estabilización de Suelos Blandos con Geosintéticos. *From Fundamentals to Applications in Geotechnics*, 236. doi:10.3233/978-1-61499-603-3-236
- Ossa, A., Botero, E., Madrigal, M. C., Ovando-Shelley, E., Mendoza, M. J., & López-Acosta, N. P. (2019). Performance of a pavement foundation system based on the partial compensation of masses method. *Soils and Foundations*, 59(2), 351-366.
- PLAXIS 2D, T. M. (07 de mayo de 2024). *Bentley Advancing Infrastructure*. Obtenido de https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article_view&sysparm_article=KB0107989

- RFI. (30 de Junio de 2011). *La rete oggi: Rete Ferroviaria Italiana*. Recuperado el 22 de Mayo de 2024, de RFI Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane:
<https://web.archive.org/web/20111204091124/http://www.rfi.it/cms/v/index.jsp?vnextoid=25bc8c3e13e0a110VgnVCM10000080a3e90aRCRD>
- Robertson, P. K. (2009). Interpretation of cone penetration tests—a unified approach. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(11), 1337-1355. doi:10.1139/T09-065
- Robertson, P. K. (2012). Interpretation of In-Situ Tests – Some Insights. *Mitchell Lecture, 4th International Conference on Site Characterization (ISC'4)*. Brasil.
- Sagasetta, C. (2006). Avances en el diseño de las técnicas de mejora del terreno. *6ª Sesión Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS*, 13-26.
- Sakleshpur, V. A., Prezzi, M., & Salgado, R. (2018). Ground Engineering Using Prefabricated Vertical Drains: A Review. *Geotechnical Engineering J. SEAGS & AGSSEA*, 49(1), 45-64.
- Sanglerat, G. (1972). *The Penetrometer and Soil Exploration*. Ámsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Schneider, J. A., Randolph, M. F., Mayne, P. W., & Ramsey, N. R. (2008). Analysis of factors influencing soil classification using normalised piezocone tip resistance and pore pressure parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(11), 1569-1586. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:11(1569)
- Servicio Nacional de Contratación Pública. (2023). *Servicio Nacional de Contratación Pública*. Obtenido de <https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/>
- Sociedad Colombiana de Ingenieros. (1993). Manual de gestión ambiental. *1*, 154.
- UNESCO. (s.f.). *Cilento and Vallo di Diano*. Obtenido de UNESCO:
<https://www.unesco.org/en/mab/cilento-and-vallo-di-diano>

Vermeer, P. A., & Neher, H. P. (1999). A soft soil model that accounts for creep. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*.

Vinoth, M., & Pulikanti, S. (2018). Performance Analysis of PLAXIS Modelsof Stone Columns in Soft Marine Clay. 7.

ANEXOS

**ANEXOS A: ANÁLISIS DE
PRECIOS UNITARIOS**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OFERENTE:	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	1,1				UNIDAD:	m2
RUBRO:	Desbroce y retirada de vegetación				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
					SUBTOTAL M	€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
					SUBTOTAL N	€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Preparación de áreas en general para la remoción de municiones de guerra incluyendo la erradicación de pasto arbustos, vegetación en general y raíces, la tala de árboles pequeños		m2	1,00	€ 0,36	€ 0,36	
					SUBTOTAL O	€ 0,36
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			€	0,36
		INDIRECTOS Y UTILIDADES			20%	€ 0,07
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			€	0,43
		VALOR DEL RUBRO			€	0,43

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO							
OFERENTE:	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia						
COD. RUBRO:	1,2				UNIDAD:	m	
RUBRO:	Trazado y replanteo				RENDIMIENTO:	0,357	
CARGA Y TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
					SUBTOTAL M	€ -	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
					SUBTOTAL N	€ -	
MATERIAL							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Levantamientos geoelectricos con al menos 32 electrodos		m	1,00	€ 6,79	€ 6,79		
					SUBTOTAL O	€ 6,79	
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			€	6,79	
		INDIRECTOS Y UTILIDADES			20%	€ 1,36	
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			€	8,15	
		VALOR DEL RUBRO			€	8,15	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	1,3				UNIDAD:	m
RUBRO:	Valla temporal de obra				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M						€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Valla temporal de obra Montaje en obra y posterior desmontaje y retirada al final de las obras.	m	1,00	€ 1,34	€ 1,34		
SUBTOTAL O						€ 1,34
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		€ 1,34
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	€ 0,27
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		€ 1,61
				VALOR DEL RUBRO		€ 1,61

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	2,1				UNIDAD:	m3
RUBRO:	Excavación sin clasificar				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M						€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Excavacion realizada con medios mecanicos en rocas sueltas (arcilla, arena, grava, tierra vegetal y similares) de hasta 2 m	m3	1,00	€ 6,80	€ 6,80		
SUBTOTAL O						€ 6,80
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		€ 6,80
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	€ 1,36
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		€ 8,16
				VALOR DEL RUBRO		€ 8,16

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	2,2			UNIDAD: m3-km		
RUBRO:	Desalajo de material			RENDIMIENTO: 0,357		
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Transporte a residuos o a una planta de valorización adecuada del material procedente de obras de movimiento de tierra hasta 10 km	m3-km	1,00	€ 0,96	€ 0,96		
SUBTOTAL M				€ 0,96		
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N					€ -	
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL O				€ -		
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	€ 0,96		
			INDIRECTOS Y UTILIDADES	20% € 0,19		
			COSTO TOTAL DEL RUBRO	€ 1,1520		
			VALOR DEL RUBRO	€ 1,15		

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	2,3			UNIDAD: m3		
RUBRO:	Perforación de columna de 0.9 m de diametro			RENDIMIENTO: 0,357		
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
SUBTOTAL M				€ -		
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Perforación vertical realizada para destruir el núcleo, con un diámetro de 85 a 145 cm, incluido el examen de corte, para perforaciones de pequeña profundidad: en suelos de grano fino como arcillas, limos, limos arenosos, tobas no pétreas, etc. de 0 ma 40 m desde el nivel del suelo	m	1,00	€ 84,45	€ 84,45		
SUBTOTAL O				€ 84,45		
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	€ 84,45	
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	€ 16,89
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	€ 101,34	
				VALOR DEL RUBRO	€ 101,34	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	2,4		UNIDAD:	u		
RUBRO:	Suministro e instalación de encamisado metálico a 30m de profundidad		RENDIMIENTO:	0,357		
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M				€ -		
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Tuberías de polietileno reforzadas con acero diámetro interior 900 mm incluidas las piezas especiales y todos los costos de instalación	m	0,17	€ 344,28	€ 57,38		
SUBTOTAL O				€ 57,38		
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	€ 57,38	
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	€ 11,48
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	€ 68,86	
				VALOR DEL RUBRO	€ 68,86	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	3,1				UNIDAD:	m3
RUBRO:	Suministro de grava				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M						€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Grava 40-70 mm material reciclado	m3	1,00	€ 10,71	€	10,71	€ 10,71
SUBTOTAL O						€ 10,71
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		€	10,71
			INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	€	2,14
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		€	12,85
			VALOR DEL RUBRO		€	12,85

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	3,2				UNIDAD:	u
RUBRO:	Inserción de columnas cada 1,3 m				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M						€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Insercion de grava gruesa o guijarros de 20- 30 cm de espesor, incluida la aproximación delmaterial, esparcimiento y compactación también realizados con la ayuda de medios mecánicos	m3	1,00	€ 45,00	€	45,00	€ 45,00
SUBTOTAL O						€ 45,00
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		€ 45,00
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	€ 9,00
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		€ 54,00
				VALOR DEL RUBRO		€ 54,00

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO							
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia						
COD. RUBRO:	3,3			UNIDAD: m3			
RUBRO:	Relleno compactado con material de sitio			RENDIMIENTO: 0,025			
CARGA Y TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO			
EXCAVADORA INCLUYENDO OPERADOR, COMBUSTIBLE Y LUBRICANTE: PESO DA 13 A 17,9 T	HORA	0,10	€ 82,48	€ 8,25			
SUBTOTAL M				€ 8,25			
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
OPERARIO COMUN	Hora	1,00	8,73	\$8,73	0,0250	€ 0,22	
SUBTOTAL N						€ 0,22	
MATERIAL							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO			
SUBTOTAL O							€ -
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	\$8,47000		
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	\$1,69400	
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$10,16400		
				VALOR DEL RUBRO	\$10,16		

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	3,4				UNIDAD:	m3
RUBRO:	Relleno compactado con material de mejoramiento				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M						€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Relleno material árido como A1, A2-4, A2-5, A3 procedente de canteras o de una planta de recuperación adecuada	m3	1,20	€ 12,50	€	15,00	
SUBTOTAL O						€ 15,00
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			\$15,00000
			INDIRECTOS Y UTILIDADES		20%	\$3,00000
			COSTO TOTAL DEL RUBRO			\$18,00000
			VALOR DEL RUBRO			\$18,00

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	3,5				UNIDAD:	m3-km
RUBRO:	Transporte de material				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Transporte de material hasta 10 km	m3-km	1,00	€ 0,96	€ 0,96		
SUBTOTAL M						€ 0,96
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL O						€ -
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$0,96000	
			INDIRECTOS Y UTILIDADES		20%	\$0,19200
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$1,15200	
			VALOR DEL RUBRO		\$1,15	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	3,6				UNIDAD:	m2
RUBRO:	Acabado de obra				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M						€ -
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Limpieza viaria, mediante retirada de material depositado	m2	1,00	€ 5,96	€ 5,96		
SUBTOTAL O						€ 5,96
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$5,96000
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	\$1,19200
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$7,15200
				VALOR DEL RUBRO		\$7,15

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	4,1				UNIDAD:	m3
RUBRO:	Agua para control de polvo				RENDIMIENTO:	0,357
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE CAPACIDAD 100L	hora	0,05	€ 75,36	€ 3,77		
SUBTOTAL M						€ 3,77
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL O						€ -
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$3,77000	
			INDIRECTOS Y UTILIDADES		20%	\$0,75400
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$4,52400	
			VALOR DEL RUBRO		\$4,52	

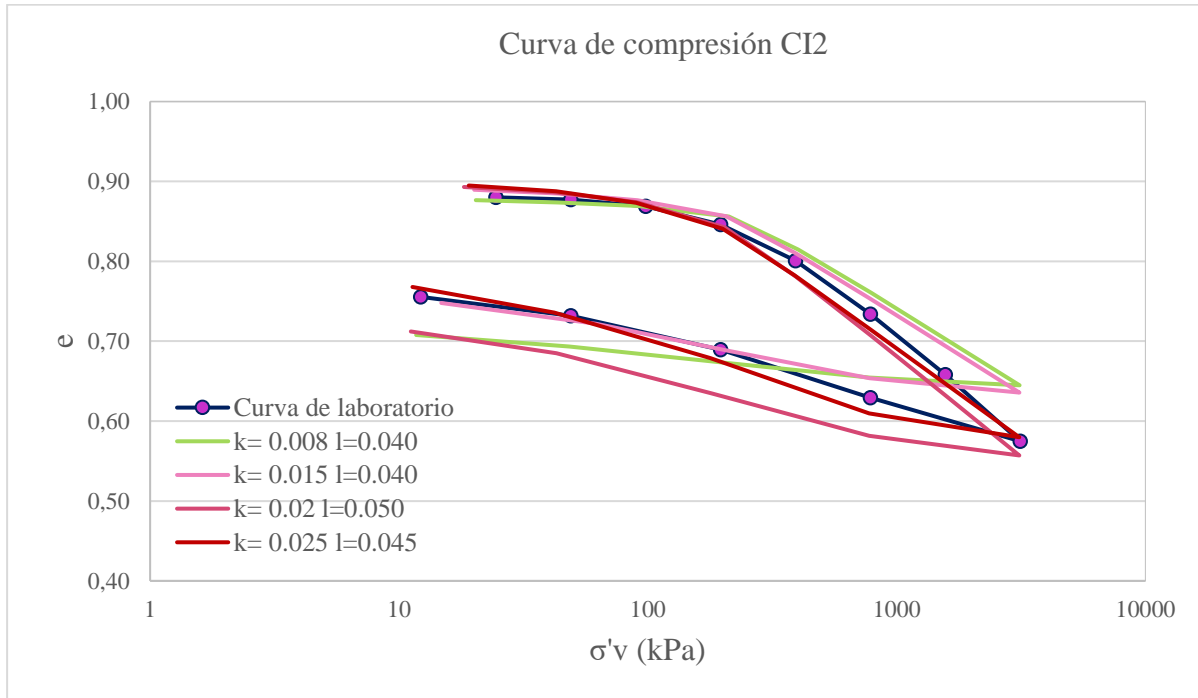
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO						
OBJETO DEL PROCESO	Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia					
COD. RUBRO:	4,2			UNIDAD: m2		
RUBRO:	Cerramiento protector antipolvo			RENDIMIENTO: 0,357		
CARGA Y TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
SUBTOTAL M				€ -		
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL N						€ -
MATERIAL						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Cerco para obras de defensa del suelo	m2	1,00	€ 5,05	€ 5,05		
SUBTOTAL O						€ 5,05
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$5,05000
				INDIRECTOS Y UTILIDADES	20%	\$1,01000
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$6,06000
				VALOR DEL RUBRO		\$6,06

ANEXOS B: VOLUMEN DE OBRA

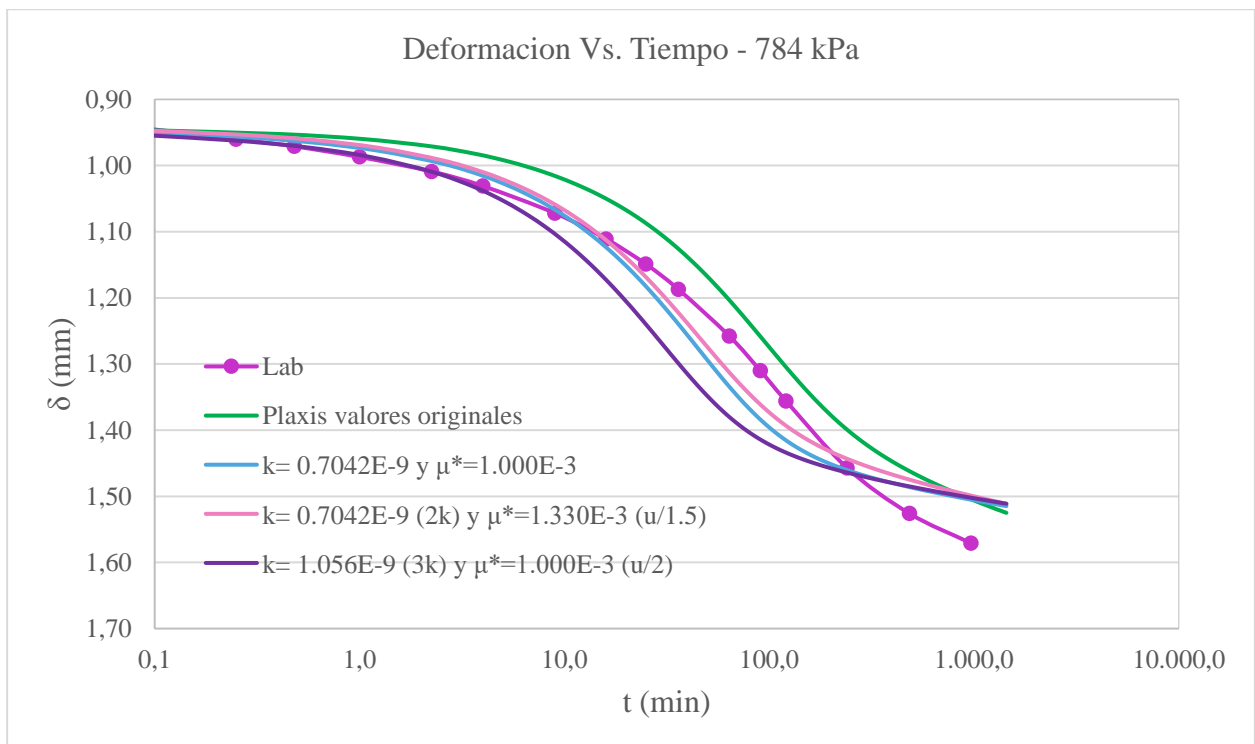
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	UNIDAD	CANT.	MAGNITUDES				SUBTOTAL	TOTAL
					LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA / VOL. / PESO		
OBRAS PRELIMINARES										
1,1	Desbroce y retirada de vegetación		m2							60.000,00
		Área (Extensión 1km)		1,00	1.000,00	60,00		60.000,00	60.000,00	
1,2	Trazado y replanteo		m							2.120,00
		Perimetro (Extensión 1km)		1,00	1.000,00	60,00		2.120,00	2.120,00	
1,3	Valla temporal de obra		m							60,00
		Inicio de tramo		1,00		60,00			60,00	
MOVIMIENTO DE TIERRA										
2,1	Excavación sin clasificar		m3							60.000,00
		Área (Extensión 1km)		1,00	1.000,00	60,00	1,00	60.000,00	60.000,00	
2,2	Desalojo de material		m3-km							5.173.609,34
		Desalojo		5.173.609,34					5.173.609,34	
2,3	Perforación de columna de 0.9 m de diametro		m3							19,09
		Volumen de cada columna		1,00	0,90		30,00	19,09	19,09	
2,4	Suministro e instalación de encamisado metálico a 30m de profundidad		u							5,00
		Cantidad de columnas en 1km		5,00					5,00	
ESTRUCTURA DEL TERRAPLEN										
3,1	Suministro de grava		m3							114,51
		Volumen de todas las columna		5,00	0,90		30,00	114,51	114,51	
3,2	Inserción de columnas cada 1,3 m		u							27.108,00
		Cantidad de columnas en 1km		27.108,00					27.108,00	
3,3	Relleno compactado con material de sitio		m3							60.000,00
		Volumen de 1m de relleno		1,00	1.000,00	60,00	1,00	60.000,00	60.000,00	
3,4	Relleno compactado con material de mejoramiento		m3							334.000,00
		Volumen del terraplen		1,00	48,40	18,40	10,00	334.000,00	334.000,00	
3,5	Transporte de material		m3-km							60.114,51
		Transporte		60.114,51					60.114,51	
3,6	Acabado de obra		m2							60.000,00
		Área (Extensión 1km)		1,00	1.000,00	60,00		60.000,00	60.000,00	
PLAN DE MANEJO AMBIENTAL										
4,1	Agua para control de polvo		m3							16.700,00
		Volumen del terraplen 5%		0,05	48,40	18,40	10,00	16.700,00	16.700,00	
4,2	Cerramiento protector antipolvo		m2							60.000,00
		Área (Extensión 1km)		1,00	1.000,00	60,00		60.000,00	60.000,00	

**ANEXOS C: MEMORIA DE
CÁLCULOS**

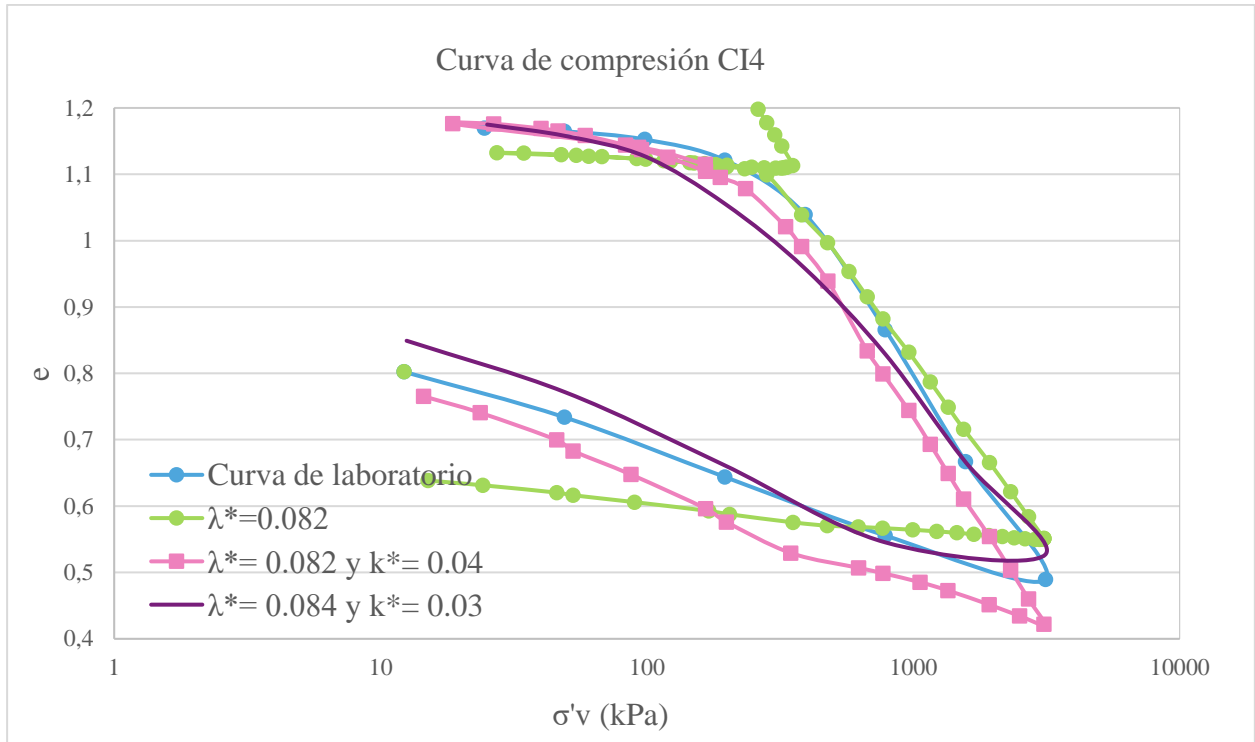
Calibración Curva de compresión CI2 de λ^* y k^*



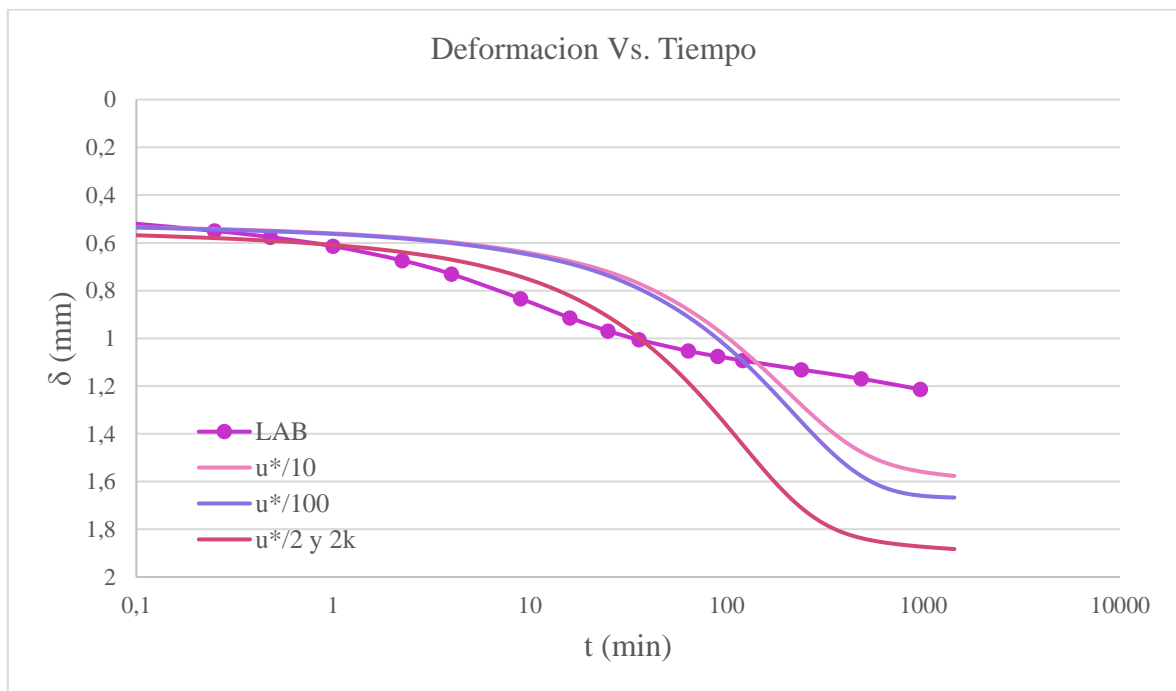
Calibración Curva de compresión CI2 de μ^* y k



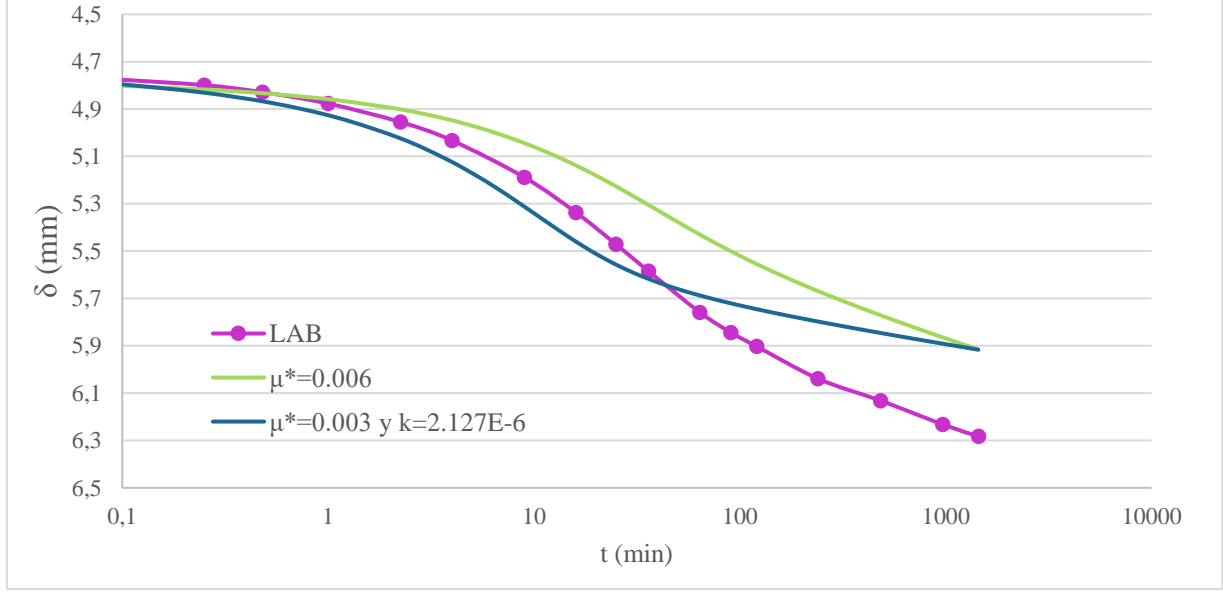
Calibración Curva de compresión CI4 de λ^* y k^*



Calibración Curva de compresión CI4 de μ^* y k



Deformacion Vs. Tiempo - 3138 kPa



Diseño de columnas

Comparación de razón de sustitución para selección de tipo celda

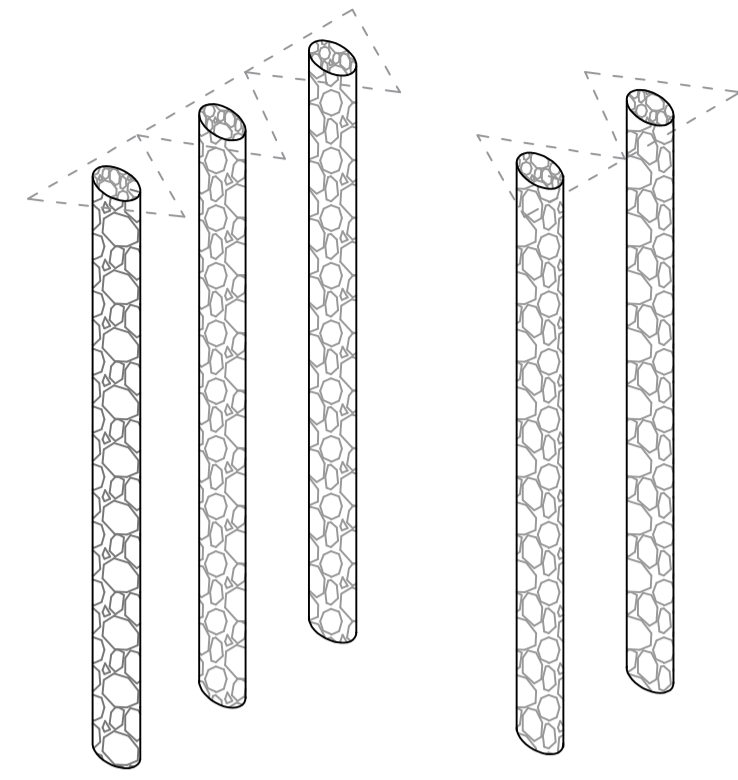
Celda hexagonal		Celda cuadrada		Celda triangular	
s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)
1	22.68%	1	19.58%	1	15.02%
1.1	18.74%	1.1	16.18%	1.1	12.42%
1.2	15.75%	1.2	13.60%	1.2	10.43%
1.3	13.42%	1.3	11.59%	1.3	8.89%
1.4	11.57%	1.4	9.99%	1.4	7.66%
1.5	10.08%	1.5	8.70%	1.5	6.68%
1.6	8.86%	1.6	7.65%	1.6	5.87%
1.7	7.85%	1.7	6.77%	1.7	5.20%
1.8	7.00%	1.8	6.04%	1.8	4.64%
1.9	6.28%	1.9	5.42%	1.9	4.16%
2	5.67%	2	4.89%	2	3.76%
2.1	5.14%	2.1	4.44%	2.1	3.41%
2.2	4.69%	2.2	4.05%	2.2	3.10%
2.3	4.29%	2.3	3.70%	2.3	2.84%
2.4	3.94%	2.4	3.40%	2.4	2.61%
2.5	3.63%	2.5	3.13%	2.5	2.40%
2.6	3.35%	2.6	2.90%	2.6	2.22%
2.7	3.11%	2.7	2.69%	2.7	2.06%
2.8	2.89%	2.8	2.50%	2.8	1.92%
2.9	2.70%	2.9	2.33%	2.9	1.79%
3	2.52%	3	2.18%	3	1.67%
3.1	2.36%	3.1	2.04%	3.1	1.56%
3.2	2.21%	3.2	1.91%	3.2	1.47%
3.3	2.08%	3.3	1.80%	3.3	1.38%
3.4	1.96%	3.4	1.69%	3.4	1.30%
3.5	1.85%	3.5	1.60%	3.5	1.23%

Comparación del comportamiento de celda respecto a la separación entre columnas y el diámetro.

 Valores de diseño

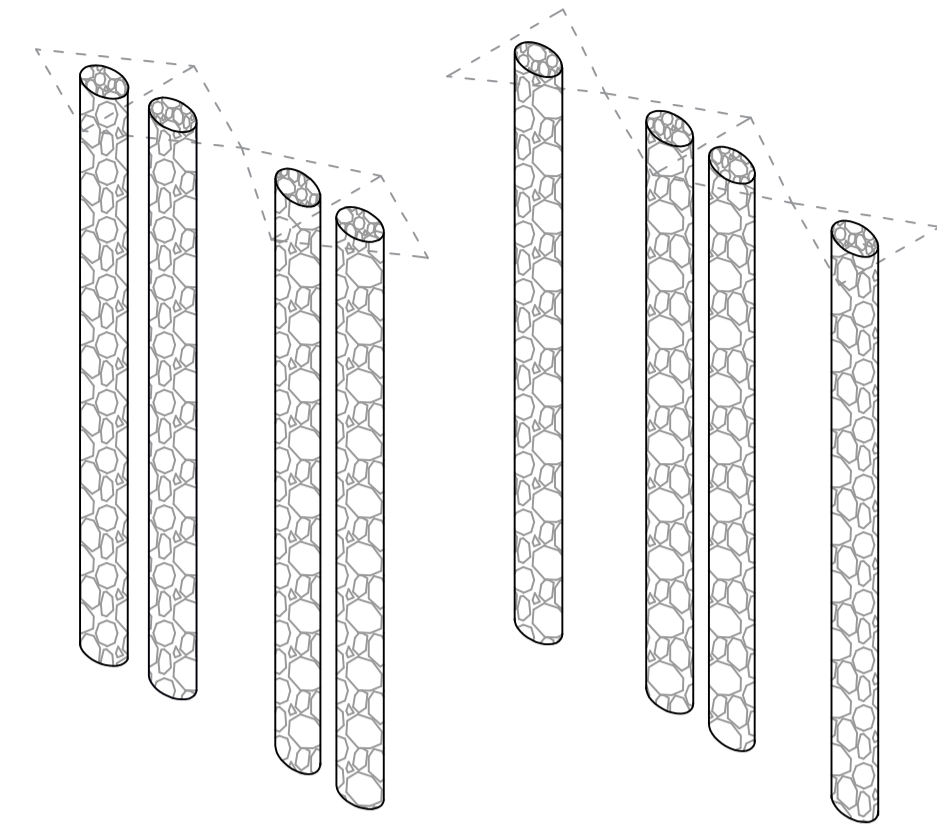
Celda Triangular		Celda Triangular		Celda Triangular		Celda Triangular		Celda Triangular		Celda Triangular	
dc	0.5	dc	0.6	dc	0.7	dc	0.8	dc	0.9	dc	1
s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)	s (m)	ar (%)
1	15.02%	1	21.63%	1	29.45%	1	38.46%	1	48.67%	1	60.09%
1.1	12.42%	1.1	17.88%	1.1	24.33%	1.1	31.78%	1.1	40.23%	1.1	49.66%
1.2	10.43%	1.2	15.02%	1.2	20.45%	1.2	26.71%	1.2	33.80%	1.2	41.73%
1.3	8.89%	1.3	12.80%	1.3	17.42%	1.3	22.76%	1.3	28.80%	1.3	35.56%
1.4	7.66%	1.4	11.04%	1.4	15.02%	1.4	19.62%	1.4	24.83%	1.4	30.66%
1.5	6.68%	1.5	9.61%	1.5	13.09%	1.5	17.09%	1.5	21.63%	1.5	26.71%
1.6	5.87%	1.6	8.45%	1.6	11.50%	1.6	15.02%	1.6	19.01%	1.6	23.47%
1.7	5.20%	1.7	7.49%	1.7	10.19%	1.7	13.31%	1.7	16.84%	1.7	20.79%
1.8	4.64%	1.8	6.68%	1.8	9.09%	1.8	11.87%	1.8	15.02%	1.8	18.55%
1.9	4.16%	1.9	5.99%	1.9	8.16%	1.9	10.65%	1.9	13.48%	1.9	16.65%
2	3.76%	2	5.41%	2	7.36%	2	9.61%	2	12.17%	2	15.02%
2.1	3.41%	2.1	4.91%	2.1	6.68%	2.1	8.72%	2.1	11.04%	2.1	13.63%
2.2	3.10%	2.2	4.47%	2.2	6.08%	2.2	7.95%	2.2	10.06%	2.2	12.42%
2.3	2.84%	2.3	4.09%	2.3	5.57%	2.3	7.27%	2.3	9.20%	2.3	11.36%
2.4	2.61%	2.4	3.76%	2.4	5.11%	2.4	6.68%	2.4	8.45%	2.4	10.43%
2.5	2.40%	2.5	3.46%	2.5	4.71%	2.5	6.15%	2.5	7.79%	2.5	9.61%
2.6	2.22%	2.6	3.20%	2.6	4.36%	2.6	5.69%	2.6	7.20%	2.6	8.89%
2.7	2.06%	2.7	2.97%	2.7	4.04%	2.7	5.28%	2.7	6.68%	2.7	8.24%
2.8	1.92%	2.8	2.76%	2.8	3.76%	2.8	4.91%	2.8	6.21%	2.8	7.66%
2.9	1.79%	2.9	2.57%	2.9	3.50%	2.9	4.57%	2.9	5.79%	2.9	7.15%
3	1.67%	3	2.40%	3	3.27%	3	4.27%	3	5.41%	3	6.68%
3.1	1.56%	3.1	2.25%	3.1	3.06%	3.1	4.00%	3.1	5.07%	3.1	6.25%
3.2	1.47%	3.2	2.11%	3.2	2.88%	3.2	3.76%	3.2	4.75%	3.2	5.87%
3.3	1.38%	3.3	1.99%	3.3	2.70%	3.3	3.53%	3.3	4.47%	3.3	5.52%
3.4	1.30%	3.4	1.87%	3.4	2.55%	3.4	3.33%	3.4	4.21%	3.4	5.20%
3.5	1.23%	3.5	1.77%	3.5	2.40%	3.5	3.14%	3.5	3.97%	3.5	4.91%

ANEXOS D: PLANOS



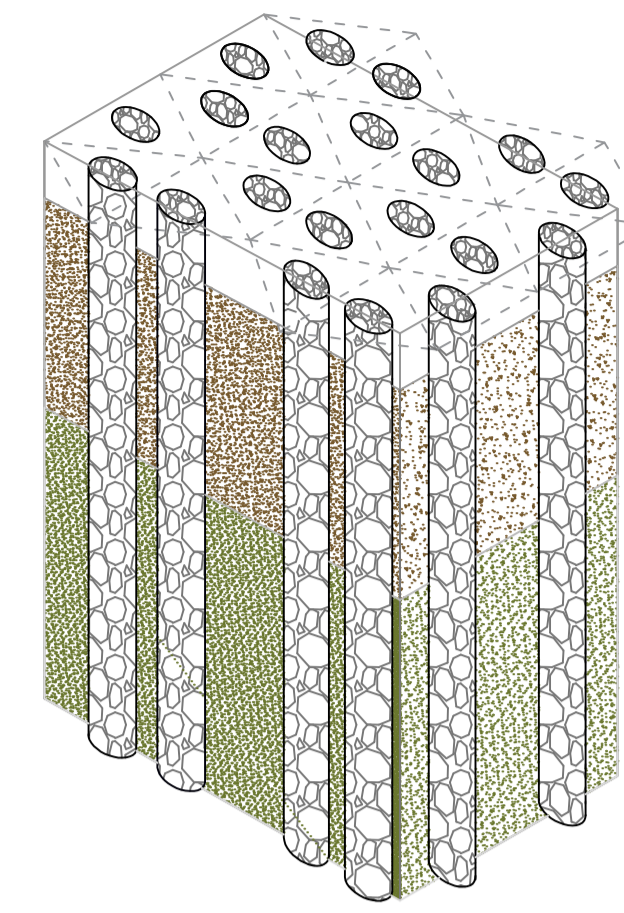
CONFIGURACIÓN LONGITUDINAL DE LA MALLA

3:4



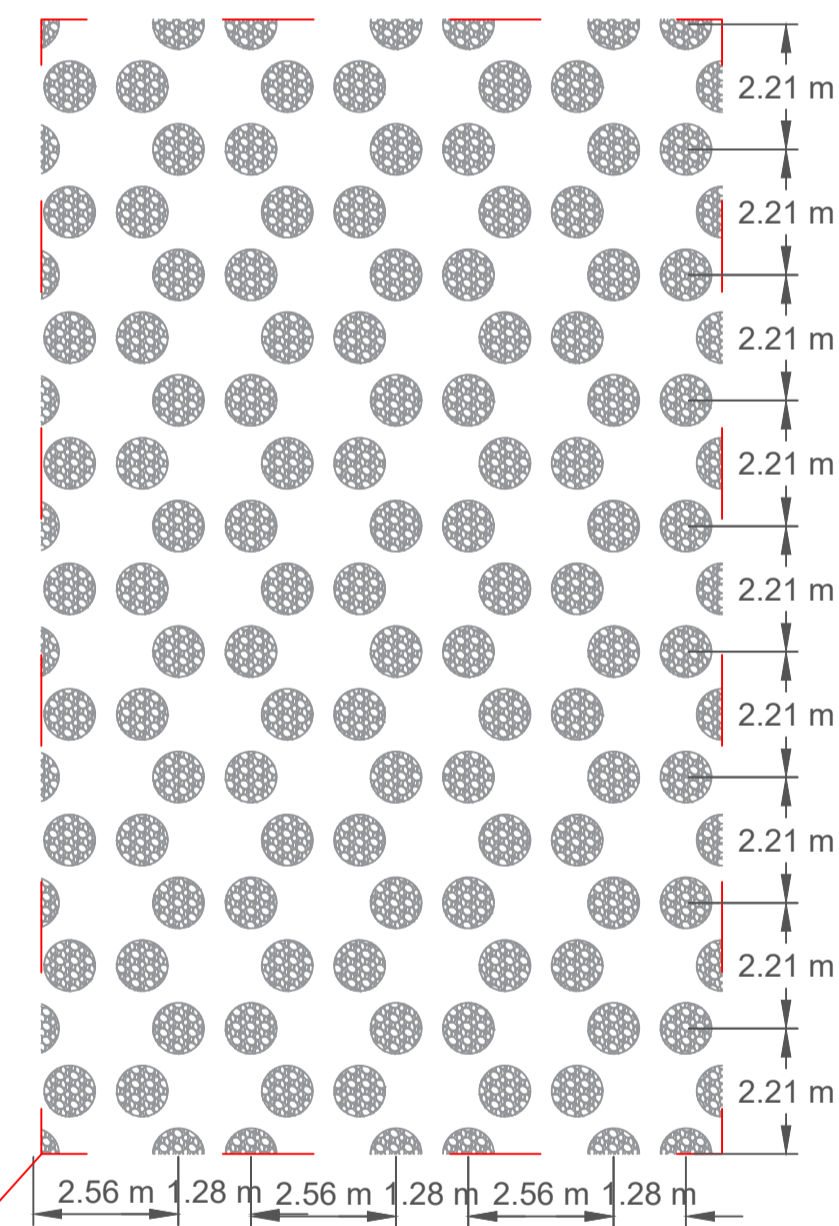
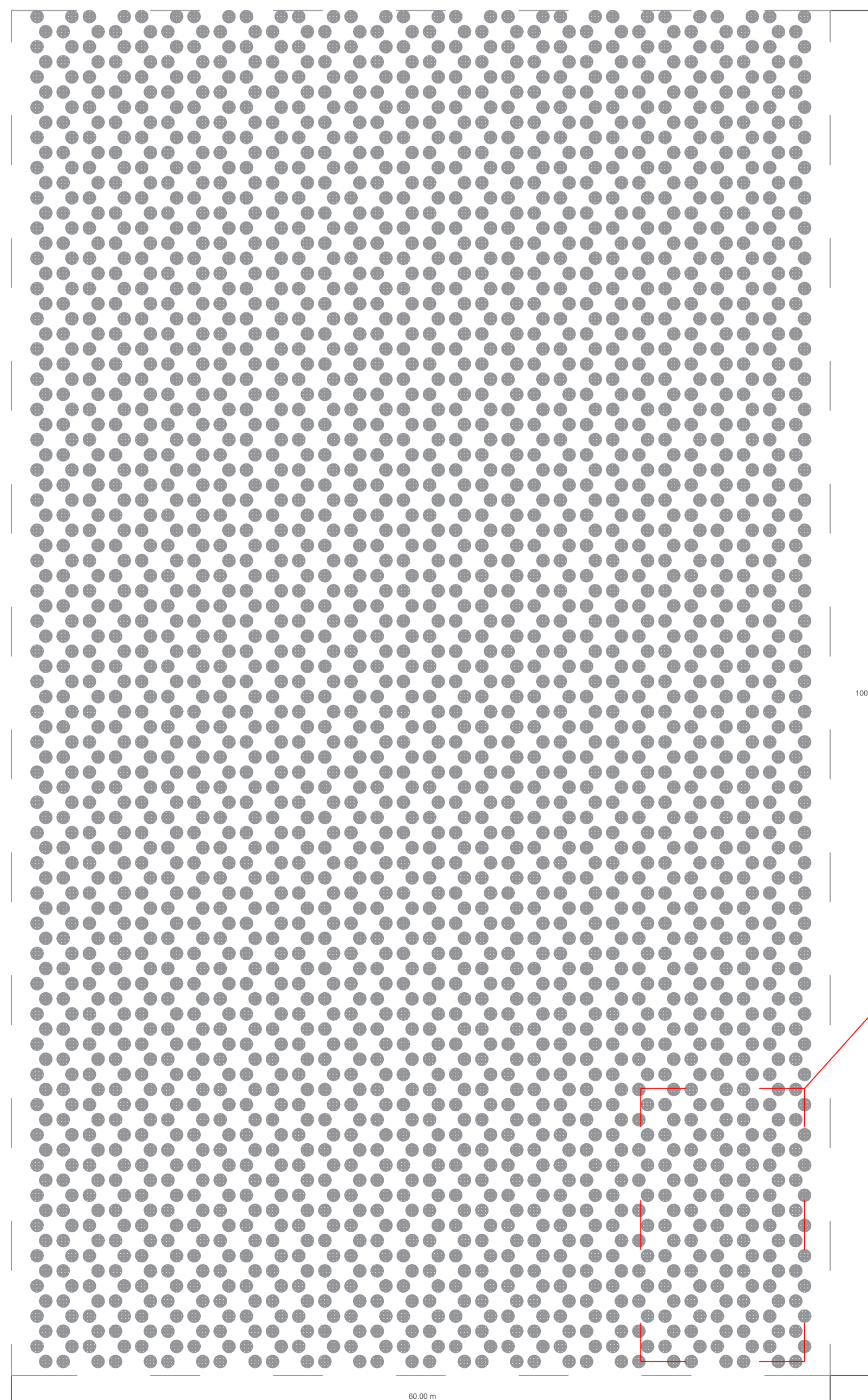
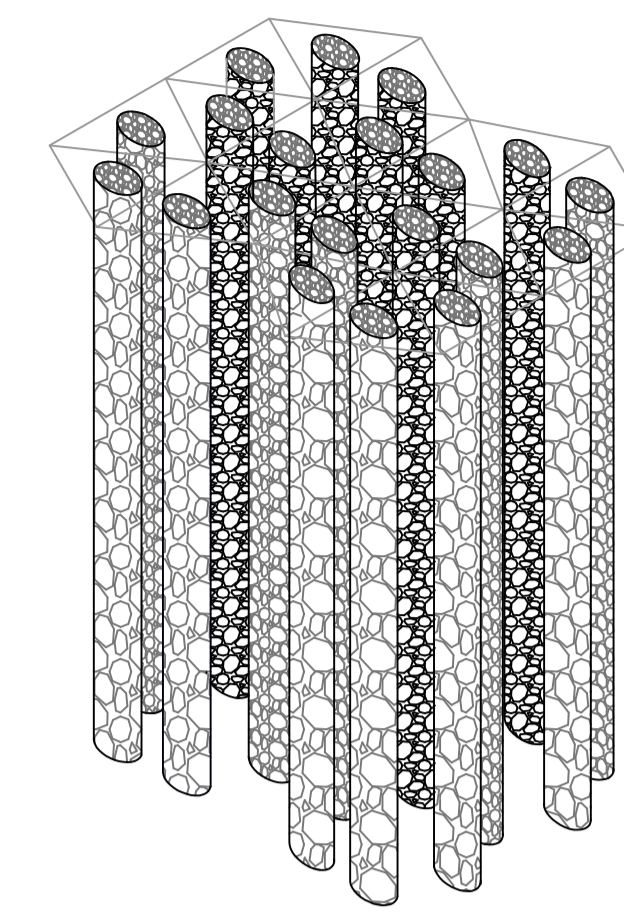
CONFIGURACIÓN TRANSVERSAL DE LA MALLA

3:4



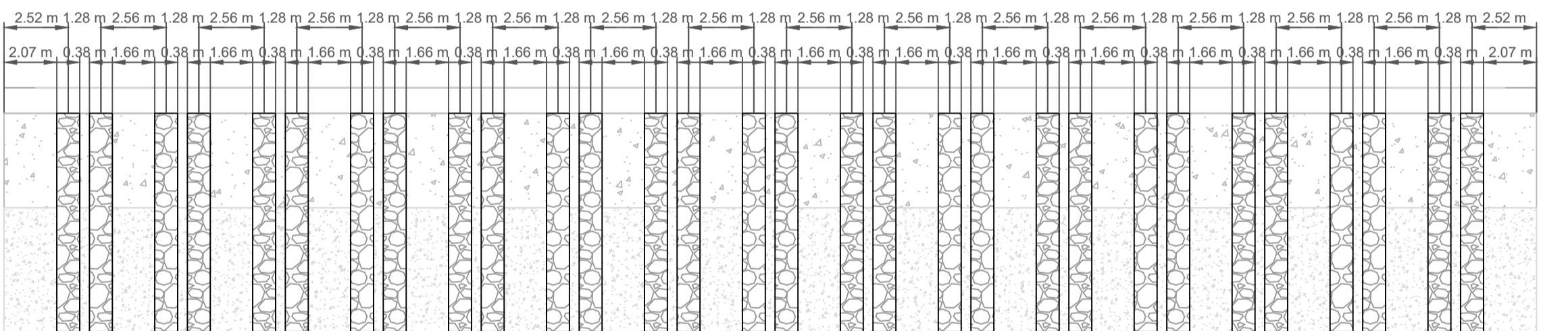
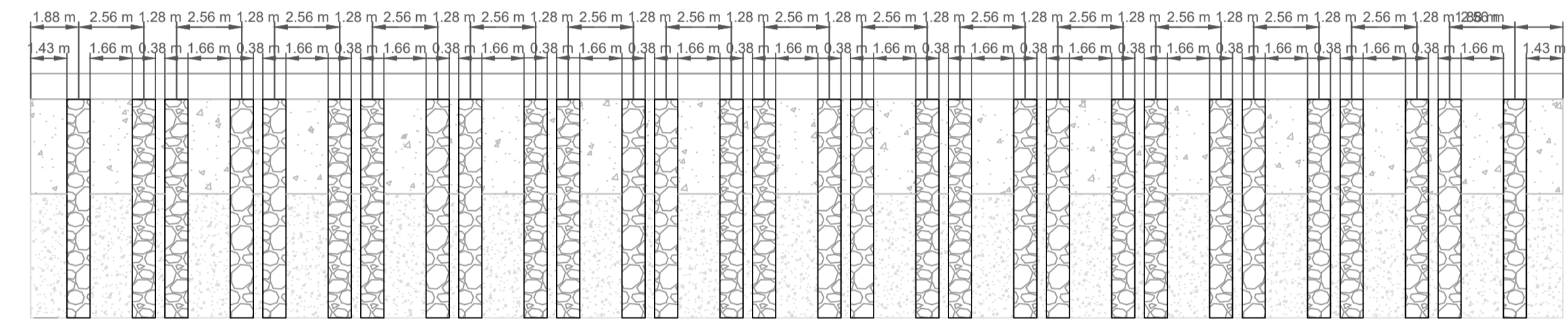
VISTAS GENERALES DE CONFIGURACIÓN DE MALLA

3:4



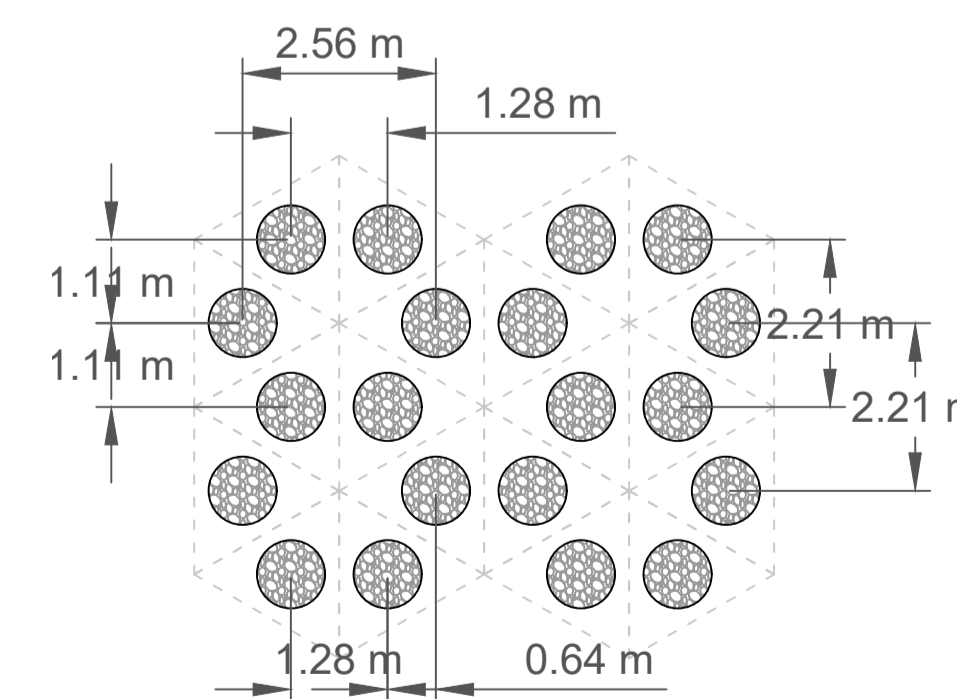
SECCIÓN DE DETALLE DE MALLA

3:4



VISTAS TRANSVERSALES DE CONFIGURACIÓN DE COLUMNAS

1:2



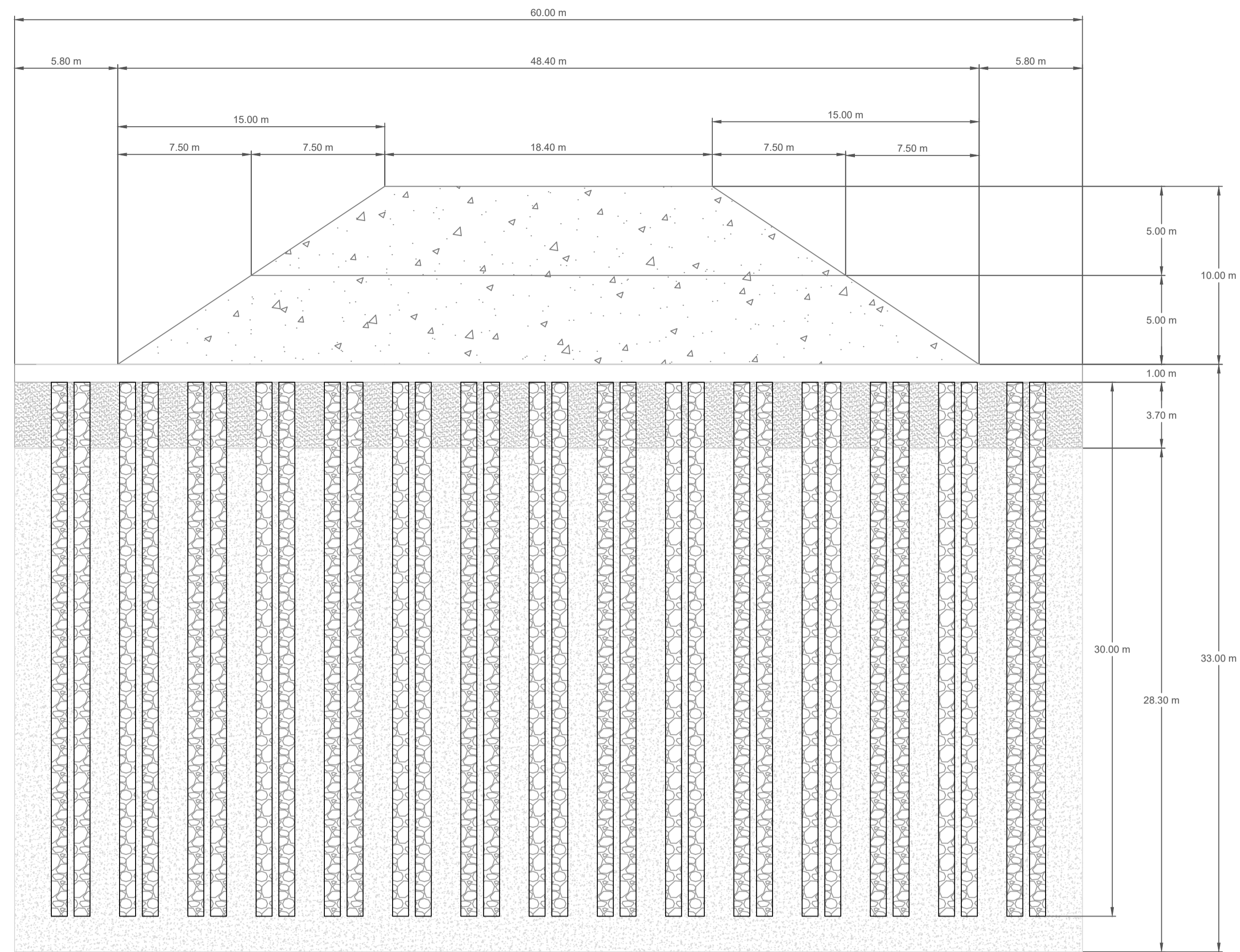
DETALLES EN PLANTA DE MALLA

1:1

CONFIGURACIÓN DE COLUMNAS PARA /100M LONGITUD

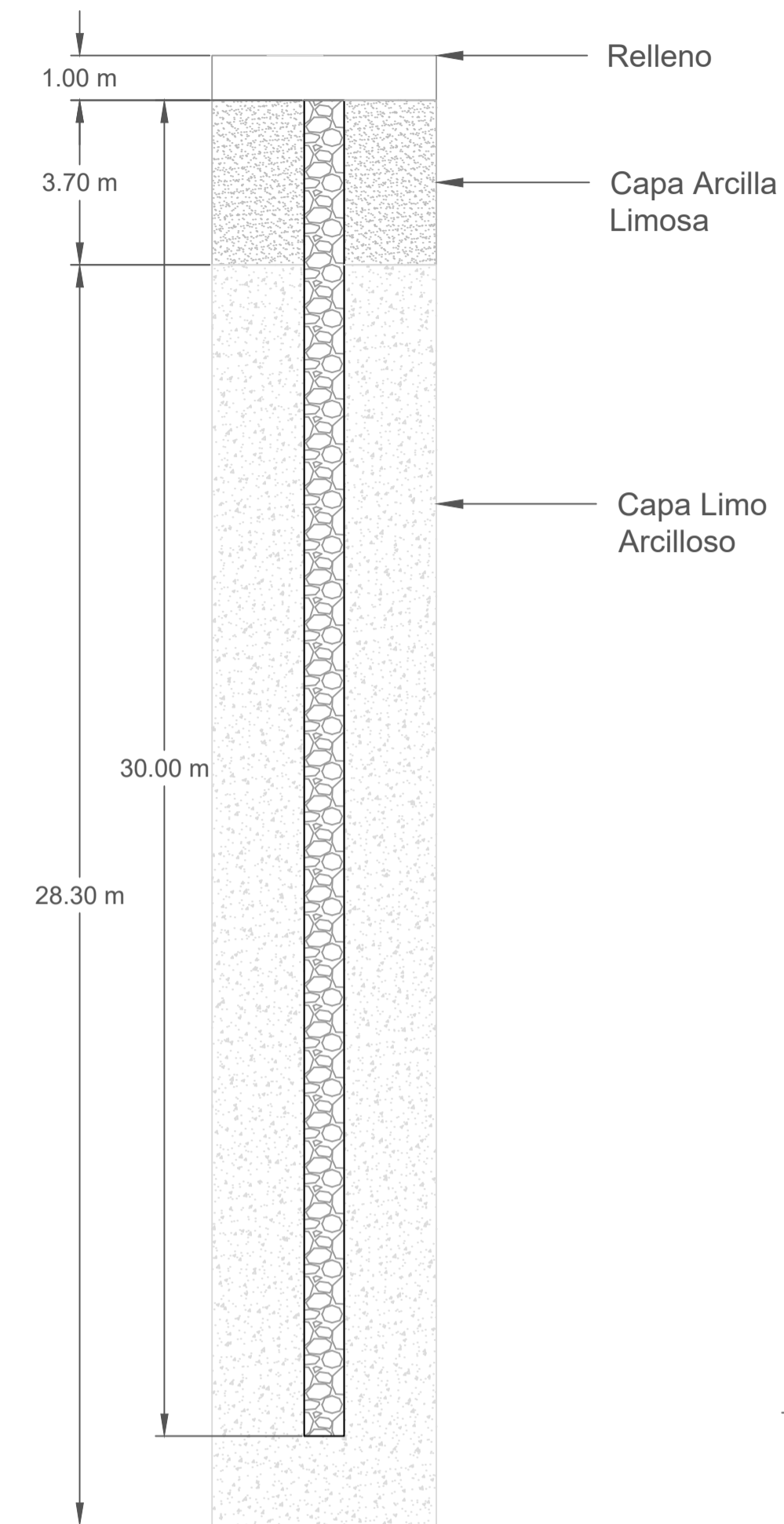
1:3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
PROYECTO: Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia		
CONTENIDO: Configuración de malla de columnas de gravas		
Coordinador de Materia Integradora: Mgr. Lenin Dender	Estudiantes: - Katherine Viera - Carla A. Santos	Fecha de entrega: 24/08/2024
Tutor de Área de Conocimiento: PhD. Davide Besenon	Lámina: A 1/2	Escala: x:xxx



VISTA TRANSVERSAL GENERAL DE TERRAPLÉN Y COLUMNAS

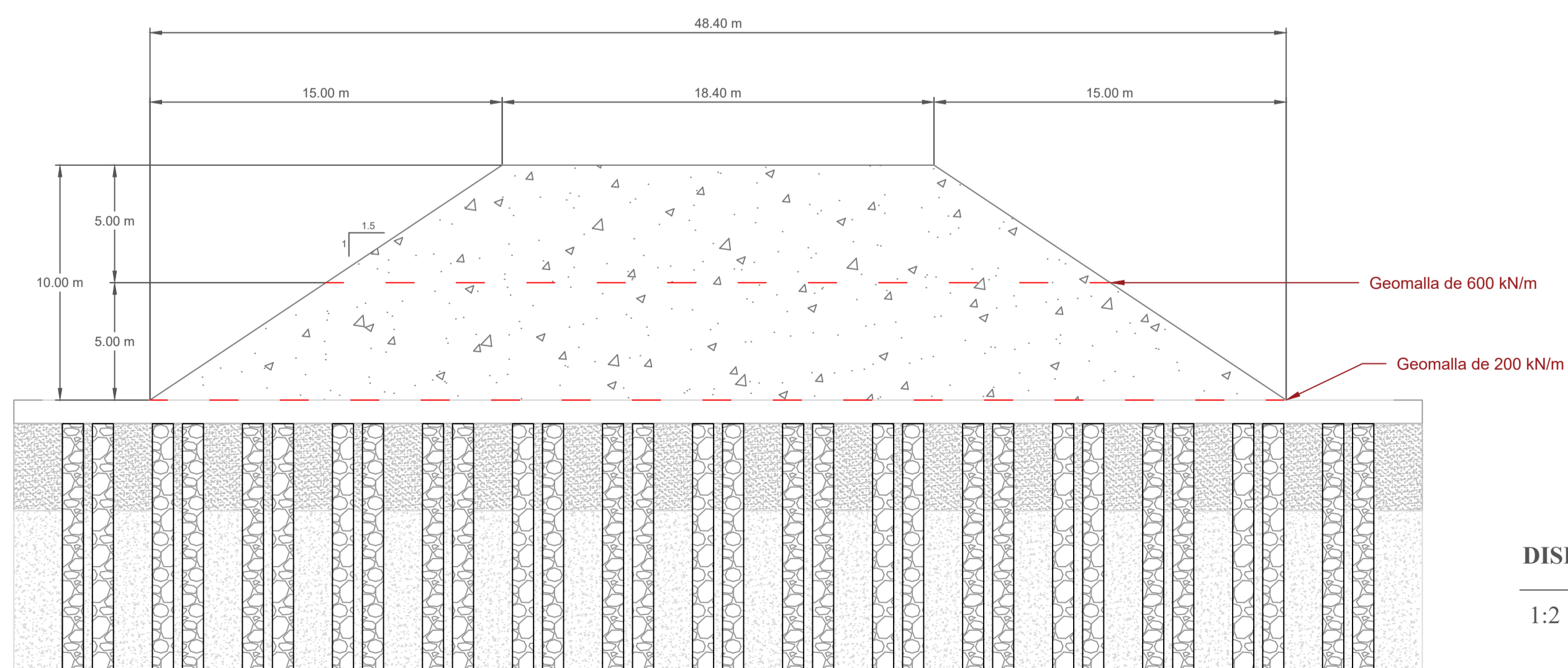
1:2



NOTA: EL PERFIL DE SUELO MOSTRADO ES UN ESTRATO ESPECIFICO DE UNA DE LAS SECCIONES PRESENTES, NO SE CUMPLE EN TODA LA LONGITUD DE LA VÍA

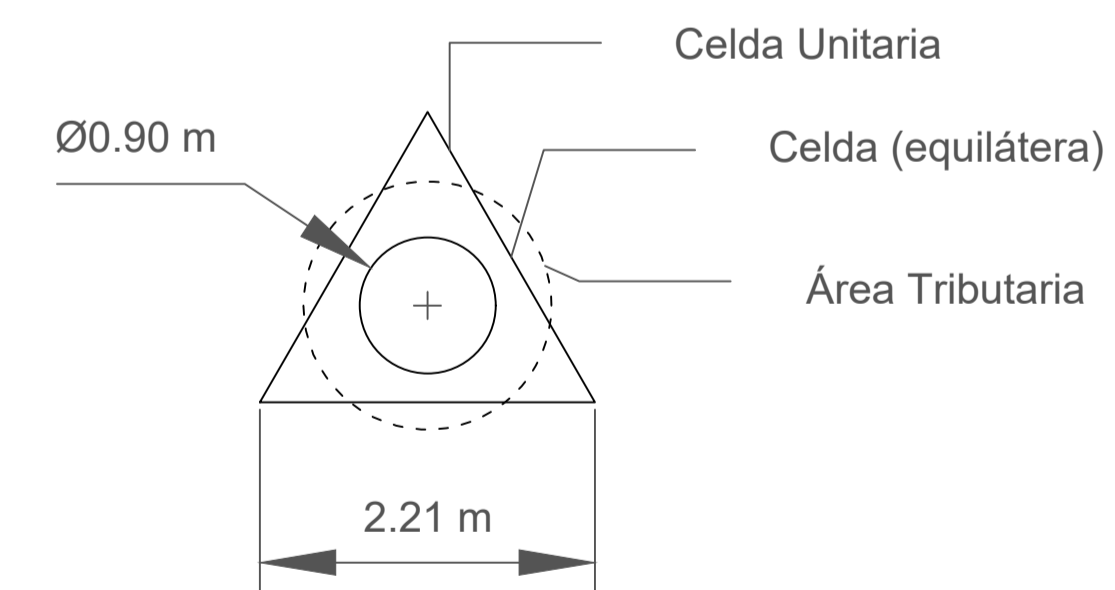
VISTA LONGITUDINAL DEL PERFIL DE COLUMNA

3:4



DISEÑO DE TERRAPLÉN VISTA TRANSVERSAL

1:2



VISTA TRANSVERSAL DEL PERFIL DE COLUMNA

2:1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: Diseño de terraplenes sobre suelos compresibles para la línea ferroviaria de alta velocidad Salerno-Reggio Calabria en Italia			
CONTENIDO: Terraplén y columnas			
Coordinador de Materia Integradora: Mgtr. Lenin Dender	Estudiantes: - Katherine Viera - Carla A. Santos	Fecha de entrega: 24/08/2024	
Tutor de Área de Conocimiento: PhD. Davide Besenon		Lámina: A 2/2	Escala: x:xxx

Terraplenes seguros: Innovando líneas ferroviarias

PROBLEMA

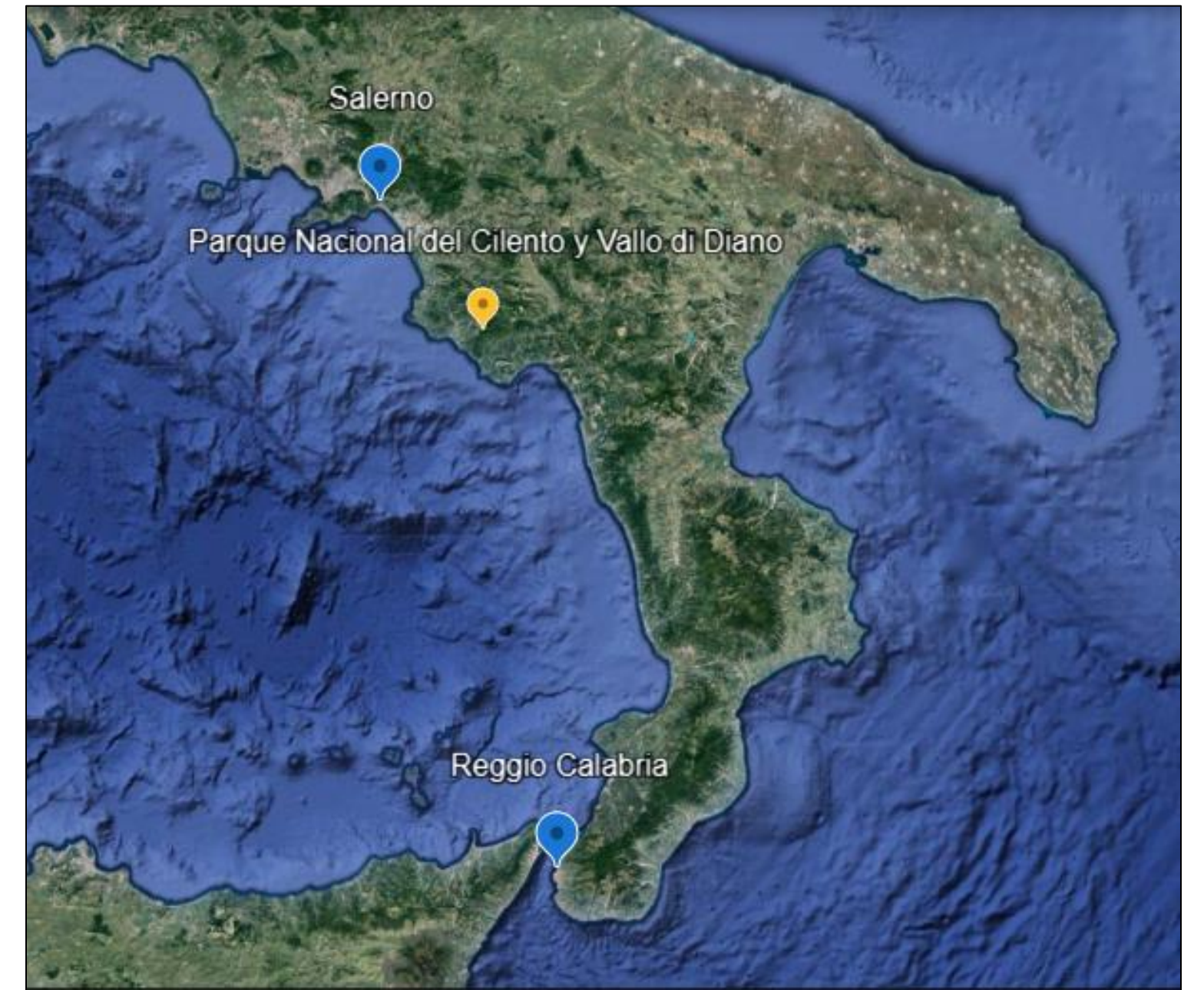
Determinar si es necesario realizar alguna intervención geotécnica previa a la construcción del terraplén de la vía, con el fin de reducir los asentamientos por consolidación secundaria.

OBJETIVO GENERAL

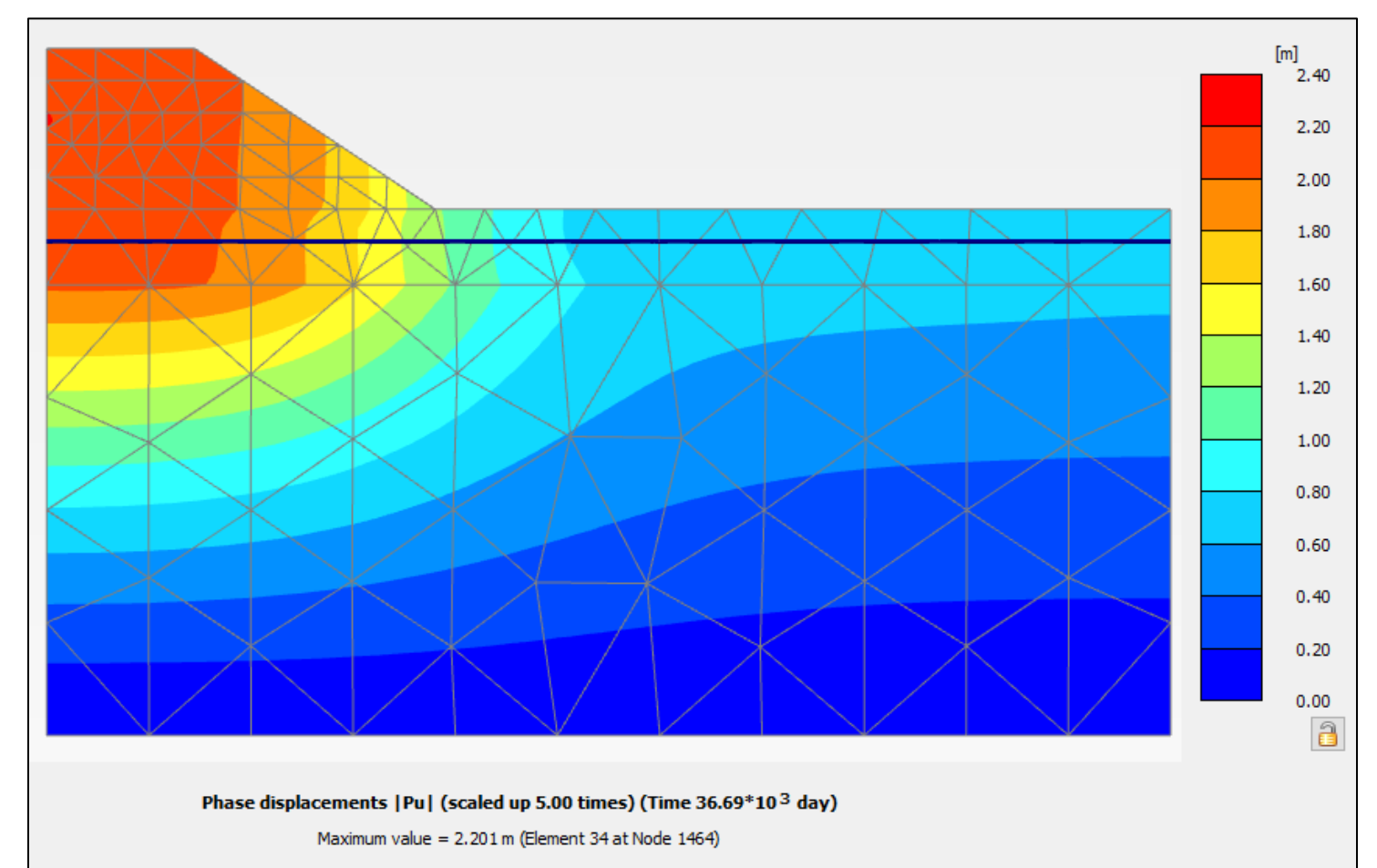
Diseñar la solución geotécnica para un terraplén de uso vial, empleando un modelo de cálculo basado en elementos finitos ajustado con datos de ensayos realizados tanto in-situ como en laboratorio, para la mitigación de los asentamientos a largo plazo.

PROPUESTA

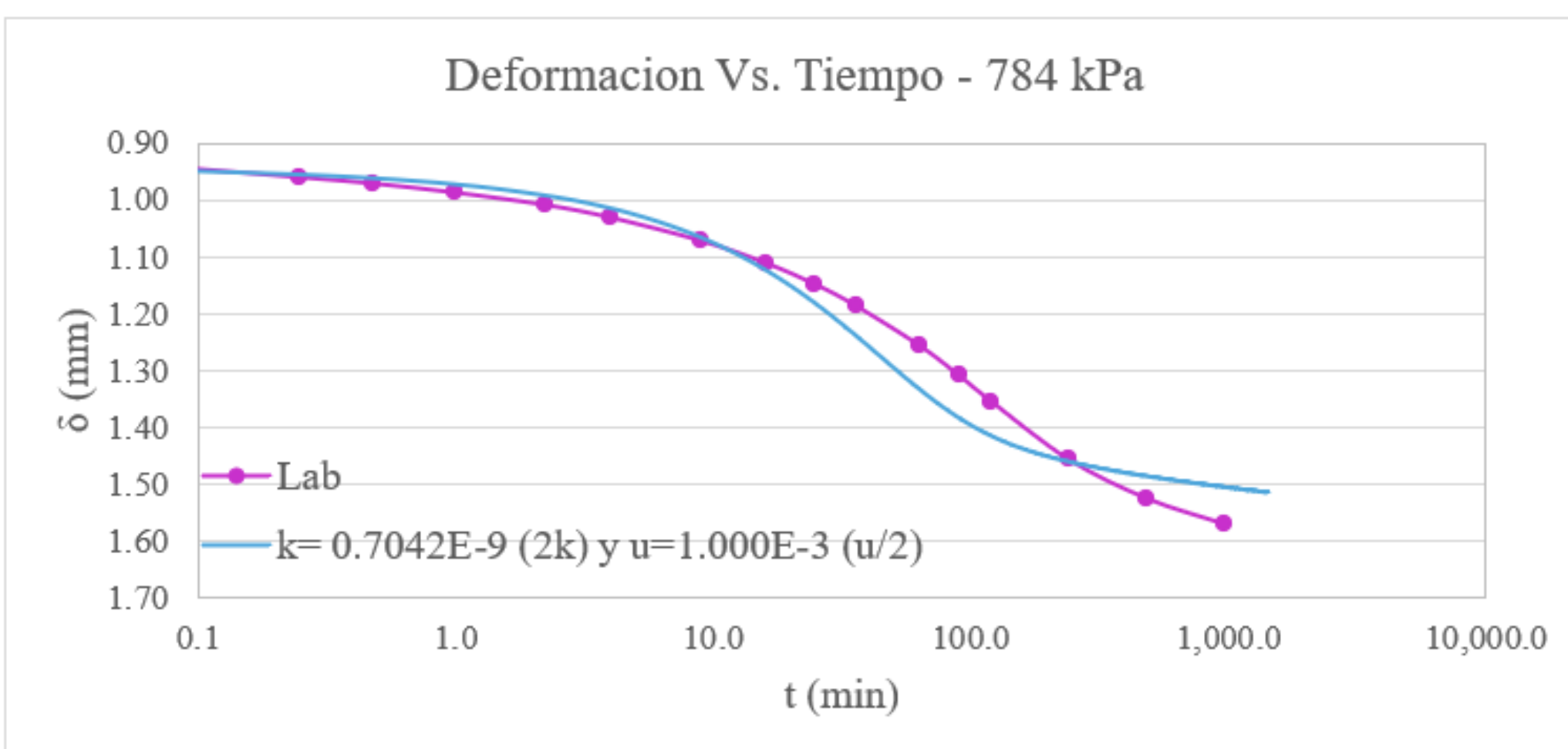
Se propone una alternativa basada en la inserción de columnas verticales de grava compactada en el suelo. En esta propuesta se analizó los parámetros técnicos, económicos y ambientales mediante una simulación de Modelo Constitutivo "Soft Soil Creep" y para el diseño de terraplén y columnas de grava se utiliza el modelo "Mohr Coulomb".



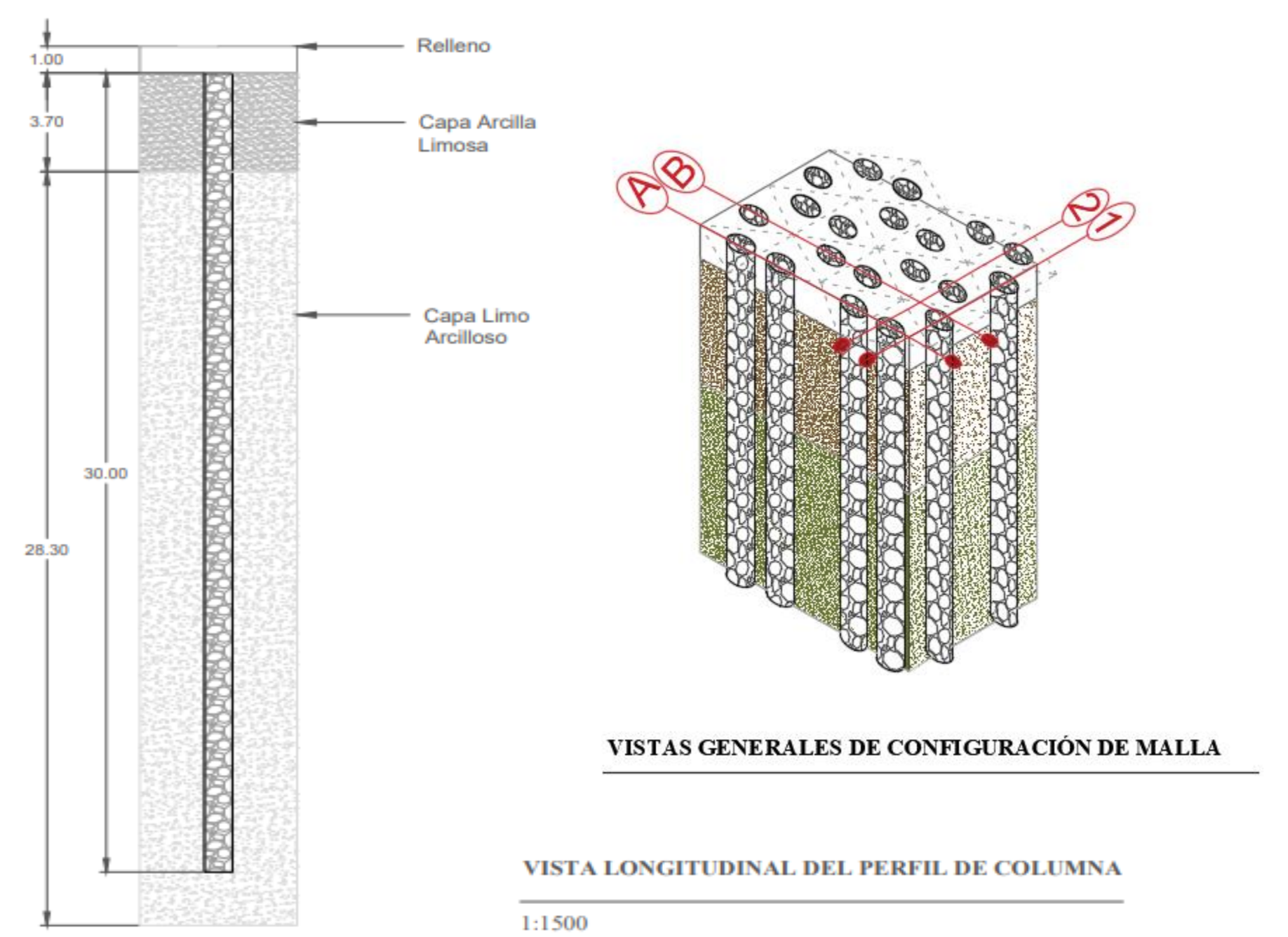
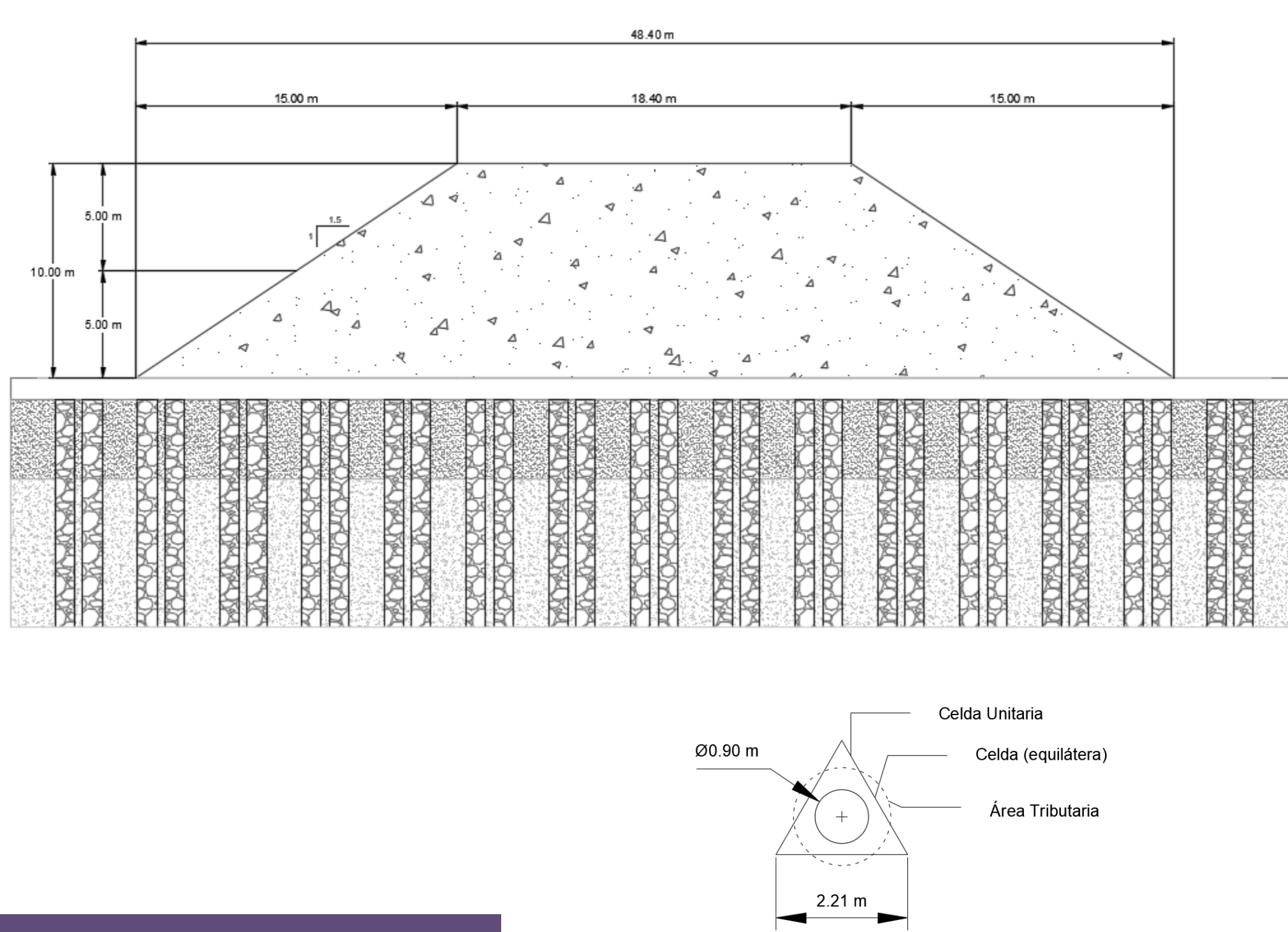
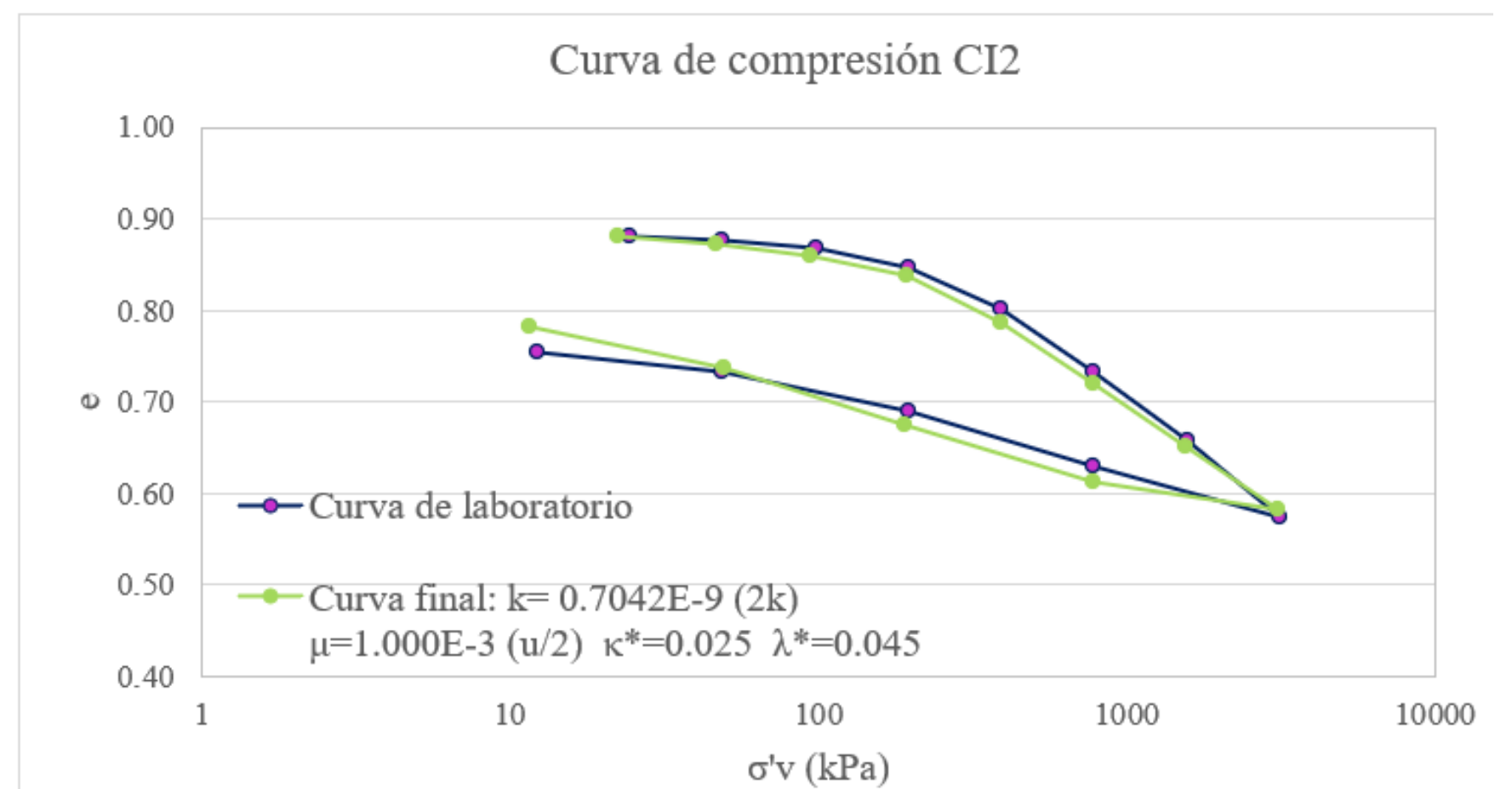
RESULTADOS



Grafica1.1: Comparación entre curva de "deformación vs. Tiempo" CI2 de laboratorio vs. calibración final. Fuente: Autores



Grafica1.2: Comparación entre curva de compresión CI2 de laboratorio vs. calibración final. Fuente: Autores



CONCLUSIONES



Los resultados de las simulaciones mostraron que la propuesta es viable, con un tiempo de construcción final de terraplén de 160 días, para tener una reducción de asentamiento considerable.



El capítulo del presupuesto reveló que la estructura del terraplén requiere la mayor inversión, acaparando el 55% del costo total del proyecto. Por tanto, representa el componente más relevante en términos de inversión.



El diseño de terraplén para una vía de alta velocidad en Italia, relacionado con los objetivos de desarrollo sostenible 9 y 11, promueve la construcción de infraestructuras viales sostenibles y viables a largo plazo, utilizando tecnologías innovadoras mediante la implementación de columnas de grava.