

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad
de Durán

ING-2666

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Melvin Bennett Balarezo Arzube

Anthony José Maldonado Maldonado

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a
Dios, a mi familia y a mis amigos, por
siempre haber estado a mi lado
brindándome su apoyo en los
momentos más difíciles de mi vida.
Especialmente a mi mamá Lorena
Arzube y mi papá José A. Balarezo que
con paciencia y amor incondicional
supieron ayudarme a nunca rendirme.

Melvin Bennett Balarezo Arzube

El presente proyecto lo dedico a Dios,
mi familia y seres queridos, los que
jamás me abandonaron y siempre
confiaron en mí.

Mi padre Benigno Maldonado que
siempre me dio los recursos, el amor y
la confianza necesarias y a mí madre
Jacqueline Maldonado por estar
conmigo en los momentos difíciles de
mi vida y animarme a nunca rendirme.

Anthony Jose Maldonado Maldonado

Agradecimientos

Agradezco a Dios por cada nuevo día,
por poder ver con salud a mi familia.

Con gratitud infinita a mis padres por
siempre confiar en mis capacidades a
pesar de los resbalones estuvieron a mi
lado. Por vivir cada pequeño logro con
orgullo y como suyo.

Agradezco a mis amigos, en especial a
mi hermano de otra sangre Ing. Emilio
García, sin ti mi camino no hubiera sido
así de feliz y ameno. Agradezco a
loogamon por ser mi compañero.

Agradezco profundamente a mi
compañero de tesis, Anthony
Maldonado, por su compromiso y
dedicación. Por siempre estar pendiente
de nuestras reuniones, por siempre
animarnos a dar un paso más y recordar
que al final todo vale la pena.

Melvin Bennett Balarezo Arzube

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios por darme salud, cuidar de mi familia y darme buenos amigos.

Mis padres que me apoyaron desde siempre con mis sueños y decisiones y que a lo largo de mi vida hicieron lo posible para que yo pueda cumplirlos.

A la Espol porque ahí fue donde aprendí muchas cosas y también me divertí con las personas que Dios puso en mi camino.

Agradezco a mi compañero de tesis Melvin Balarezo porque esto no fue fácil pero juntos supimos resolver cada desafío que se presentaba. También profundamente a todos mis amigos que hice a lo largo de mi carrera, que hicieron que sonriera aun en mis momentos malos.

Anthony Jose Maldonado Maldonado

Declaración Expresa

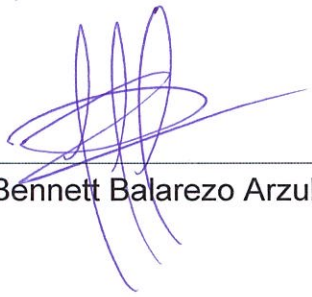
Nosotros Melvin Bennett Balarezo Arzube y Anthony José Maldonado Maldonado acordamos y reconocemos que:

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.

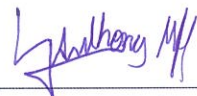
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de 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, 15 de Octubre del 2024.



Melvin Bennett Balarezo Arzube



Anthony José Maldonado Maldonado

Evaluadores

MSc. Ingrid Orta Zambrano

Profesor de Materia

MSc. Davide Besenzon Venegas

Tutor de proyecto

Resumen

El objetivo de este estudio es proponer una técnica de mejora del suelo aplicada a Durán, usando la técnica de precarga. Esta técnica permite incrementar la capacidad portante del terreno y reducir los asentamientos por consolidación. Para optimizar el proceso y reducir los tiempos de aplicación de la precarga, se han incorporado drenes verticales, cuya función es acelerar la consolidación mediante la introducción de canales de drenaje verticales en el suelo.

Este método resulta especialmente eficaz en suelos saturados y altamente compresibles, como los presentes en nuestro proyecto, y es replicable bajo condiciones similares. La integración de drenajes verticales no solo facilita un proceso de estabilización en menos de tres meses de manera consistente, sino que también reduce el riesgo de asentamientos diferenciales que podrían comprometer la integridad de la estructura a construir.

Los asentamientos por consolidación fueron estimados aplicando la teoría de consolidación de Terzaghi. Además, los resultados fueron validados mediante un análisis por elementos finitos utilizando el software PLAXIS, que permitió realizar simulaciones complejas bajo diversas condiciones de carga y geometría del terreno. En este contexto, se adoptó el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb, el cual es adecuado para describir el comportamiento mecánico de suelos granulares y cohesivos en proyectos de este tipo. Aunque no está específicamente diseñado para predecir la relación entre esfuerzo y deformación en el suelo, se considera una herramienta válida para compararlo con los cálculos analíticos. A través de las simulaciones, se evaluó el comportamiento general del terreno, lo que permitió validar los parámetros de diseño del terraplén y garantizar la seguridad y durabilidad de la infraestructura proyectada sobre el suelo.

Palabras claves: suelos, drenes, consolidación, modelación, infraestructura.

Abstract

The design and implementation of a methodology employing the preloading technique to enhance soil capacity in the city of Durán. This system promoted soil consolidation and, consequently, increased its bearing capacity. The process was optimized using vertical drains, which are designed to accelerate the expulsion of pore water, thereby reducing consolidation time and improving embankment stability. This method is particularly effective for highly compressible soils, as encountered in our project, and is replicable for similar conditions. The integration of vertical drains not only facilitates stabilization within less than three months in a consistent manner but also reduces the risk of differential settlements that could compromise the integrity of the planned structure.

To model soil behavior under the influence of the embankment, Terzaghi's equations were used, providing a robust theoretical foundation for analyzing soil consolidation. Additionally, the data were validated using PLAXIS software, which supported complex simulations under various loading conditions and terrain geometries. In this context, the Mohr-Coulomb constitutive model was adopted, as it is well-suited for describing the mechanical behavior of granular and cohesive soils in projects of this nature. Through these simulations, it was possible to accurately evaluate the consolidation time and stress profiles within the soil, enabling the approval of embankment design parameters to ensure the safety and durability of the future infrastructure to be constructed on the site.

Keywords: soils, drains, consolidation, modeling, infrastructure

Índice general

Resumen	I
Abstract.....	II
Abreviaturas.....	V
Simbología.....	VI
Índice de figuras	X
Índice de gráficas.....	XI
Índice de tablas	XII
Indicé de ecuaciones	XIII
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1 Antecedentes	3
1.2 Descripción del Problema	5
1.3 Justificación del Problema.....	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo 2	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1 Revisión de literatura	10
2.2 Área de estudio	13
2.3 Técnicas de mejoramiento de suelo.	18
2.4 Trabajos y ensayos de campo	27
2.4.1 Ensayo dilatómetro de Marchetti (DMT).....	28
2.4.2 Prueba penetrométrica estática (CPT)	34
2.5 Análisis de datos.....	40
2.6 Análisis de alternativas.....	47
Capítulo 3	52
3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	53
3.1 Diseños	53
3.1.1 Parámetros obtenidos del ensayo CPT.....	53
3.1.2 Perfil geotécnico del suelo.	57
3.1.3 Cálculo de asentamientos	59
3.1.4 Asentamiento por el método de Terzaghi.	60
3.1.5 Modelo constitutivo de los materiales.....	66

3.1.6	Diseño de los drenes verticales.....	67
3.1.7	Diseño del terraplén.....	68
3.1.8	Proceso de modelación en Plaxis 2D.....	69
3.2	Especificaciones Técnicas.....	75
Capítulo 4		91
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	92
4.1	Descripción del proyecto.....	92
4.2	Línea base ambiental	93
4.3	Actividades del proyecto.....	94
4.4	Identificación de impactos ambientales	96
4.5	Valoración de impactos ambientales.....	101
4.6	Medidas de prevención/mitigación	103
Capítulo 5		106
5.	PRESUPUESTO	107
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo.....	107
5.2	Rubros y análisis de precios unitarios (fusión).....	108
5.3	Descripción de cantidades de obra	110
5.4	Valoración integral del costo del proyecto	111
5.5	Cronograma de obra	112
Capítulo 6		113
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
6.1	Conclusiones.....	114
6.2	Recomendaciones	116
Referencias		118
ANEXOS		122
ANEXO A: PLANOS		123
ANEXO B: ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		127

Abreviaturas

AASTHO	Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte
ASTM	American Society for Testing and Materials
CPT	Cone Penetration Test
DMT	Flat Plate Dilatometer Testing
EDT	Estructura Desglosada de Trabajo
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenibles
PMA	Plan de Manejo Ambiental
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
APU	Análisis de precios unitarios
FS	Factor de seguridad
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
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
PVD	Drenes Verticales Prefabricados

Simbología

m	Metro
cm	Centímetro
km	Kilómetros
mm	Milímetros
d	Diámetro
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascasles
ha	Hectáreas
u	Unidad
t	Tiempo
h	Horas
\$	Dolar
c	cohesión
I_D	Índice de material
K_D	Índice de esfuerzo horizontal
E_D	Módulo dilato métrico
U_D	Índice de presión de poros
S_u	Resistencia al corte no drenado
M	Modulo vertical de drenado

V_s	Velocidad de onda de corte
A, B, C	Primeras lecturas a modificar
$\Delta A, \Delta B$	Calibración de la membrana
P_0	Primera lectura de presión corregida
P_1	Segunda lectura de presión corregida
P_2	Tercera lectura de presión corregida
OCR	Relación de sobreconsolidacion
u_2	Presión de poros
u_0	Presión de poros estático
K_0	Coeficiente de presión de tierras en reposo
$C_{\alpha\varepsilon}$	Coeficiente de compresión secundaria
C_c	Coeficiente de compresibilidad
C_r	Coeficiente de recompresión
C_v	Coeficiente de consolidación vertical
q_c	Resistencia de punta
f_s	Resistencia a la fricción lateral
Φ	Ángulo de fricción interna
S_t	Sensitividad del suelo
D%	Densidad relativa
E	Módulo de elasticidad o módulo de Young

R_M	Coeficiente de corrección
σ'_{v0}	Esfuerzo vertical efectivo
γ	Peso volumétrico húmedo
γ_d	Peso volumétrico seco
γ_w	Peso volumétrico del agua
Fr	Factor de resistencia
R_f	Relación de fricción
q_t	Resistencia de punta corregida
Q_t	Resistencia de punta normalizada
Q_{tn}	Resistencia normalizada con corrección
B_q	Razón de presión de poros
Pa	Pascal
σ_{v0}	Esfuerzo total del suelo
k	Permeabilidad
α_M	Factor de conversión
G_0	Módulo de corte máximo
w	Humedad
σ'_c	Esfuerzo de preconsolidación
$\Delta\sigma_v$	Incremento de esfuerzo
q	presión

I_z	Factor de influencia
H	Altura
S	Asentamiento
ν	Coeficiente de Poisson
ψ	Angulo de dilatancia
U	Grado de consolidación
Ch	Coeficiente de consolidación horizontal
D	Esfera de influencia
z	Profundidad
G_s	Gravedad específica

Índice de figuras

Figura 2.1 Suelos arcillosos de Duran.	10
Figura 2.2 Referencia de Google earth de la zona de estudio año 2012.	14
Figura 2.3 Referencia de Google earth de la zona de estudio año 2017.....	14
Figura 2.4 Referencia de Google earth de la zona de estudio año 2024.	15
Figura 2.5 Técnica de mejoramiento con columnas de grava fuente: (Suarez,2019)....	20
Figura 2.6 Técnica mejoramiento con fibra (Koener, 2021).	21
Figura 2.7 Técnica de mejoramiento con Cal. (HORCALSA, 2020).....	22
Figura 2.8 Técnica de mejoramiento con precarga y drenes. (Keller, 2023).	24
Figura 2.9 Esquema ejecución de compactación dinámica. (Menard, 1977).	25
Figura 2.10 Inyección de lechada. (Keller, 2008).	26
Figura 2.11 Sustitución del suelo como técnica de mejoramiento. (Doroteo,2012)	26
Figura 2.12 Proceso de electrolisis. (Terrancorp, 2014).....	27
Figura 2.13 Variación del ID según el tipo de suelo.	29
Figura 2.14 Paleta central DMT. Fuente: García Núñez (2007)	30
Figura 2.15 Lectura del DMT. Fuente: García Núñez (2007).....	30
Figura 2.16 Dimensiones de las diferentes puntas para CPT. Fuente: Marchetti (2019)35	
Figura 2.17 Ensayo CPT con su estación. Fuente (Diaz,2022)	36
Figura 2.18 Clasificación del suelo según el método de Robertson (2009)	40
Figura 2.19 Método de cimentación profunda con pilotes. Fuente (Randolph, 2008)...	48
Figura 2.20 Mejoramiento de suelo por precarga. Fuente: Piquera, 2023.....	50
Figura 3.1 Corte donde se realizó el perfil estratigráfico.	58
Figura 3.2 Perfil estratigráfico obtenido a partir de ensayos de campo.	58
Figura 3.3 Perfil estratigráfico estandarizado.....	59

Figura 3.4 Ábaco para disipación de carga con forma trapezoidal. Fuente: Mecánica de suelos II, 1995.	62
Figura 3.5 División del estrato compresible por capas.....	62
Figura 3.6 Condiciones de drenado del estrato.....	65
Figura 3.7 Distribución de drenes según Diseño de los drenes.	68
Figura 3.8 Diseño de dimensiones de terraplén en AutoCAD.	69
Figura 3.9 Definición de los materiales y capas de los estratos	72
Figura3.10 Definición del terraplén realizado por fases.....	72
Figura 3.11 Cálculo de asentamientos con terraplén en Plaxis 2D.	73
Figura 3.12 Definición del terraplén y drenes realizado por fases.	73
Figura 3.13 Cálculo de asentamientos con terraplén y drenes en Plaxis 2D.	73
Figura 5.1 Desglose de rubros para proyecto de consolidación por precarga	108
Figura 5.2 Cronograma de trabajo propuesta para el proyecto.....	112

Índice de gráficas

Gráficas 2.1 Resultados del ensayo SDMT-8 y el SDMT-5 Report.	41
Gráficas 2.2 Parámetros intermedios obtenidos del ensayo SDMT-8 Y SDMT-5.	41
Gráficas2.3 Resultado de ensayo CPTu_Z3C1	44
Gráficas 2.4 Resultado de ensayo CPTu_Z3C2	45
Gráficas 2.5 Resultado de ensayo CPTu_Z3C3	45
Gráficas 3.1 Estimaciones ensayo Z3 C1.	57
Gráficas 3.2 Estimaciones ensayo Z3 C2.	57
Gráficas3.3 Estimaciones ensayo Z3 C3.	58
Gráficas 3.4 Curva esfuerzo vs relación de vacíos.....	60
Gráficas 3.5 Ensayos de laboratorio obtenidos por la empresa Geocimientos.....	63

Índice de tablas

Tabla 2.1 Interpretación ensayos CPTU. Fuente: (Robertson, 2009).....	39
Tabla 2.2 Síntesis del análisis aproximado realizado para las tres alternativas seleccionada.....	51
Tabla 3.1 Incremento de esfuerzo según Boussinesq.....	63
Tabla 3.2 Datos de laboratorio.	63
Tabla 3.2 Análisis del esfuerzo de pre-consolidación.	64
Tabla 3.3 Asentamiento y tiempo de consolidación obtenidos por Terzaghi.....	65
Tabla 3.4 Diseño de drenes.....	68
Tabla 3.5 Calibración del coeficiente de Poisson.....	70
Tabla 3.6 Parámetros usados para los materiales.	71
Tabla 4.1 Actividades de Proyecto	96
Tabla 4.2 Tablas de calificación de la magnitud positivas e importancia del impacto ambiental	98
Tabla 4.3 Tablas de calificación de la magnitud negativas e importancia del impacto ambiental	99
Tabla 4.4 Matriz de Leopold para la identificación de Impacto Ambiental.....	100
Tabla 4.5 Tabla de valoración de valoración del impacto ambiental	101
Tabla 4.6 Tabla de valoración de valoración del impacto ambiental	101
Tabla5.1 Propuesta de presupuesto referencial	111

Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1	31
Ecuación 2.2	31
Ecuación 2.3	31
Ecuación 2.4	31
Ecuación 2.5	31
Ecuación 2.6	31
Ecuación 2.7	31
Ecuación 2.8	42
Ecuación 2.9	42
Ecuación 2.10	42
Ecuación 2.11	42
Ecuación 2.12	42
Ecuación 2.13	42
Ecuación 2.14	42
Ecuación 2.15	42
Ecuación 2.16	42
Ecuación 3.1	54
Ecuación 3.2	54
Ecuación 3.3	54
Ecuación 3.4	54
Ecuación 3.5	54
Ecuación 3.6	54
Ecuación 3.7	54
Ecuación 3.8	55

Ecuación 3.9	55
Ecuación 3.10	55
Ecuación 3.11	55
Ecuación 3.12	55
Ecuación 3.13	55
Ecuación 3.14	55
Ecuación 3.15	55
Ecuación 3.16	56
Ecuación 3.17	56
Ecuación 3.18	56
Ecuación 3.19	56
Ecuación 3.20	56
Ecuación 3.21	56
Ecuación 3.22	56
Ecuación 3.23	61
Ecuación 3.24	61
Ecuación 3.25	64
Ecuación 3.26	64

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

La consolidación por precarga es un método ampliamente utilizado en la ingeniería geotécnica para mejorar suelos blandos o altamente compresibles. Este procedimiento acelera la expulsión del agua intersticial presente en el suelo mediante la aplicación de cargas temporales, permitiendo reducir asentamientos futuros y mejorar la estabilidad del terreno.

En la ciudad de Durán, caracterizada por suelos compresibles, la consolidación por precarga es una alternativa efectiva para mitigar problemas geotécnicos en proyectos de infraestructura, especialmente en áreas donde la demanda de crecimiento urbano requiere soluciones sostenibles y técnicas especializadas.

Esta investigación tiene como propósito principal evaluar la efectividad de la consolidación por precarga utilizando drenes verticales tipo wick drain, una técnica que permite acelerar el proceso de consolidación mediante la reducción de la distancia de drenaje del agua intersticial. El análisis se complementa con la aplicación de herramientas de modelación numérica, utilizando el software Plaxis, para simular el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga y comparar su viabilidad con otros métodos de mejoramiento del suelo.

Para una caracterización precisa del terreno, se llevarán a cabo ensayos CPTu (Cone Penetration Test) y SDMT (Sismic Dilatometer Test), los cuales proporcionarán información detallada sobre las propiedades mecánicas y la resistencia del suelo. Estos ensayos permitirán definir parámetros esenciales para los modelos de consolidación y asegurar que los diseños propuestos se ajusten a las condiciones reales del sitio de estudio.

Asimismo, esta tesis busca analizar de manera comparativa por qué la consolidación por precarga, complementada con wick drains, es más viable que otros métodos de

mejoramiento del suelo, como el uso de columnas de grava o mezclas de suelos estabilizados, considerando aspectos técnicos, económicos y de tiempo. La metodología utilizada se estructurará en diferentes fases: recolección de datos geotécnicos, evaluación y selección de alternativas de mejora, modelación numérica, y validación experimental de los resultados.

Se espera que los resultados de este trabajo proporcionen lineamientos técnicos útiles para el desarrollo de infraestructuras en suelos compresibles en Durán, minimizando los riesgos de asentamientos diferidos y fallas estructurales. Además, se busca contribuir al avance del conocimiento en el ámbito de la ingeniería geotécnica, ofreciendo recomendaciones prácticas y fundamentadas para la ejecución de proyectos sostenibles en zonas con suelos de baja capacidad portante.

Finalmente, la aplicación de estos estudios busca contribuir no solo al avance del conocimiento técnico sobre suelos compresibles en el ámbito local, sino también a la adopción de prácticas más sostenibles en la ingeniería civil, favoreciendo el desarrollo seguro y eficiente de infraestructuras urbanas en Durán.

1.1 Antecedentes

La ciudad de Durán, en la provincia del Guayas, está en una región geotécnica donde hay suelos arcillosos muy compresibles, lo que no es recomendable según la normativa ecuatoriana de construcción. Estos suelos suelen generar asentamientos diferenciales en las infraestructuras en construcción, debido a su baja capacidad portante y alta susceptibilidad a la compresión, lo que puede comprometer la estabilidad de edificaciones.

El suelo empleado en cualquier construcción debe cumplir ciertos límites como el límite de falla (capacidad portante del suelo) y la falla de servicio (asentamientos diferenciales

totales) según la NEC-15. La técnica de precarga es una metodología geotécnica ampliamente utilizada para acelerar el proceso de consolidación de estos suelos, minimizando los asentamientos posteriores a la construcción.

En Durán las lluvias suelen ser intensas. En mayo, la precipitación alcanzó 120 litros por metro cuadrado, una cifra que refleja la magnitud de las lluvias en la zona. Este fenómeno fue impulsado por el calentamiento oceánico inusual en el golfo de Guayaquil, que generó fuertes tormentas y causó inundaciones en algunas áreas. Las condiciones climáticas en Durán han sido inusuales, con un superávit de precipitaciones comparado con otras zonas del país.

El clima es muy importante al evaluar los componentes de un suelo debido a que, en tiempos de lluvia, el suelo al contacto con grandes precipitaciones crea variaciones en el mismo ya que las arcillas aumentan su volumen al expandirse por el agua y cuando hay temporadas de calor se genera un fenómeno de secado donde se contraen disminuyendo así su volumen. Esto al hacerse de forma cíclica y periódica, con el tiempo se afecta al equilibrio de la cimentación y estructura que se encuentra encima del suelo.

Cuando se llega al límite, la estructura primero presenta deformaciones para después hundirse generando así agrietas y fisuras importantes en la estructura.

Existen estudios geotécnicos o ensayos de laboratorios que permiten un conocimiento detallado del comportamiento del suelo bajo cargas aplicadas y de las propiedades específicas de los suelos locales necesarios para cualquier metodología que se vaya a aplicar. Actualmente, la técnica de precarga es una alternativa viable de alta efectividad para mejorar el suelo en zonas de alta compresibilidad o consolidación.

1.2 Descripción del Problema

Guayaquil, considerada la capital económica de Ecuador, se ha consolidado como una de las ciudades más prósperas del país gracias a su puerto principal, industrias, comercio y turismo. Su expansión territorial ha alcanzado sus límites, permitiendo expandirse solo hacia el oeste, donde los costos son bastante altos.

Esta situación ha generado un aumento en la migración de personas y empresas hacia Durán, el cantón vecino, que ofrece terrenos más accesibles, disponibilidad de espacios, una facilidad logística y que se encuentra estratégicamente cerca de Guayaquil.

El crecimiento de urbanizaciones cerradas en Durán ha sido notable, pasando de 150,000 a 500,000 habitantes en 13 años, al igual que el desarrollo industrial, donde las empresas buscan aprovechar la cercanía a los recursos de Guayaquil.

No obstante, el sector industrial de Durán enfrenta un desafío significativo: la inestabilidad de los suelos arcillosos, que presentan altos niveles de compresibilidad y baja capacidad portante. Este problema genera asentamientos diferenciales que comprometen la seguridad y estabilidad de las edificaciones, lo que a su vez limita la expansión económica de la zona industrial, crucial para el desarrollo regional a largo plazo.

La empresa Geo Cimientos S.A. está trabajando en proyectos que mejorara el desarrollo urbano e industrial en esta área mediante construcción de nuevos galpones, pero se encuentra restringida por la calidad del suelo, que afecta la construcción de estructuras y galpones.

Los grandes asentamientos en edificaciones previas destacan la necesidad de implementar tecnologías de mejoramiento de suelos, tomando en cuenta factor costo y tiempo de ejecución de esta. Sin embargo, la falta de información sobre las características del suelo

en Durán, junto con la escasez de estudios y ensayos disponibles, obliga a la empresa a realizar investigaciones de campo y laboratorio para obtener datos precisos sobre el terreno.

1.3 Justificación del Problema

El mejoramiento de los suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán es una necesidad crítica para asegurar el desarrollo seguro y sostenible de nuevas infraestructuras. La alta compresibilidad de estos suelos implica que, sin un tratamiento adecuado, las estructuras construidas sobre ellos experimentarían asentamientos diferidos significativos, generando problemas como fisuras, deformaciones, y fallas estructurales.

De no resolverse este problema, las edificaciones y obras de infraestructura estarían expuestas a un alto riesgo de deterioro temprano, lo que incrementaría los costos de mantenimiento y reparación, además de comprometer la seguridad y funcionalidad de las construcciones.

Aplicar una solución eficiente como la consolidación por precarga con wick drains es fundamental para reducir estos riesgos. Esta técnica permite acelerar la expulsión del agua intersticial del suelo, minimizando los asentamientos diferidos y garantizando una mayor estabilidad del terreno antes de que las cargas permanentes sean aplicadas.

Su implementación asegura la durabilidad de las estructuras y genera importantes ahorros en comparación con otros métodos de mejora del suelo, como la estabilización con cemento, que requieren mayor inversión en recursos y tiempo.

La falta de tratamiento adecuado tendría consecuencias económicas y sociales significativas. Los desarrolladores y las autoridades enfrentarían altos costos asociados con el mantenimiento de infraestructuras defectuosas y perderían la confianza de inversores en futuros proyectos. Esto podría frenar el crecimiento urbano planificado y

limitar el desarrollo económico de la ciudad de Durán, afectando tanto proyectos residenciales como comerciales y viales.

Por otro lado, resolver este problema mediante técnicas como la precarga asistida con drenes verticales proporciona ventajas sustanciales. Al reducir los tiempos de consolidación y garantizar un comportamiento predecible del suelo, se minimizan los riesgos geotécnicos, lo que a su vez aumenta la vida útil de las construcciones. Además, esta metodología fomenta nuevas inversiones en proyectos urbanos, gracias a la reducción de incertidumbres geotécnicas y la optimización de los costos.

Abordar este problema con consolidación por precarga permitirá garantizar la estabilidad estructural, reducir costos operativos y generar confianza en el desarrollo urbano. De este modo, la ciudad de Durán y otras regiones con suelos similares se beneficiarán de un crecimiento ordenado, eficiente y seguro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el mejoramiento del suelo mediante la técnica de **precarga** en suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán reduciendo los asentamientos a largo plazo y mejorando la capacidad portante del terreno.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades geotécnicas del suelo en la ciudad de Durán mediante la realización de ensayos CPTu (Cone Penetration Test) y SDMT (Sismic Dilatometer Test), identificando así su capacidad portante y su susceptibilidad a asentamientos diferidos.

- Evaluar el comportamiento del suelo durante el proceso de consolidación por precarga, con y sin el uso de wick drains o drenes verticales, determinando su efectividad en la reducción de asentamientos a largo plazo y la mejora de la estabilidad del terreno.
- Simular mediante el programa Plaxis diferentes escenarios de consolidación por precarga, optimizando variables como la carga aplicada, la distribución de los drenes y el tiempo de consolidación, generando soluciones geotécnicas adecuadas para proyectos en suelos altamente compresibles.
- Comparar técnica y económicamente la consolidación por precarga con wick drains frente a otras alternativas, demostrando su viabilidad y sostenibilidad en la reducción de costos y tiempos de ejecución.

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

Los suelos altamente compresibles, caracterizados por experimentar una disminución de volumen aplicando cargas, por su estructura y su elevado contenido de agua, son un desafío recurrente en los proyectos de construcción. Este comportamiento es habitual en suelos blandos, particularmente en las arcillas, que destacan por su baja permeabilidad y alta plasticidad.

Debido a la aplicación de una carga externa, el agua atrapada en los poros de estas arcillas se libera lentamente, originando asentamientos significativos y prolongados en el tiempo.

En este contexto, la ingeniería geotécnica enfrenta la necesidad de mitigar los efectos adversos de estos asentamientos, que pueden continuar incluso después de aplicar la carga, afectando críticamente la estabilidad de las estructuras. De esta forma, el estudio de la compresibilidad de las arcillas resulta crucial, permitiendo a los ingenieros predecir con mayor precisión los asentamientos y emplear técnicas de mejoramiento del suelo como la precarga o el uso de mechas drenantes, con el fin de minimizar sus consecuencias (Budhu, 2015).

Figura 2.1
Suelos arcillosos de Duran.



Para complementar el análisis de estos suelos, los ensayos de campo se han consolidado como procedimientos indispensables en la evaluación de las propiedades mecánicas y el comportamiento de los materiales del subsuelo en condiciones reales. En este sentido, el libro "Field Testing in Geotechnical Engineering" de G. de Jong subraya la relevancia de estos ensayos, que permiten obtener datos cruciales para el diseño geotécnico, tales como la resistencia, la permeabilidad y la compresibilidad del suelo.

Métodos como el ensayo de penetración estándar (SPT) y las pruebas de carga de placas, entre otros, se constituyen en técnicas esenciales in situ para determinar la capacidad de carga y el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones, aportando la base para garantizar la seguridad y estabilidad en los proyectos de construcción (de Jong, 2010).

En este marco, la consolidación emerge como un concepto central, introducido por Karl Terzaghi, que lo define como el proceso por el que un suelo saturado reduce su volumen bajo una carga, expulsando gradualmente el agua contenida en sus poros. Este fenómeno, esencialmente ligado a la baja permeabilidad del suelo, ralentiza la salida del agua y, con el paso del tiempo, permite que el esqueleto del suelo soporte una mayor proporción de la carga aplicada.

Según Terzaghi, la consolidación puede dividirse en dos etapas: una primaria, en la que la mayor parte del asentamiento es relativamente rápida por la disipación del exceso de presión de poro; y una secundaria, que ocurre más lentamente y dominada por la reestructuración interna del suelo (Terzaghi, 1943).

En cuanto a la consolidación primaria, esta etapa inicial se caracteriza por la reducción de volumen del suelo saturado debido a la expulsión del agua de sus poros, que se genera al aplicar una carga externa. La rapidez con la que se desarrolla este proceso depende de

la permeabilidad del suelo, ya que la disipación de la presión de poro está ligada a la capacidad del material para liberar agua.

Tal como lo explica la teoría de Terzaghi, la duración de la consolidación primaria está gobernada por una ecuación diferencial que relaciona la presión de poro con el tiempo (Das, 2016). En contraste, la consolidación secundaria, más lenta y prolongada, se centra en el reacomodo de las partículas del suelo bajo una carga constante, sin expulsión adicional de agua. Este fenómeno es particularmente relevante en suelos arcillosos de alta plasticidad, donde puede representar una parte significativa del asentamiento total (Das, 2016).

Frente a estos desafíos, el mejoramiento de suelos ofrece una solución clave para optimizar las propiedades de los suelos problemáticos. Según Patra y Mukherjee, este conjunto de técnicas engloba intervenciones dirigidas a incrementar la capacidad de carga de los suelos o a reducir su susceptibilidad a asentamientos diferenciales, aspectos que resultan cruciales cuando las condiciones del suelo no son idóneas para la construcción.

Entre los métodos de mejoramiento más comunes se encuentran la compactación, la estabilización química mediante la adición de cal o cemento, y la instalación de sistemas de drenaje que faciliten la eliminación del exceso de agua del suelo (Leopold, 1971). A este respecto, Rowe, en su libro "Ground Improvement, Third Edition", clasifica las técnicas de mejoramiento en varios tipos, según el mecanismo que utilicen.

Las más destacadas incluyen el mejoramiento mecánico, mediante compactación dinámica o rodillos, que incrementa la densidad del suelo; el mejoramiento hidráulico, que usa sistemas de drenaje como las mechas drenantes para acelerar la consolidación; el mejoramiento químico, que incorpora estabilizantes como cal o cemento; y las

inclusiones rígidas, como pilotes o columnas de grava, que redistribuyen las cargas, mejorando así la capacidad portante del suelo (Rowe, 2012).

Finalmente, la consolidación por precarga constituye un método particularmente eficaz en suelos blandos, tal como lo detalla M. T. van Genuchten. Este procedimiento consiste en aplicar una carga temporal superior a la que soportará el suelo, para acelerar su consolidación antes de construir estructuras permanentes. De este modo, se logra reducir significativamente los asentamientos diferenciales a largo plazo, expulsando el exceso de agua en los poros y aumentando la capacidad de carga del terreno.

El uso de sistemas de drenes vertical, como mechas drenantes, suele acompañar esta técnica para optimizar su efectividad, especialmente en suelos arcillosos de baja permeabilidad (van Genuchten, 2005). Esta carga puede usar los terraplenes, estructuras de tierra compactada, usados en la construcción de carreteras, ferrocarriles y plataformas.

Su función es proporcionar una base estable y uniforme que soporte las cargas dinámicas y estáticas generadas por el tránsito y las condiciones climáticas. Para garantizar su estabilidad, se deben considerar factores como la calidad del material, la compactación y las características geotécnicas del terreno subyacente, además de implementar un diseño adecuado que evite problemas como deslizamientos o asentamientos diferenciales (Villalobos & Martínez, 2021).

2.2 Área de estudio

La ciudad de Durán, ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador, es un área con un desarrollo urbano acelerado y creciente en los últimos años. Esta expansión ha generado una demanda constante de infraestructuras, tales como edificios residenciales, comerciales e instalaciones viales, que deben adaptarse a las condiciones geotécnicas locales.

Sin embargo, Durán presenta un gran desafío para el desarrollo de estos proyectos por la naturaleza compresible de sus suelos. Estas características del terreno plantean retos técnicos que, de no abordarse adecuadamente, pueden poner en riesgo la estabilidad y durabilidad de las estructuras construidas sobre ellos.

A continuación, se presenta brevemente una línea de tiempo de los proyectos realizados durante los años en la zona de estudio para nuestra investigación.

Figura 2.2

Referencia de Google earth de la zona de estudio año 2012.



Figura 2.3

Referencia de Google earth de la zona de estudio año 2017.



Figura 2.4
Referencia de Google earth de la zona de estudio año 2024.



Se puede apreciar que, a partir del año 2012, se han comenzado con los trabajos contractivos en la zona aledaña a Procarsa. En comparación a nuestro año vigente, 2024, se denota la construcción de veinticinco naves industriales, lo cual ejemplifica la importancia del terreno para el crecimiento económico y social de Durán.

Acerca de las características geotécnicas del área, el suelo de Durán se compone principalmente de capas de arcilla de alta compresibilidad y baja capacidad portante, factores que representan una amenaza potencial para las infraestructuras y el desarrollo a futuro de la ciudad. La inestabilidad del terreno se debe a una alta saturación de agua en las partículas del suelo, lo cual aumenta su susceptibilidad a la deformación bajo carga.

Esto se traduce en una tendencia hacia asentamientos diferidos, especialmente cuando el suelo es sometido a cargas adicionales generadas por nuevas construcciones. De hecho, los suelos blandos y saturados, como los de esta zona, son susceptibles a deformaciones que pueden afectar negativamente la seguridad de las estructuras, y la zona de estudio es en el sector industrial de Durán.

En esta área de estudio se realizaron los ensayos de campo que incluyen pruebas como el CPTu (Cone Penetration Test) y el SDMT (Sismic Dilatometer Test). Estos métodos de ensayo son las principales fuentes de información del suelo, ya que permiten determinar la resistencia del suelo, su capacidad portante y otros parámetros de deformabilidad,

factores claves para el diseño y planificación de obras de consolidación y mejoramiento del terreno.

Los resultados de estos ensayos confirman que la ciudad de Durán presenta condiciones desafiantes para la construcción, y destacan la necesidad de implementar métodos de mejoramiento que optimicen el rendimiento del suelo.

Enfoque del área de estudio

Las características geotécnicas de Durán no solo suponen un reto técnico, sino también un riesgo económico y social, ya que la presencia de suelos compresibles puede resultar en costos de mantenimiento elevados y deterioro de infraestructuras si no se gestionan adecuadamente. Los suelos blandos tienden a experimentar grandes asentamientos bajo carga, los cuales no siempre se estabilizan rápidamente, resultando en deformaciones progresivas en el tiempo, incluso años después de la finalización de una obra.

Este fenómeno de asentamientos diferidos es especialmente preocupante en construcciones de gran escala, como edificios y obras viales, donde cualquier asentamiento excesivo puede comprometer la funcionalidad de la estructura y su seguridad.

Este enfoque permite identificar el problema y empezar a solucionarlo, por lo que el estudio y mejora de los suelos en Durán es vital, ya que una intervención adecuada minimizaría los asentamientos futuros y permitiría optimizar la capacidad portante del terreno.

La elección de un método adecuado para mejorar el suelo en Durán es crucial no solo desde un punto de vista técnico, sino también en términos de sostenibilidad económica y social. Durán es una ciudad en expansión, con un crecimiento en la inversión de infraestructura pública y privada.

Además, una correcta gestión de los suelos compresibles en Durán tiene el potencial de alinear los proyectos de infraestructura con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En particular, el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) se ven directamente beneficiados con la implementación de soluciones de consolidación del terreno.

El uso de métodos de precarga y la aplicación de drenes verticales para mejorar la calidad del suelo contribuyen a la construcción de infraestructuras duraderas, resilientes y sostenibles, lo que respalda el crecimiento ordenado de la ciudad.

Relevancia del Área de Estudio para el Proyecto

El área de estudio en Durán presenta una oportunidad única para aplicar y validar técnicas de consolidación del suelo en un contexto de suelos blandos y de alta compresibilidad. Esto permitirá documentar los resultados para mejorar la capacidad portante del suelo, y la reducción en los tiempos de asentamiento y los ahorros económicos que supone implementar estas técnicas frente a otras más costosas, como la estabilización con cemento o el uso de columnas de grava.

Este análisis comparativo interesa a los desarrolladores de proyectos y a las autoridades locales y empresas de construcción, ya que proporciona una base técnica y económica para tomar decisiones en futuros desarrollos urbanos en Durán y en otras zonas con características geotécnicas similares.

Por otro lado, la experiencia obtenida en este estudio puede servir como referencia para proyectos en otras áreas del país con condiciones de suelos parecidas, ampliando el impacto de los resultados y contribuyendo a un enfoque de infraestructura sostenible a nivel regional.

El área de estudio en Durán destaca por sus desafíos geotécnicos por la presencia de suelos compresibles, que requieren soluciones especializadas para soportar la expansión urbana en condiciones de estabilidad y seguridad.

La investigación propuesta se enfoca en evaluar el método de consolidación por precarga con wick drains como una solución viable para mejorar la capacidad portante del terreno, reducir los asentamientos diferidos y optimizar los costos de construcción y mantenimiento.

Este método no solo es técnicamente eficaz, sino también una opción económica y sostenible que contribuye al desarrollo urbano alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El análisis exhaustivo de las propiedades del suelo mediante ensayos de campo, junto con el modelado numérico en Plaxis, permitirá identificar los parámetros óptimos de consolidación para esta área. Estos pasos son una base sólida para recomendar la consolidación por precarga como técnica estándar en suelos de alta compresibilidad, para asegurar construcciones duraderas en Durán.

2.3 Técnicas de mejoramiento de suelo.

El uso de técnicas de mejora de suelos es fundamental en la ingeniería civil, especialmente cuando se enfrentan terrenos geotécnicamente deficientes, como suelos blandos, inestables o con baja capacidad de carga. Las técnicas pretenden optimizar las

condiciones del terreno para permitir la construcción segura y durable de estructuras, como edificios, puentes, carreteras y otras infraestructuras.

Los suelos que presentan alta plasticidad, baja densidad, alta saturación de agua o presencia de vacíos pueden ser un desafío para la estabilidad de una estructura, ya que tienden a experimentar asentamientos excesivos, desplazamientos o incluso fallas. Por ello, el mejoramiento del suelo se utiliza para aumentar la resistencia, reducir la deformación, controlar la permeabilidad y prevenir problemas derivados de la expansión o la erosión.

Las técnicas de mejora permiten acelerar la consolidación del suelo, reduciendo el tiempo de espera para que un terreno esté listo para soportar cargas importantes, algo crucial en proyectos con plazos ajustados. También se utilizan para mitigar los efectos de fenómenos naturales, como sismos o lluvias intensas, que pueden debilitar la integridad de los suelos.

En lugares con suelos altamente compresibles, como algunas zonas de Ecuador, estas técnicas proporcionan soluciones prácticas y económicas para garantizar la estabilidad y seguridad de las infraestructuras, además de reducir el riesgo de fallas geotécnicas que puedan comprometer la vida útil de un proyecto.

La elección de la técnica de mejoramiento adecuada depende de las características específicas del terreno, el tipo de estructura a construir y las condiciones ambientales del área, lo que hace que el mejoramiento de suelos sea un campo especializado y crucial para el éxito de proyectos de construcción (Murillo y Rodríguez, 2019).

Hay técnicas de mejora de suelos muy utilizadas en otros países que aún no se han implementado en Ecuador por factores como costos elevados, falta de acceso a tecnologías especializadas o simplemente por la ausencia de proyectos que justifiquen su aplicación.

En Ecuador se ve limitado principalmente por la falta de estudios detallados sobre su aplicabilidad en terrenos locales y el costo asociado con la maquinaria especializada necesaria o porque su implementación se ve restringida por los altos costos de los materiales estabilizantes. Tal es el caso de tecnologías como:

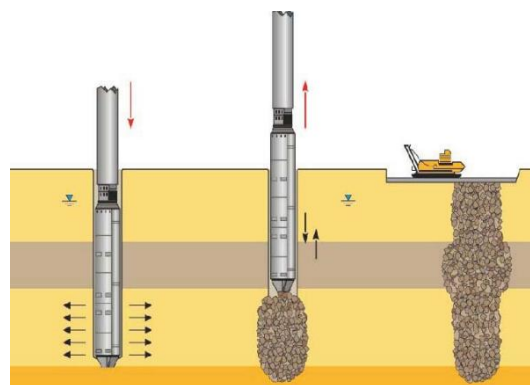
Mejoramiento con columnas de grava

La técnica de columnas de grava se usa para mejorar la capacidad de carga de suelos blandos, arcillosos o saturados que no soportan las cargas de estructuras grandes. Esta técnica consiste en perforar el terreno e insertar columnas de grava, las cuales actúan como un sistema de drenaje y refuerzo que mejora la estabilidad del suelo.

Las columnas de grava tienen la ventaja que, al distribuir la carga de manera más eficiente a través del suelo, se minimizan los asentamientos diferenciales, lo que es crucial en la construcción de infraestructuras como puentes, carreteras y edificios de varios pisos, reduciendo la presión de agua en suelos saturados, evitando problemas de consolidación (Huang, 2019). Este tipo de mejoramiento es especialmente útil en terrenos con capas superficiales débiles, pero con un buen potencial de resistencia en capas más profundas.

Figura 2.5

Técnica de mejoramiento con columnas de grava fuente: (Suarez,2019).



Mejoramiento con fibras (geosintéticos)

Los geosintéticos son materiales sintéticos diseñados para reforzar el suelo mediante su inclusión en la estructura del terreno. Estos materiales incluyen geotextiles, geomallas y fibras que, al ser colocados dentro del suelo, actúan para distribuir las cargas de manera más eficiente, aumentar la resistencia al corte y reducir la deformación bajo carga. Los geosintéticos son especialmente útiles en proyectos de infraestructura de transporte, como carreteras y ferrocarriles, donde se requieren altos niveles de estabilidad del suelo y resistencia a la erosión.

También en la estabilización de taludes y en el control de la erosión, ya que las mallas geotextiles ayudan a mantener la cohesión del suelo al permitir que las raíces de las plantas se desarrollen a través de ellas (Koener, 2014).

En suelos inestables o en áreas con alto tráfico, estos refuerzos ayudan a prevenir la deformación excesiva y a prolongar la vida útil de la infraestructura.

Figura 2.6
Técnica mejoramiento con fibra (Koener, 2021).



Métodos de estabilización química.

La estabilización química es una técnica que implica la incorporación de aditivos químicos al suelo para modificar sus propiedades físicas y mecánicas, mejorando su capacidad de carga y su estabilidad. Los estabilizantes más comunes incluyen la cal, el cemento, los polímeros y otros aditivos especializados, que alteran la estructura interna

de los suelos, aumentando la cohesión de partículas y reduciendo la plasticidad de suelos arcillosos (Smith, 2016).

Los suelos blandos o arcillosos suelen ser más propensos a la deformación, y no son adecuadas para la construcción, debido a que la cal reacciona con el agua en el suelo y con ciertos minerales, formando compuestos que aumentan la rigidez del suelo. Así, esta técnica agrega una estabilización química para mejorar la resistencia al agua de los suelos, reduciendo la posibilidad de asentamientos excesivos o fallas estructurales.

Figura 2.7
Técnica de mejoramiento con Cal. (HORCALSA, 2020).



En Ecuador, el uso de técnicas de mejoramiento de suelos es variado y pueden seleccionarse según las características específicas del terreno y las necesidades del proyecto. Aunque estas técnicas se emplean estratégicamente en proyectos de infraestructura, es importante destacar que cada una tiene sus limitaciones en términos de costos, tiempo de ejecución y condiciones geotécnicas.

Las Técnicas más usadas fuera del país son:

Precarga y drenajes verticales (PVD).

La técnica de precarga con drenes verticales, también conocida como drenaje de mecha prefabricada (PVD, por sus siglas en inglés), es un método ampliamente utilizado en la ingeniería geotécnica para mejorar suelos blandos y cohesivos. Esta técnica combina la aplicación de una carga temporal sobre el terreno, denominada precarga, con la

instalación de drenajes verticales que aceleran la disipación del exceso de presión de poro en el suelo.

Su objetivo principal es reducir el tiempo necesario para la consolidación, mejorando la capacidad de carga y minimizando los asentamientos diferenciales que podrían afectar la estabilidad de las estructuras.

El principio fundamental de esta técnica es la consolidación unidimensional del suelo, proceso en el que el agua contenida en los poros se expulsa por el aumento de tensiones generado por la precarga. Los drenajes verticales, generalmente fabricados de materiales sintéticos con alta permeabilidad, se instalan en patrones regulares para reducir las distancias de drenaje y facilitar el flujo del agua hacia la superficie.

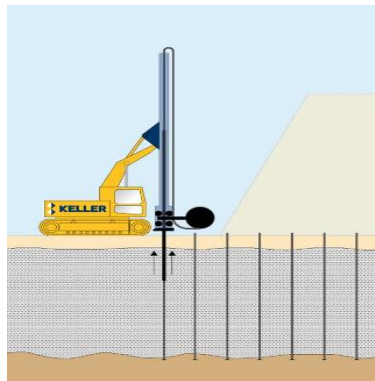
Esto acelera el proceso de consolidación, que sería muy lento por la baja conductividad hidráulica típica de los suelos arcillosos.

La precarga puede realizarse mediante la colocación de un relleno temporal, como arena o grava, o mediante técnicas avanzadas como precarga con vacío. En ambos casos, la carga induce deformaciones en el suelo, provocando la expulsión del agua intersticial y aumentando la densidad y resistencia del terreno. La inclusión de drenajes verticales no solo optimiza este proceso, sino que también permite un mayor control sobre la magnitud de los asentamientos y el tiempo requerido para alcanzarlos.

La efectividad de la técnica depende de varios factores, como las propiedades del suelo (permeabilidad, índice de compresión, coeficiente de consolidación), la disposición y espaciamiento de los drenajes verticales, y la magnitud de la precarga aplicada. La instalación de los drenajes debe realizarse de manera precisa para garantizar su correcta conexión con las capas más permeables del terreno, mientras que el diseño del patrón de instalación (triangular o cuadrado) influye directamente en la eficiencia del drenaje.

En áreas de alta humedad, como las costeras de Ecuador, la técnica es más eficiente por la interacción favorable entre el agua intersticial y los sistemas de drenaje, por lo que se puede emplear en proyectos de infraestructura, como la construcción de carreteras, puentes, aeropuertos, rellenos sanitarios, puertos y desarrollos industriales. Su versatilidad y capacidad para reducir riesgos asociados a los asentamientos hacen que sea una solución preferida en suelos arcillosos blandos, donde las alternativas tradicionales serían menos efectivas o más costosas.

Figura 2.8
Técnica de mejoramiento con precarga y drenes. (Keller, 2023).

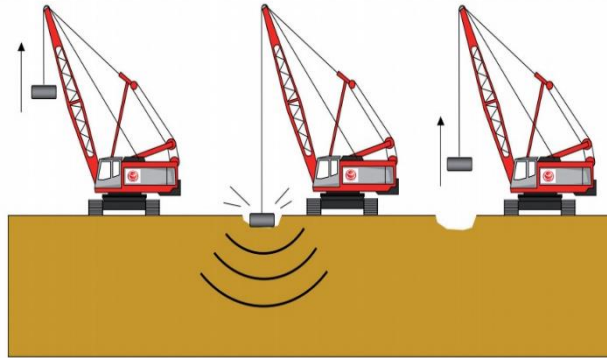


Compactación dinámica

La compactación dinámica es una técnica que se emplea para mejorar suelos granulares, como arenas y gravas, que presentan baja densidad y una alta susceptibilidad a la deformación bajo carga. En este método, se utiliza un peso que se deja caer desde una altura considerable sobre el suelo, aplicando impactos repetidos que provocan la consolidación del terreno y el aumento de su densidad.

Esta técnica es especialmente útil en terrenos urbanos o áreas donde se ha utilizado material de relleno para nivelar el terreno (Villacís, 2017). En Ecuador, ha sido común en áreas donde los suelos de relleno son blandos y necesitan ser estabilizados antes de la construcción de infraestructuras.

Figura 2.9
Esquema ejecución de compactación dinámica. (Menard, 1977).

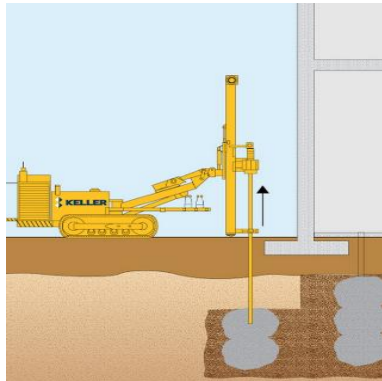


Grouting (Inyección de lechada)

La técnica de grouting, o inyección de lechada, es un método de mejoramiento de suelo que se utiliza para incrementar la cohesión y la resistencia de suelos que presentan vacíos, fisuras o porosidades que afectan su estabilidad (Pérez, 2019). Consiste en inyectar una mezcla líquida (lechada) a presión en el suelo, donde la mezcla llena los espacios vacíos, creando un terreno más sólido y menos permeable.

Este proceso se usa para mejorar suelos sueltos o rocosos que presentan baja capacidad de carga y que no pueden ser estabilizados adecuadamente mediante otras técnicas. En Ecuador, esta técnica se ha utilizado con frecuencia en proyectos de infraestructura crítica como túneles, cimentaciones profundas y otras construcciones subterráneas, especialmente en zonas de alta actividad sísmica, donde la estabilidad del suelo es crucial.

Figura 2.10
Inyección de lechada. (Keller, 2008).



Reemplazo de suelo

El reemplazo de suelo es una técnica en la que se retira el suelo inadecuado o débil de la superficie y se sustituye por un material más estable y de mayor capacidad de carga, como grava o arena compactada. Este método es comúnmente utilizado cuando el suelo superficial es demasiado blando o tiene propiedades de baja resistencia, lo que haría que los asentamientos de una estructura fueran excesivos o peligrosos (Ramírez, 2018).

El reemplazo de suelo es común en suelos arcillosos de baja resistencia, como en la región costera y zonas de expansión urbana. La principal ventaja de esta técnica es que permite crear una base firme y estable para construcciones sin la necesidad de realizar tratamientos complejos o costosos. Sin embargo, el proceso de reemplazo es costoso en términos de mano de obra y materiales.

Figura 2.11
Sustitución del suelo como técnica de mejoramiento. (Doroteo,2012)

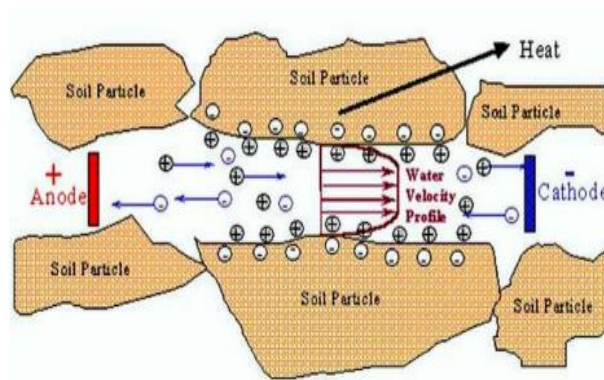


Electro-osmosis

La electro-osmosis es una técnica de mejoramiento de suelos que utiliza corriente eléctrica para movilizar el agua contenida en los poros de los suelos, especialmente en suelos arcillosos y limosos. La corriente eléctrica aplicada a través de electrodos ubicados en el terreno provoca que las partículas de agua se desplacen hacia los electrodos, lo que reduce la saturación del suelo y, como resultado, disminuye la compresibilidad y mejora la estabilidad del terreno (Ávila, 2017).

Esta técnica en suelos altamente saturados es muy eficaz, donde la presencia de agua hace que el suelo sea más susceptible a la deformación y el asentamiento. Aunque es una técnica avanzada no es común debido a su alto costo y la necesidad de infraestructura especializada para implementarla.

Figura 2.12
Proceso de electrolisis. (Terrancorp, 2014).



2.4 Trabajos y ensayos de campo

Para comprender las características geotécnicas del suelo en el área de estudio en Durán, se realizaron ensayos in situ y pruebas de laboratorio. La información recolectada en estas etapas de investigación constituye la base de los análisis y simulaciones necesarios para evaluar la efectividad de la técnica de consolidación por precarga en suelos altamente compresibles.

El trabajo de campo incluyó la realización de ensayos con dilatómetro plano (DMT) y dilatómetro sísmico (SDMT), técnicas reconocidas por su precisión en la caracterización de suelos blandos y saturados, como los que predominan en Durán. El ensayo DMT se usó para medir directamente varios parámetros del suelo, como el índice de material (ID), el índice de esfuerzos horizontales (KD), el módulo de dilatómetro (ED), y el índice de presión de poros (UD).

Estos parámetros se utilizaron para calcular el módulo vertical de drenado (M) y la resistencia al corte no drenado (S_u) en los suelos cohesivos de la zona. La información obtenida permite un entendimiento más profundo de la capacidad portante del suelo y su comportamiento frente a cargas adicionales, ambos factores críticos para el diseño de estrategias de mejora de terreno.

Por otro lado, el ensayo SDMT aportó datos clave para la evaluación de la velocidad de onda de corte (V_s), que describe la rigidez del suelo en condiciones de deformación pequeña. Este valor es de especial importancia en la validación del modelo de comportamiento del suelo bajo condiciones dinámicas, como las inducidas por la precarga.

La medición de la velocidad de onda de corte se realizó mediante un módulo sísmico equipado con geófonos, logrando registrar las ondas generadas por una fuente sísmica superficial a intervalos de 0.5 m de profundidad.

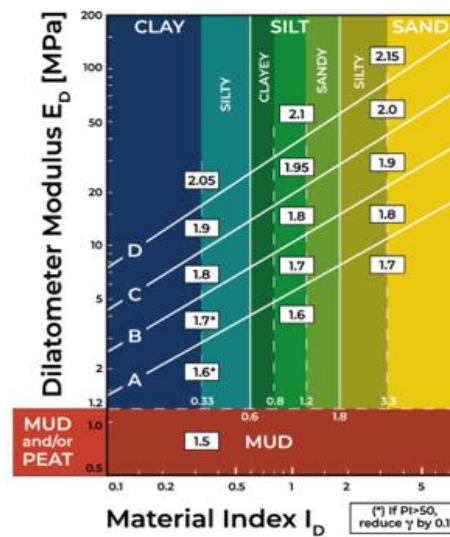
2.4.1 Ensayo dilatométrico de Marchetti (DMT)

El ensayo dilatométrico plano, conocido como DMT, es una técnica fundamental en el ámbito de la geotecnia para la caracterización del suelo. Su ejecución implica el uso de un dispositivo específico, un dilatómetro de placa, que permite obtener información precisa sobre la rigidez y otros parámetros importantes del suelo. La placa, generalmente

de acero y de forma plana, se inserta en el terreno mediante un sistema de empuje constante, y mide la resistencia que el suelo opone a una presión aplicada.

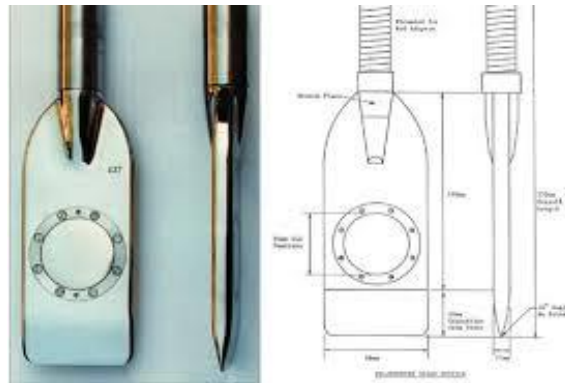
Este método se caracteriza por su capacidad de proporcionar datos en tiempo real sobre la respuesta del suelo ante diferentes niveles de presión, lo que resulta crucial para entender las propiedades mecánicas y el comportamiento del terreno.

Figura 2.13
Variación del ID según el tipo de suelo.



El proceso de realización del DMT comienza cuando se introduce el dilatómetro en el suelo a través de una varilla, similar a las usadas en otros ensayos in situ. Una vez colocado en la profundidad deseada, la placa metálica se expande gradualmente mediante la aplicación de presión desde una cámara situada en el interior del equipo.

Figura 2.14
Paleta central DMT. Fuente: García Núñez (2007)



La expansión de la placa ejerce una fuerza controlada sobre el suelo circundante, y el equipo mide tanto la presión inicial de contacto como la presión requerida para alcanzar una expansión predeterminada de la placa, valores conocidos como lecturas A, B, C. Luego estos valores sufren una modificación a través de una calibración de la membrana ΔA y ΔB , para obtener los datos conocidos como presiones P_0 y P_1 , los cuales son los parámetros fundamentales del DMT y representan la respuesta del suelo al esfuerzo lateral y la resistencia a la expansión de la placa, respectivamente.

Figura 2.15
Lectura del DMT. Fuente: García Núñez (2007)



Los resultados de este ensayo permiten a los ingenieros obtener varios parámetros geotécnicos críticos, como:

- **A, B, C** = Primeras lecturas a modificar.

- ΔA y ΔB = Calibración de la membrana

- P_0 = Primera lectura de presión corregida “antes de expandir el dilatómetro”.

$$P_0 = 1.05(A + \Delta A) - 0.05(B - \Delta B) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

- P_1 = Segunda lectura de presión corregida “luego de expandir el dilatómetro”.

$$P_1 = B - \Delta B \quad \text{Ecuación 2.2}$$

- P_2 = Tercera lectura de presión corregida “al recoger el dilatómetro”.

$$P_2 = C + \Delta A \quad \text{Ecuación 2.3}$$

- I_D Índice de material, relacionado con el tipo de suelo

$$I_D = \frac{(P_1 - P_0)}{(P_1 - U_0)} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

- K_D Índice de esfuerzo horizontal, relacionado con la relación de sobreconsolidación (OCR).

$$K_D = \frac{(P_0 - U_0)}{\sigma'_{vo}} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

- E_D Módulo Dilatométrico, determinado a partir de la teoría de la elasticidad.

$$E_D = 34.7 (P_1 - P_0) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

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.

$$OCR = (0.5K_D)^{1.56} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

- **La presión de poros en estado de equilibrio, U_0 :** presión que ejercen los fluidos en los poros del suelo en estado estático, cuando no hay flujo de agua.

Esta es aproximadamente la segunda lectura corregida P_2 .

- **Coeficiente 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.
- **Modulo vertical de drenado M :** refleja su capacidad para resistir deformaciones bajo cargas verticales a largo plazo
- **Resistencia al corte no drenado S_u :** representa la capacidad del suelo para resistir esfuerzos cortantes bajo condiciones no drenadas, es decir, sin disipación de presiones de poros.
- **Velocidad de onda de corte V_s :** es la velocidad a la que se propagan las ondas de corte en el suelo, relacionada directamente con la rigidez dinámica del mismo.

A partir de los datos obtenidos, se puede deducir la compresibilidad y la resistencia del suelo, esencial para diseñar estructuras seguras y duraderas. En suelos cohesivos, por ejemplo, los valores de P_0 , P_1 y P_2 ayudan a determinar la resistencia al corte no drenado, un factor crucial en la construcción de cimentaciones.

En suelos granulares, el DMT permite estimar el ángulo de fricción interna, muy importante para evaluar la estabilidad de taludes y el diseño de estructuras de contención.

Uno de los aspectos más destacados del DMT es su capacidad para ofrecer un perfil detallado del suelo en profundidad, lo cual significa que, a medida que el dispositivo se

introduce a diferentes niveles, se obtienen datos continuos que describen cómo varían las propiedades del suelo en función de la profundidad.

Este perfil es esencial en proyectos geotécnicos de gran envergadura, donde la variabilidad del suelo puede afectar de manera significativa el diseño de estructuras como edificios, puentes y carreteras. La capacidad de ofrecer datos en profundidad con un solo ensayo hace que el DMT sea una opción eficiente y precisa para obtener una visión global del suelo.

La interpretación de los resultados del DMT se realiza mediante correlaciones empíricas y modelos teóricos que han sido desarrollados a partir de investigaciones extensivas y estudios de campo. Estos modelos permiten calcular propiedades geotécnicas clave a partir de los valores de P_0 y P_1 , y proporcionan una base para predecir el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga.

En este contexto, el DMT se convierte en una herramienta fundamental para identificar parámetros como el índice de compresibilidad, la relación de sobreconsolidación y el módulo de elasticidad. Estos parámetros son fundamentales no solo para el diseño estructural, sino también para la evaluación de la estabilidad del terreno y la prevención de problemas de asentamiento.

El ensayo DMT tiene aplicaciones adicionales en la estimación del potencial de licuación de suelos, un fenómeno crítico en áreas sísmicas donde la estructura del suelo puede perder estabilidad debido a un aumento repentino de la presión de poro durante un evento sísmico. En estas circunstancias, los datos del DMT son valiosos para identificar las capas del suelo que podrían ser susceptibles a la licuación, lo cual permite a los ingenieros tomar medidas de mitigación adecuadas y diseñar estructuras resistentes.

De igual manera, el ensayo puede usarse para analizar el estado de compactación y la rigidez en capas de suelo de relleno, permitiendo así una evaluación confiable de su comportamiento bajo cargas de servicio.

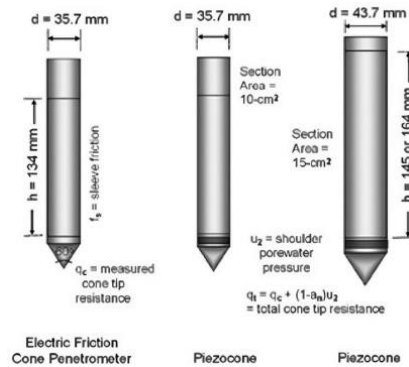
El DMT es adecuado para suelos de baja cohesión y cohesivos de consistencia media a alta. Sin embargo, en suelos muy compactos o rocosos, la inserción del dilatómetro puede resultar difícil o incluso inviable, ya que la resistencia del terreno puede exceder la capacidad de empuje del equipo.

En estos casos, el DMT se complementa con otros ensayos in situ o de laboratorio, lo cual permite una caracterización más completa del sitio. La versatilidad del DMT, combinada con su capacidad de ofrecer perfiles continuos y precisos, lo convierte en una herramienta esencial para la ingeniería geotécnica moderna.

2.4.2 Prueba penetrométrica estática (CPT)

El ensayo de penetración de cono (CPT), conocido también en la ingeniería como un método de prueba in situ de gran precisión y utilidad, representa una de las técnicas fundamentales para la caracterización geotécnica del subsuelo. Este método implica la inserción controlada de un cono metálico a través del suelo mediante una serie de varillas, avanzando a una velocidad constante y registrando la resistencia ofrecida por el terreno en cada punto de la profundidad. Este proceso permite, en efecto, derivar perfiles precisos y continuos que capturan la respuesta mecánica del suelo, esencial para la planificación estructural y la estabilidad de cimentaciones en proyectos de construcción. 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).

Figura 2.16
Dimensiones de las diferentes puntas para CPT. Fuente: Marchetti (2019)



En términos operativos, el CPT se realiza utilizando un cono estandarizado de 60 grados y una superficie específica de área (usualmente 10 cm^2 o 15 cm^2), que se empuja a través del suelo a una velocidad de 2 cm por segundo. Este avance gradual asegura la obtención de mediciones uniformes, sin importar las particularidades del operador o las condiciones del terreno. Así, el ensayo CPT da una base robusta para interpretar las propiedades mecánicas y de comportamiento del suelo en la profundidad de prueba, algo invaluable en los estudios de ingeniería de campo.

El sistema de medición del CPT proporciona tres parámetros fundamentales (véase, figura 9):

- **q_c :** resistencia de punta
- **f_s :** Resistencia a la fricción lateral
- **u_2 :** presión de poro

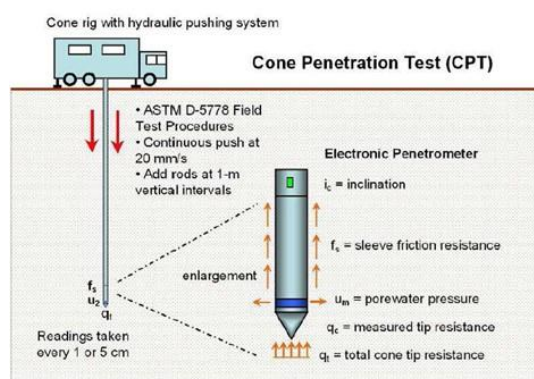
esta última disponible en configuraciones con piezocono (CPTu). La resistencia de punta representa la fuerza del suelo contra el cono y proporciona información crítica sobre la capacidad de carga del suelo, así como su densidad relativa.

Resistencia a la fricción lateral mide la resistencia lateral en el cono, útil para evaluar la cohesión del suelo, un aspecto crucial para distinguir entre suelos de grano grueso y suelos

cohesivos. En cuanto a la presión de poro, el sensor mide la presión ejercida por el agua dentro de los poros del suelo, un parámetro que aporta claridad sobre el comportamiento de los suelos saturados y su respuesta ante condiciones de alta humedad.

Estos datos ofrecen una perspectiva detallada y continua del comportamiento del suelo bajo carga, permitiendo clasificar y tipificar los tipos de suelo en la profundidad investigada.

Figura 2.17
Ensayo CPT con su estación. Fuente (Diaz,2022)



Los resultados obtenidos del CPT permiten construir perfiles del subsuelo que reflejan la variación de resistencia en distintas profundidades y son fundamentales para una clasificación preliminar del tipo de suelo en cada zona de estudio. Así, los datos obtenidos muestran cómo los suelos de grano fino, como las arcillas, presentan una resistencia de punta baja pero una alta resistencia de fricción, en contraste con los suelos de grano grueso, como las arenas, que exhiben una resistencia de punta elevada y menor fricción.

Esta interpretación permite inferir que a mayor resistencia de punta corresponde una mayor densidad y estabilidad del suelo, mientras que valores altos de fricción pueden indicar suelos cohesivos.

La capacidad del CPT para proporcionar un perfil continuo del suelo con alta precisión a lo largo de la profundidad es una de sus principales virtudes. Este nivel de detalle es muy

valioso en proyectos de ingeniería civil, donde la variabilidad del suelo en profundidad puede influir en el diseño de estructuras, como cimentaciones para edificios o puentes.

Es ventajoso comparado con otros métodos que requieren la extracción de muestras, ya que el CPT permite una evaluación directa del suelo in situ, reduciendo costos y simplificando el proceso. En casos donde se necesita una muestra física, el equipo puede incluir herramientas de muestreo que permiten recolectar muestras en puntos específicos guiados por los datos obtenidos en la prueba inicial.

La interpretación del CPT se apoya en correlaciones empíricas obtenidas a través de décadas de investigación y ensayos de campo, lo cual permite derivar estimaciones de propiedades clave como la densidad relativa, la resistencia al esfuerzo cortante y la capacidad de carga del suelo.

En suelos no cohesivos, como arenas y gravas, el CPT se usa para estimar la densidad relativa, mientras que en suelos cohesivos como las arcillas se aplica para derivar la resistencia no drenada y el índice de sobreconsolidación, una medida que indica la carga máxima histórica soportada por el suelo. Estos parámetros son esenciales para el diseño de cimentaciones seguras y la planificación estructural, asegurando la estabilidad y seguridad de las estructuras propuestas.

El CPT también tiene un rol preeminente en la evaluación de riesgos de licuación de suelos, un fenómeno crítico en áreas sísmicas donde, debido al aumento repentino de la presión de poro, el suelo puede perder temporalmente su capacidad de soporte. La detección de este tipo de suelos vulnerables a través del CPT permite a los ingenieros planificar medidas preventivas y de mitigación en diseños estructurales.

La precisión de los resultados obtenidos se optimiza mediante la normalización de los datos, lo cual permite hacer ajustes en los valores de q_c y f_s para reflejar únicamente las

propiedades inherentes del suelo, sin influencias de la carga de las capas superiores. La normalización de los resultados permite comparaciones consistentes entre diferentes profundidades y sitios, favoreciendo una interpretación más precisa de las características del suelo.

Es importante señalar que existen variantes avanzadas del CPT, tales como el piezocono (CPTu) para medición de presión de poro y el CPT sísmico (SCPT), que permite registrar la velocidad de propagación de ondas sísmicas en el suelo. Estas configuraciones permiten no solo evaluar la resistencia del suelo, sino también determinar parámetros de rigidez y capacidad de propagación de ondas, esenciales para el diseño en zonas de alta actividad sísmica.

Según los datos obtenidos, el suelo se puede clasificar con los métodos de Robertson (2009) y Schneider et al. (2008). Según la clasificación de Robertson (2009) (Figura 9, perfil izquierdo), se identificaron las siguientes características estratigráficas:

La caracterización da una visión detallada de la estratigrafía del suelo, resaltando la alternancia y homogeneidad de los estratos en diferentes profundidades, clave para el análisis y diseño geotécnico.

Los parámetros q_c , f_s y u_2 permiten identificar el perfil estratigráfico del subsuelo, ya que están estrechamente relacionados con las propiedades fundamentales de los suelos.

Un mayor valor de resistencia a la penetración en la punta (q_c) indica un mayor tamaño de grano, una mayor relación de sobreconsolidación (OCR) o una compactación más elevada del suelo.

Por otro lado, valores bajos de rozamiento lateral (f_s) suelen estar asociados a granulometrías más gruesas, una mayor sensibilidad y valores más bajos de OCR.

Finalmente, un aumento en la presión de poros (u_2) tiende a correlacionarse con granulometrías más finas, mayor resistencia a la compresión simple, menor OCR y una mayor sensibilidad del suelo.

A partir de estos parámetros, es posible clasificar los diferentes tipos de suelo. Entre los métodos más utilizados destaca la clasificación de Robertson, aplicada mediante el piezocono (figura 10).

Es importante mencionar que de igual manera que los demás estudios, los resultados de los piezoconos, fundamentalmente la resistencia por punta del cono q_c , pueden correlacionarse con otros parámetros geotécnicos como el ensayo SPT, resistencia al corte no drenado S_u , densidad relativa $D\%$, ángulo de rozamiento interno o módulo de elasticidad E .

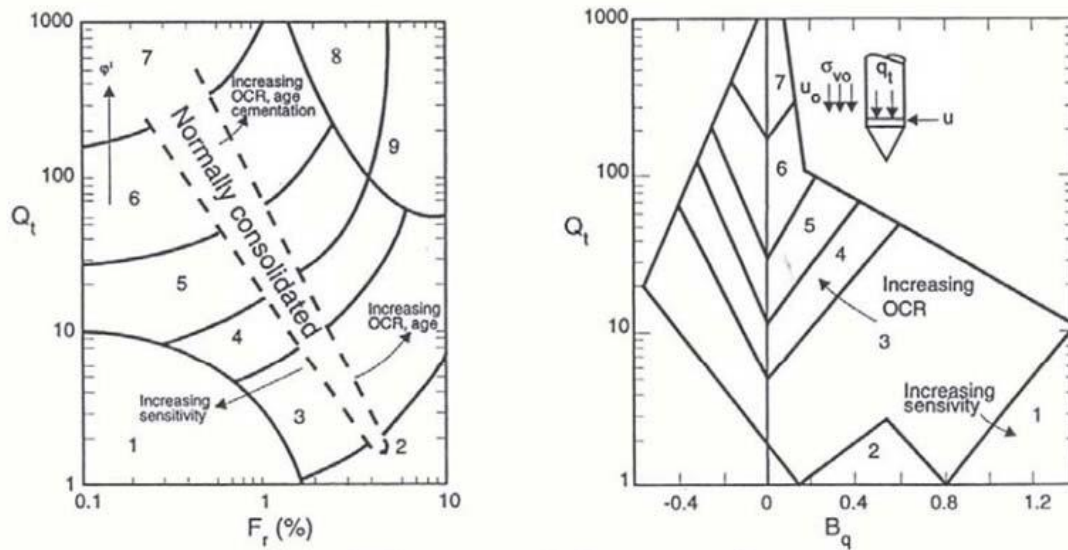
Según (Robertson, 2009) en su ensayo van a existir nueve zonas en las cuales se podrá clasificar un suelo (Figura 13) y son las siguientes:

Tabla 2.1
Interpretación ensayos CPTU. Fuente: (Robertson, 2009)

Zona	Tipo de comportamiento del suelo
1	Sensible, de grano fino
2	Suelos orgánicos-turbas
3	Arcillas - de arcilla a arcilla limosa
4	Mezclas limosas: limo arcilloso a arcilla limosa
5	Mezclas arenosas: arena limosa a limo arenoso
6	Arenas: arenas limpias a arenas limosas
7	Arena gravosa a arena
8	Arena muy rígida a arena arcillosa
9	Muy rígido de grano fino

Figura 2.18

Clasificación del suelo según el método de Robertson (2009)



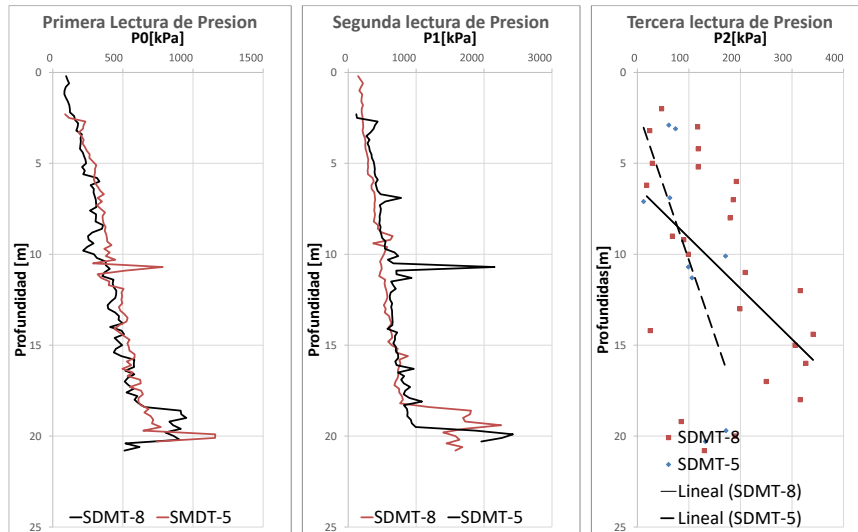
2.5 Análisis de datos

Para entender cuál el comportamiento del suelo y sus propiedades para saber la factibilidad constructiva, se utilizó el software Microsoft Excel, que obtuvo los principales parámetros calculables según los datos proporcionados en cada ensayo. Dichos resultados resultan fundamentales para realizar calibraciones y discreciones con el modelo constructivo del software analítico geotécnico que se va a implementar en el capítulo de diseño.

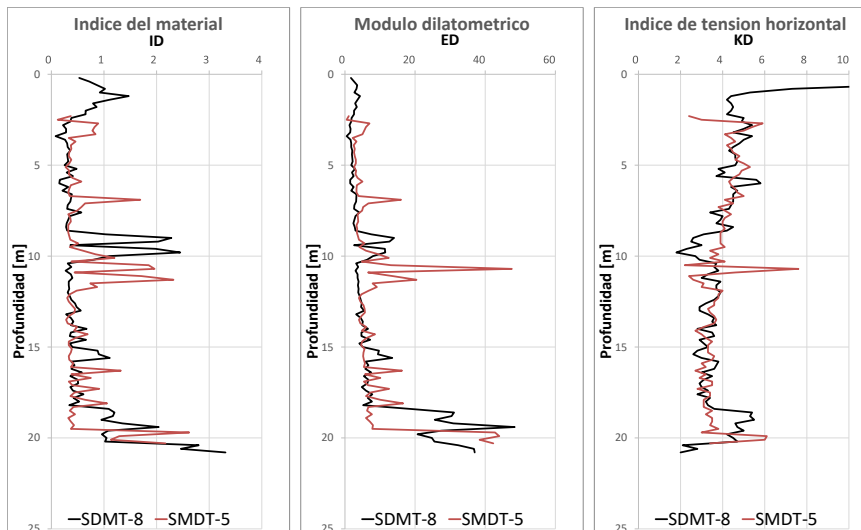
Ensayo SDMT

En la Figura se muestran los valores de los índices de material que se obtuvieron del ensayo dilatométrico SDMT_Report, a partir de los parámetros iniciales P_0 y P_1 . En este ensayo 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.

Gráficas 2.1
Resultados del ensayo SDMT-8 y el SDMT-5 Report.



Gráficas 2.2
Parámetros intermedios obtenidos del ensayo SDMT-8 Y SDMT-5.



Estos parámetros se obtuvieron mediante las correlaciones I_D , K_D , E_D (Ec: 2.4, 2.5, 2.6).

Parámetros extras del ensayo DMT.

Estos parámetros pueden recabar información extra acerca del suelo tales como el OCR, S_u o M y estos se pueden obtener a partir de los parámetros intermedios mediante las siguientes formulas.

Se requiere también el parámetro R_M que tiene condicionantes según los resultados de los parámetros previos.

$$M = R_M \cdot E_D \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Si ($I_D \leq 0.6$)

$$R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Si ($I_D \geq 3$)

$$R_M = 0.5 + 2 \log K_D \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Si ($0.6 < I_D < 3$)

$$R_M = R_{M0} + (2.5 - R_{M0}) \log K_D \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$$R_{M0} = 0.14 + 0.15(ID + 0.6) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Si ($K_D > 10$)

$$R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Si ($R_M < 0.85$)

$$R_M = 0.85 \quad \text{Ecuación 2.14}$$

$$Su = 0.22\sigma'v_0 \cdot (0.5K_D)^{1.25} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

$$OCR = (0.5K_D)^{1.56} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Mediante correlaciones empíricas y fórmulas de reducción documentadas en normas internacionales (ASTM D6635-15, Eurocode 7 e ISO 22476-11:2017), se derivaron parámetros avanzados, como el módulo de compresibilidad (M), el factor de sobreconsolidación (OCR) y la resistencia al corte no drenado (Su). Estos valores son

fundamentales para modelar el comportamiento del suelo y proyectar el impacto de la precarga en la reducción de asentamientos.

A partir de la gráfica del perfil DMT (Dilatómetro de Marchetti), se puede extraer información valiosa sobre la variabilidad de los estratos y su impacto en la capacidad de carga, deformabilidad y estabilidad de la estructura.

El ensayo de dilatómetro sísmico (SDMT) se utilizó para medir la velocidad de onda de corte (V_s), un parámetro crítico para evaluar la rigidez dinámica del suelo. La velocidad de onda de corte permite calcular el módulo de corte máximo (G_0), a partir de la relación $G_0 = \rho \cdot V_s^2$, donde ρ es la densidad del suelo. Este módulo de corte es particularmente útil para analizar el comportamiento del suelo bajo la aplicación de cargas dinámicas, como las inducidas durante el proceso de precarga.

El análisis de los datos sísmicos se realizó mediante un método de interpretación de intervalo verdadero, utilizando registros en intervalos de 0.5 m de profundidad. Este enfoque proporciona un perfil de rigidez detallado para cada estrato de suelo, permitiendo identificar las capas de mayor y menor resistencia y determinar así la disposición óptima de los drenes verticales.

Con los valores de módulo de deformación (M) y resistencia al corte (S_u) obtenidos de los ensayos DMT y SDMT, se evaluó la capacidad portante del suelo en diversas profundidades. La capacidad portante es un factor esencial en el diseño de la precarga, ya que define los límites de carga que el terreno puede soportar sin sufrir deformaciones excesivas o fallas de estabilidad.

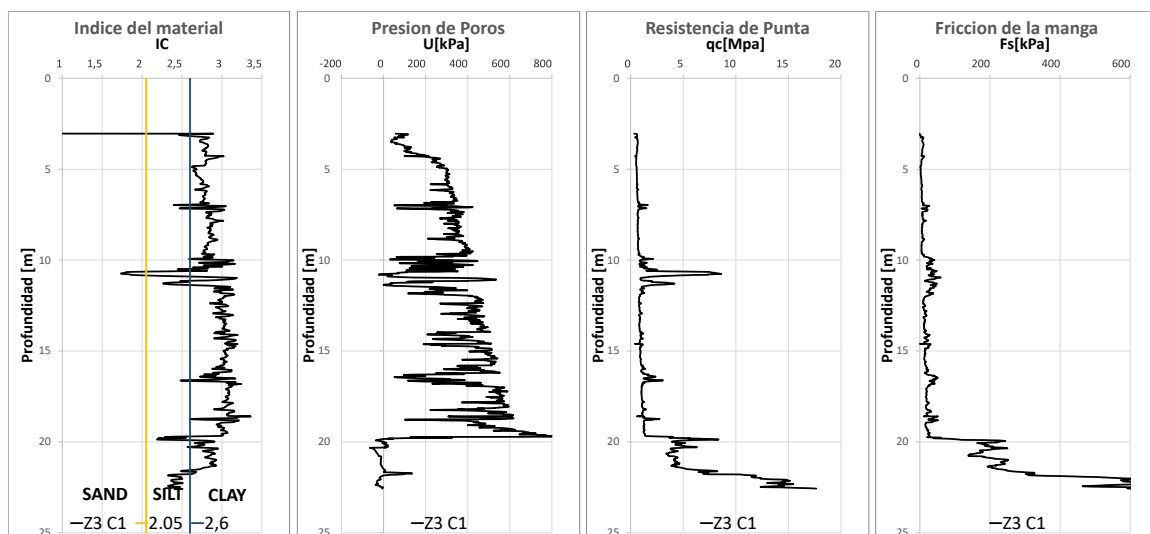
Ensayo CPTu

Parámetros complementarios a partir de los ensayos

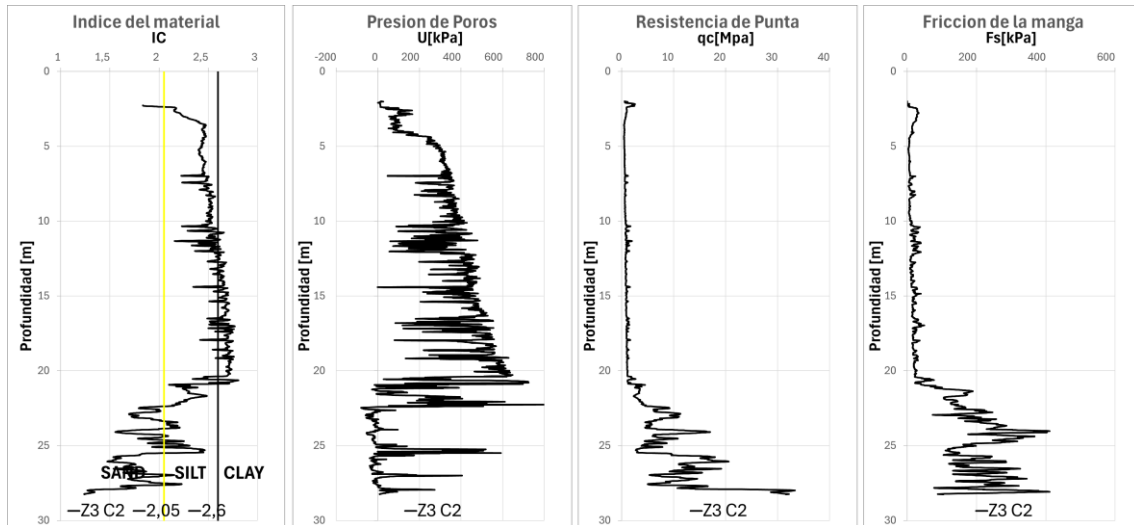
Como se mencionó anteriormente se pudo obtener: el grado de sobre consolidación (OCR), peso volumétrico (γ) e índice de vacío (e_0). Partiendo del ensayo CPT se obtuvo la determinación del grado de sobre consolidación en las capas de suelos arcillosos, mediante fórmulas sofisticadas como Kulhawy y Mayne (1990) como se puede observar en el capítulo 3.

Los resultados de cada parámetro se presentan a continuación para los ensayos CPTu.

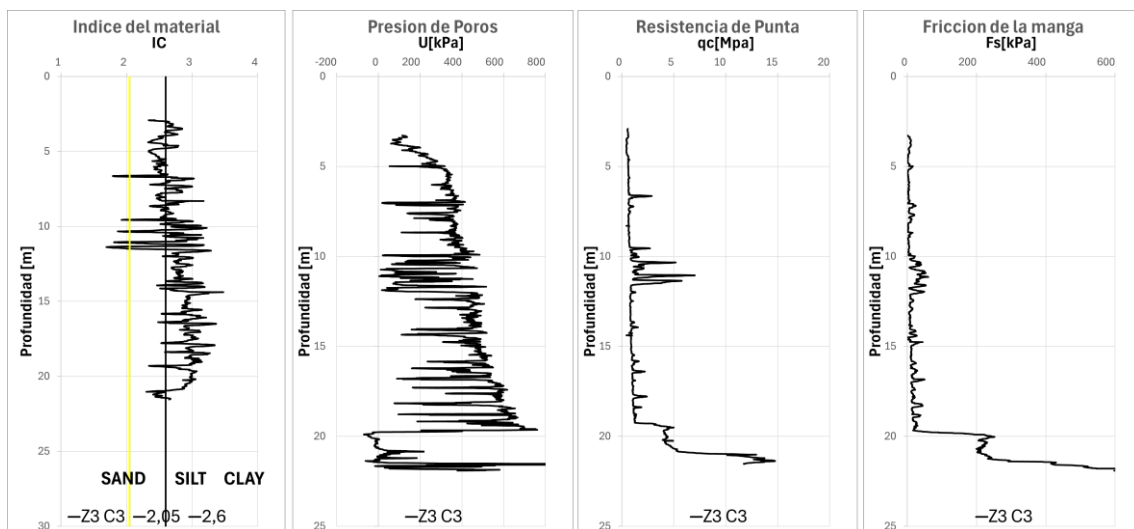
Gráficas2.3
Resultado de ensayo CPTu_Z3C1



Gráficas 2.4
Resultado de ensayo CPTu_Z3C2



Gráficas 2.5
Resultado de ensayo CPTu_Z3C3



El análisis de las capas del suelo en el área de estudio revela características importantes para el diseño de cimentaciones.

Capa superficial, predominantemente compuesta por arcilla limosa, esta capa presenta alta compresibilidad, baja capacidad portante y susceptibilidad a licuación en caso de sismos. Estas propiedades la hacen propensa a asentamientos significativos y problemas de estabilidad, especialmente por su sensibilidad a la humedad.

Estrato intermedio, se caracteriza por una composición heterogénea que alterna entre arcilla, limo arenoso y arena, lo que incrementa la rigidez relativa en ciertas zonas debido a la presencia de capas arenosas. Aunque estas capas mejoran la capacidad portante y facilitan el drenaje, las transiciones entre materiales cohesivos y no cohesivos pueden causar asentamientos diferenciales y concentraciones de esfuerzos, requiriendo un análisis detallado.

Estrato profundo, compuesto principalmente por arena y arcilla, es más competente en capacidad portante y presenta menor compresibilidad, lo que reduce los asentamientos a largo plazo. Sin embargo, se deben realizar evaluaciones adicionales para descartar el riesgo de licuación bajo cargas sísmicas, especialmente en zonas con alto contenido de finos.

El análisis del perfil geotécnico revela un subsuelo con características heterogéneas, donde la capacidad de carga y la deformabilidad varían significativamente con la profundidad. La combinación de arcillas superficiales de baja resistencia y estratos arenosos más densos a mayor profundidad sugiere que las cimentaciones profundas son la opción más viable para garantizar la estabilidad de la estructura.

Además, es fundamental considerar estudios complementarios, como pruebas de carga de pilotes o análisis sísmicos, para validar los resultados obtenidos y optimizar el diseño.

Se utilizó la información obtenida para estimar los asentamientos potenciales bajo diferentes escenarios de carga, considerando tanto los efectos inmediatos como los asentamientos diferidos. A través de las correlaciones propuestas en las normativas y en la literatura técnica, se determinó el rango de asentamientos esperados y se identificaron las zonas críticas donde la precarga tendría el mayor impacto en la mejora del suelo.

2.6 Análisis de alternativas

En este capítulo se estudiarán las alternativas reales para implementar en nuestro proyecto y cuáles son las ventajas de dichas soluciones. En el capítulo 2.3, técnicas de mejoramiento de suelo, se habló de la necesidad imperativa de considerar técnicas para el mejoramiento de suelos y evitar problemas a futuro que podrían presentarse en nuestras estructuras. Este método será considerado como nuestra alternativa 1.

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

Vida útil: Estudios documentados en "Soil Mechanics and Foundation Engineering" (Das, 2016) indican una vida útil promedio de 50 - 75 años para suelos tratados con precarga.

Costo: Según estudios en consolidación (Eurocode 7, ISO 22476-11) y reportes de proyectos previos (Kramer, 2008), el costo promedio es de \$30 - \$50 por m², considerando instalación de drenes y material de precarga. Para un área de 10,000 m², el costo total es de \$300,000 - \$500,000.

Tiempo de ejecución: Referencias como "Geotechnical Design – Part 2: Ground Investigation and Testing" (Eurocode 7) sugieren que los drenes verticales reducen los tiempos de consolidación en un 50 - 70%, resultando en un tiempo estimado de 6 - 12 meses.

CO₂: Según reportes de sostenibilidad (ICE Database, 2019), las emisiones de maquinaria para instalación de drenes son moderadas, estimadas en 3 - 5 toneladas por cada 10,000 m².

Para continuar, es fundamental hablar de nuestra siguiente alternativa la cual es cimentación profunda con pilotes:

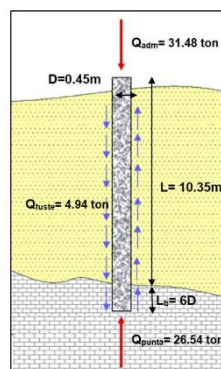
Alternativa 2: reforzamiento de suelo con pilotes.

Los pilotes de fricción son una solución de cimentación que se utiliza para transferir las cargas de una estructura a capas de suelo más profundas y resistentes. A diferencia de los pilotes de punta, que se apoyan en una capa dura en el fondo del agujero perforado, los pilotes de fricción dependen de la fricción entre el pilote y el suelo circundante para resistir las cargas.

Se insertan en suelos blandos o compresibles y se utilizan cuando las capas superficiales no son suficientemente estables para soportar una estructura pesada. Los pilotes de fricción funcionan creando una interacción entre la superficie del pilote y el suelo circundante, lo que distribuye las cargas a través de una mayor profundidad. Este método es más económico y fácil de instalar que otros métodos de cimentación profunda, como los pilotes de punta, y se emplea en muchas áreas donde las capas superficiales de suelo son inadecuadas para soportar cargas sin el uso de refuerzos adicionales (Randolph, 2008).

Aunque es una técnica eficaz y relativamente rentable, en Ecuador su implementación es menos común debido a que en muchas zonas las condiciones geotécnicas permiten la utilización de otras técnicas de cimentación, como las zapatas o pilotes de punta.

Figura 2.19
Método de cimentación profunda con pilotes. Fuente (Randolph, 2008)



Costo: Según "Pile Design and Construction Practice" (Tomlinson & Woodward, 2014), el costo por m² varía entre \$80 - \$150, dependiendo del tipo de pilote y la profundidad requerida. Para 10,000 m², el costo total sería de \$800,000 - \$1,500,000.

Tiempo de ejecución: Basado en reportes del FHWA (Federal Highway Administration), el tiempo requerido para pilotes es menor, estimado en 3 - 6 meses, dependiendo del tamaño del proyecto.

Emisión CO₂: ICE Database (2019) y estudios sobre sostenibilidad en cimentaciones profundas indican emisiones de 15 - 25 toneladas por cada 10,000 m², debido al uso intensivo de concreto y acero.

Vida útil: Según Tomlinson (2014), la vida útil de cimentaciones profundas se estima entre 75 - 100 años, siempre que se realice un mantenimiento adecuado.

Alternativa 3: mejoramiento de suelo por precarga sin drenes verticales.

La precarga es un método que implica aplicar al terreno una carga equivalente o superior a la que generará la estructura durante su vida útil. Este proceso induce la consolidación del suelo, lo que resulta en un aumento de su resistencia y una reducción significativa de los asentamientos post-constructivos.

En ciertos casos, la precarga puede ser ejecutada cuando la construcción está terminada o en una fase avanzada, como ocurre en instalaciones destinadas al almacenamiento de líquidos, donde las cargas finales requieren ajustes específicos en el suelo.

La precarga es un método de mejora especialmente diseñado para suelos cohesivos blandos, que presentan alta susceptibilidad a asentamientos significativos incluso bajo cargas relativamente pequeñas, con una evolución lenta de estos asentamientos. Además,

su baja resistencia al corte puede dar lugar a fallas, como deslizamientos de terraplenes o hundimientos de cimentaciones superficiales.

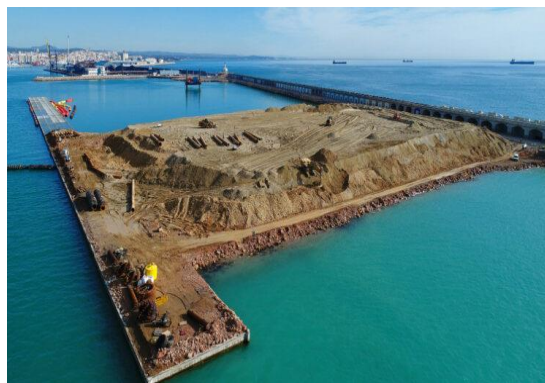
Cuando estos suelos son sometidos a una carga inicial, pueden experimentar deformaciones de 5 a 10 veces mayores en comparación con las deformaciones producidas en cargas posteriores tras haber sido precargados y descargados. En algunos casos, esta deformación inicial puede variar entre 2 y 20 veces más, según lo señalado por el Ministerio de Fomento (2002).

La profundidad efectiva del tratamiento puede alcanzar varias decenas de metros, dependiendo de las características del terreno y los objetivos del proyecto.

En los suelos blandos, los asentamientos generados son prácticamente irreversibles. Aunque las cargas aplicadas se retiran, el terreno no recupera su posición original por la naturaleza plástica de estos materiales. Sin embargo, al volver a aplicar una carga equivalente a la previamente ejercida, los asentamientos son nulos o significativamente menores, ya que el terreno ya ha experimentado una consolidación inicial bajo esa carga.

Figura 2.20

Mejoramiento de suelo por precarga. Fuente: Piquera, 2023



Tiempo de ejecución: este método depende completamente de la permeabilidad del suelo, como se describe en "Principles of Geotechnical Engineering" (Braja M. Das, 2016). El tiempo estimado es de 12 - 24 meses.

Costo: según el manual de procedimientos de precarga de "Terzaghi & Peck" (1967), el costo se reduce al eliminar los drenes verticales, siendo de \$20 - \$30 por m², o un total de aproximadamente \$300,000 para un área de 10,000 m².

Emisiones de CO₂: ICE Database (2019) indica que las emisiones son menores que las de los drenes verticales, con un rango de 2 - 4 toneladas por cada 10,000 m².

Vida útil: similar al método con drenes, la vida útil se estima en 50 - 75 años, según estudios documentados en la literatura técnica (Eurocode 7).

Tabla 2.2

Síntesis del análisis aproximado realizado para las tres alternativas seleccionada.

Criterio	Precarga con drenes verticales	Precarga sin drenes	Cimentaciones profundas
Costo (\$/m²)	30-50	20-30	80-150
Costo total (10,000 m²)	300,000-500,000	200,000-300,000	800,000-1,500,000
Tiempo de ejecución (meses)	6-12	12-24	3-6
Emisiones de CO₂	3-5	2-4	15-25
Vida útil (años)	50-75	50-75	75-100
Ventajas	Reducción rápida de asentamientos. Costo razonable.	Económico. Menores emisiones.	Solución inmediata y efectiva.
Desventajas	Requiere maquinaria especializada.	Tiempo prolongado de consolidación.	Alto costo y gran impacto ambiental.

Capítulo 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

En este capítulo se aborda el diseño técnico y las especificaciones constructivas requeridas para implementar el método de consolidación por precarga con drenes verticales, óptima solución para mejorar las condiciones de los suelos compresibles en Durán. Este análisis se desarrolla con el propósito de garantizar un desempeño estructural adecuado, un proceso constructivo eficiente y el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad establecidos para el proyecto.

3.1 Diseños

Este capítulo aborda el cálculo de los asentamientos por consolidación generados por la carga del terraplén sobre el suelo, proporcionando una base técnica para evaluar la efectividad de esta solución en el mejoramiento de las condiciones del terreno.

Al analizar los asentamientos inducidos, se podrá determinar en capítulos posteriores si el terraplén es suficiente para minimizar los riesgos y evitar deformaciones excesivas, asegurando la estabilidad estructural y reduciendo la necesidad de costosos trabajos de mantenimiento o remodelación en el futuro.

3.1.1 Parámetros obtenidos del ensayo CPT

Según los datos y parámetros obtenidos de los ensayos CPTu y SDMT que se encuentran en el capítulo 2, es posible realizar estimaciones de los asentamientos a través de correlaciones empíricas desarrolladas por autores como Robertson, Wayne, entre otros. Estas correlaciones permiten relacionar parámetros importantes con el comportamiento de asentamiento bajo carga.

Estimaciones:

- **Rf (Relación de fricción):** Relación entre fuerza de fricción y resistencia al cono.

Ayuda a identificar tipos de suelos.

$$Rf = \left(\frac{fs}{qt} \right) * 100\% \quad \text{Ecuación 3.1}$$

- **qt (Resistencia corregida):** Modificación de qc considerando otros factores (p.ej., presión de poros).

$$qt = qc + u_2(1 - a) \quad \text{Ecuación 3.2}$$

- **u₀ (Presión inicial):** Base para cálculos de presión diferencial.

$$u_0 = u_2 - \Delta u \quad \text{Ecuación 3.3}$$

- **γ (Peso volumétrico húmedo):** Densidad del material multiplicada por la gravedad. Según Roberson, 2010.

$$(0.27 \log Rf + 0.36 \log \frac{qt}{pa} + 1.236) * \gamma_w \quad \text{Ecuación 3.4}$$

- **B_q (Razón de presión de poros):** Mide efectos de presión intersticial en resistencia.

$$B_q = \frac{\Delta u}{qn} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

- **Fr (Factor de resistencia):** Relación entre esfuerzos actuantes y permitidos.

$$Fr = \frac{fs}{qt - \sigma_{v0}} * 100\% \quad \text{Ecuación 3.6}$$

- **Qt (Resistencia de punta normalizada):** Variación de resistencia que se usa para clasificar.

$$Qt = \left(\frac{qt - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad \text{Ecuación 3.7}$$

- **Qtn (Resistencia normalizada con corrección):** Qc ajustado para condiciones específicas.

$$Qtn = \left(\frac{q_t - \sigma_{vo}}{Pa}\right) \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}}\right)^n \quad \text{Ecuación 3.8}$$

$$n = 0.381(Ic) + 0.05 \left(\sigma'_{vo} \frac{Pa}{Pa}\right) - 0.15 \quad \text{Ecuación 3.9}$$

- **IC (Índice del material):** Representa cuán denso está un suelo.

$$Ic = \sqrt{((3.47 - \log Qtn)^2 + (\log Fr + 1.22)^2)} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

- **OCR (Razón de sobre consolidación):** Indica si un suelo ha soportado mayores esfuerzos en el pasado. Mediante fórmula de Kulhawy y Mayne (1990), tomando un valor promedio de k= 0.33.

$$OCR = k * Qtn \quad \text{Ecuación 3.11}$$

- **Permeabilidad:** Mide la capacidad del material para permitir flujo de líquidos.

$$\text{Cuando } 1.0 < Ic < 3.27$$

$$k = 10^{(0.952 - 3.04Ic)} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

$$\text{Cuando } 3.27 < Ic < 4.0$$

$$k = 10^{(-4.52 - 1.37Ic)} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

- **αM (Factor de conversión):** Relación entre módulo de elasticidad y resistencia.

$$\text{Cuando } Ic > 2.2:$$

$$\alpha M = Qt \quad \text{Cuando } Qt < 14 \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$\alpha M = 14 \quad \text{Cuando } Qt > 14 \quad \text{Ecuación 3.15}$$

$$\text{Cuando } Ic < 2.2$$

$$\alpha M = 0.0188[10^{(0.55Ic+1.68)}]$$

Ecuación 3.16

- **M (Modulo vertical de drenado):** Resistencia del material a deformarse.

$$M = \alpha M(qt - \sigma_{vo})$$

Ecuación 3.17

- **Cc (Coeficiente de compresión):** Mide cuánto se compacta un suelo al aplicar carga.

$$Cc = 0.141Gs\left(\frac{\gamma_{saturado}}{\gamma_{seco}}\right)$$

Ecuación 3.18

- **Cr (Coeficiente de recompresión):** Relacionado con la recuperación volumétrica. Mediante fórmulas empíricas lo relacionan con el CC.

$$Cr = 0.1CC$$

Ecuación 3.19

- **Cv (Coeficiente de consolidación):** Describe la velocidad de consolidación de un suelo.

$$Cv = \frac{kM}{\gamma_w}$$

Ecuación 3.20

- **w (Humedad %):** Cantidad de agua contenida en el suelo respecto a su peso seco. Ayuda a determinar si un suelo está seco, húmedo o saturado.

$$w = \frac{GS*\gamma_w - \gamma}{GS(\gamma - \gamma_w)}$$

Ecuación 3.21

- **e (Relación de vacío):** Proporción entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos. Indica cuánto espacio vacío hay en el suelo. Tomando en cuenta el Gs = 2.7 obtenido por datos de laboratorio.

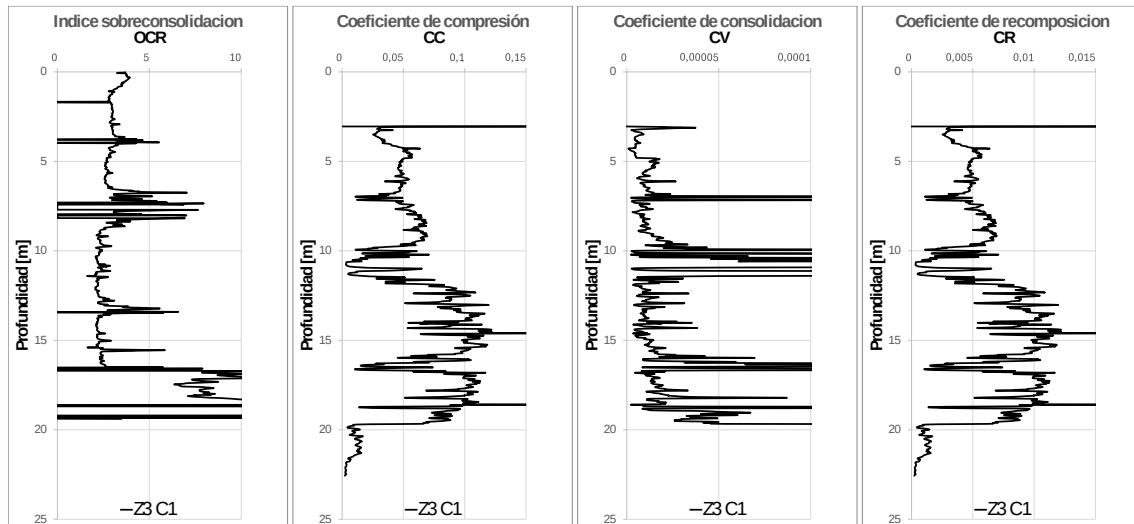
$$e = w * Gs$$

Ecuación 3.22

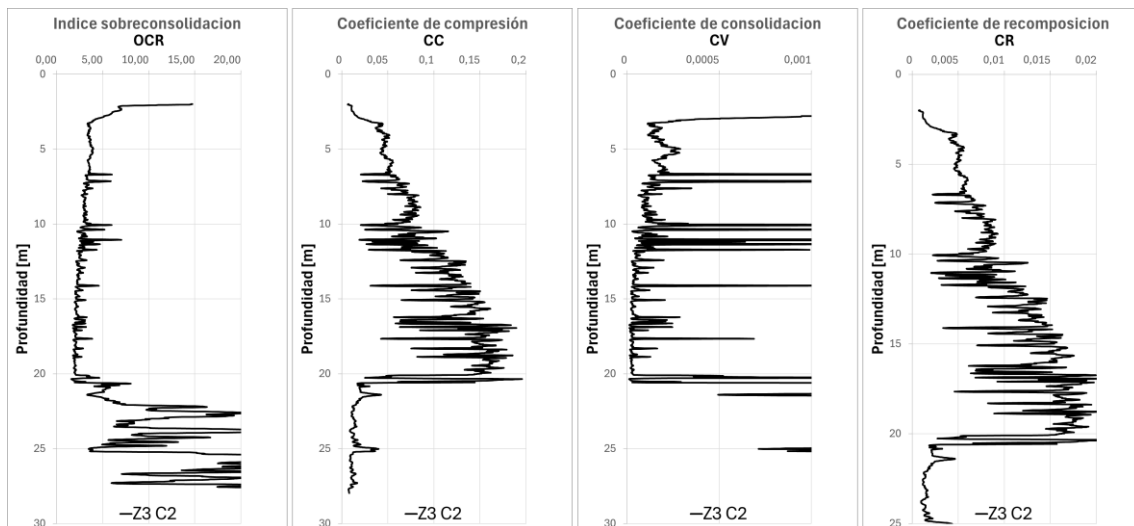
- ϕ (Ángulo de Fricción Interna): Indica la resistencia al deslizamiento entre partículas del suelo debido a fricción. Es mayor en suelos granulares como arenas y gravas. Mediante la fórmula de Kulhawy and Mayne, 1990.

3.1.2 Perfil geotécnico del suelo.

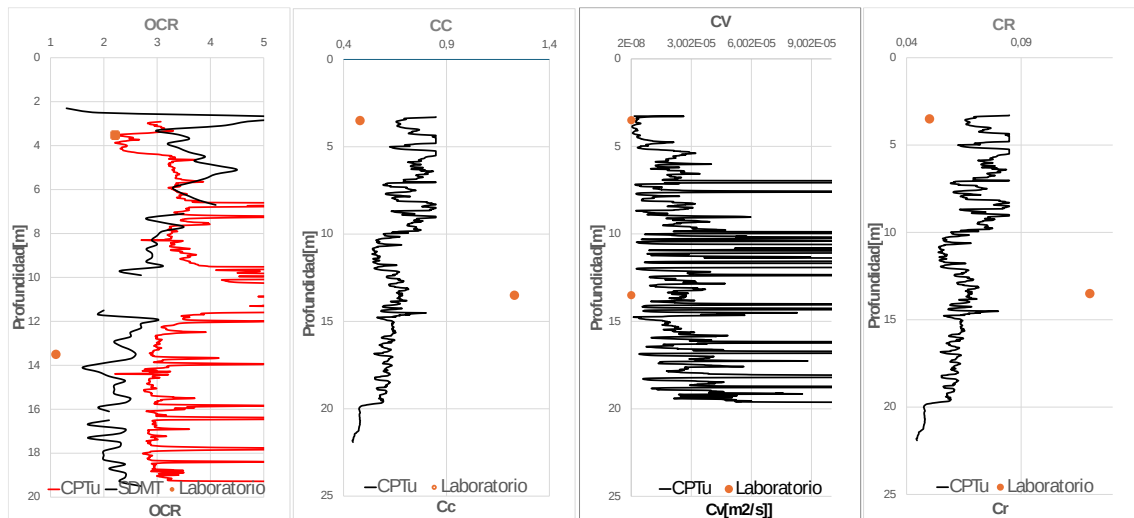
Gráficas 3.1
Estimaciones ensayo Z3 C1.



Gráficas 3.2
Estimaciones ensayo Z3 C2.



Gráficas 3.3 Estimaciones ensayo Z3 C3.



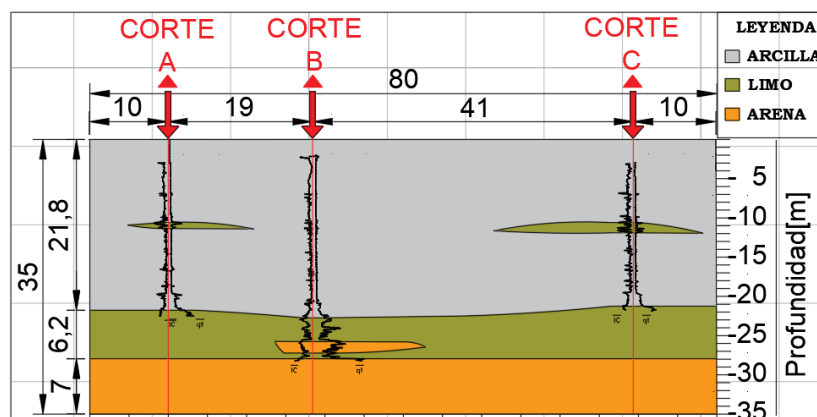
Corte A-A':

Figura 3.1
Corte donde se realizó el perfil estratigráfico.



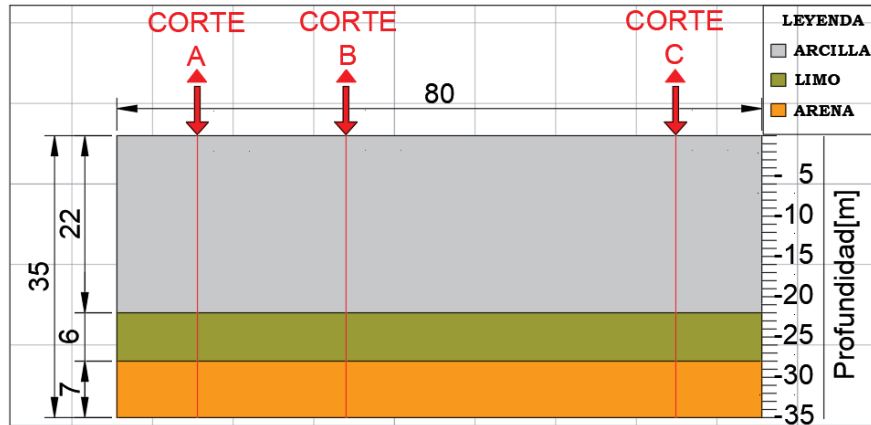
Clasificación de los ensayos por I_c y q_t

Figura 3.2
Perfil estratigráfico obtenido a partir de ensayos de campo.



Posteriormente para hacer una discretización de los datos se estandariza el perfil estratigráfico.

Figura 3.3
Perfil estratigráfico estandarizado.



3.1.3 Cálculo de asentamientos

El cálculo de asentamientos es importante en el diseño geotécnico permitiendo así evaluar la magnitud y el comportamiento de las deformaciones verticales en el terreno bajo una cimentación. Este análisis es crucial para garantizar la estabilidad y funcionalidad de las estructuras, minimizando riesgos asociados con asentamientos diferenciales o excesivos.

Existen diferentes métodos disponibles para calcular los asentamientos incluyen tanto enfoques empíricos como analíticos donde utilizan parámetros basados en la caracterización del suelo según los ensayos y las condiciones de carga.

Entre estos métodos se encuentran diferentes formas según Meyerhof o Schmertmann que se encuentran descritos dentro de la guía de Robertson, que se basa en el ensayo de penetración de cono (CPT_u) y permite estimar el asentamiento utilizando parámetros

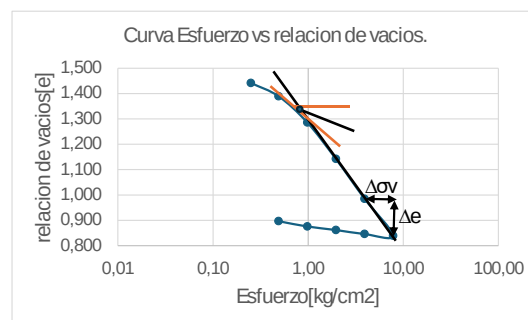
como el incremento de carga y la resistencia a la penetración promedio del suelo, pero estos representan únicamente los asentamientos elásticos es decir los instantáneos.

El método de Terzaghi es el más apropiado ya que interviene un parámetro fundamental en base al tiempo de consolidación y para ello se necesita parámetros previamente escritos como: el C_c , e_0 , σ'_v y la carga aplicada. Todos los métodos son útiles en suelos cohesivos.

3.1.4 Asentamiento por el método de Terzaghi.

El método de Terzaghi se basa en la teoría de la consolidación unidimensional, que se centra en cómo un suelo saturado responde a cambios en la carga y la eliminación de agua.

Gráficas 3.4
Curva esfuerzo vs relación de vacíos.



Existen 3 escenarios posibles y cada uno tiene su propia ecuación, por lo que requiere un análisis previo del rango de consolidación del suelo teniendo como parámetro critico el

OCR del terreno. Para lo que se analizó si el suelo esta normalmente consolidado o sobre consolidado.

Al analizar el OCR de toda la capa de suelo compresible, data que cuenta con un OCR mucho mayor a 1 alcanzando a un promedio aproximado de 3.

Para suelos normalmente consolidados: $OCR \approx 1 \pm 0.2$.

Para suelos sobreconsolidados: $OCR > 1 + 0.2$.

El suelo es sobreconsolidados por lo que hay aun dos opciones posibles en donde intervienen los esfuerzos: el esfuerzo de sobreconsolidación que es el esfuerzo máximo que ha soportado el suelo a lo largo de su vida, el esfuerzo efectivo del suelo que es el esfuerzo actual del estrato y el incremento de esfuerzo generado por una carga en este caso debido a un terraplén.

El esfuerzo de sobreconsolidación se lo obtiene mediante el OCR:

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_v} \quad \text{Ecuación 3.23}$$

Y el incremento de esfuerzo debido a la carga se usa el método de Boussinesq para la disipación de esa carga. Existen métodos empíricos que usan formulas o mediante ábacos que varían según la distribución de esfuerzos.

Para esfuerzos debajo de un terraplén Boussinesq nos dice que

$$\Delta\sigma_v = q I_z \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Donde:

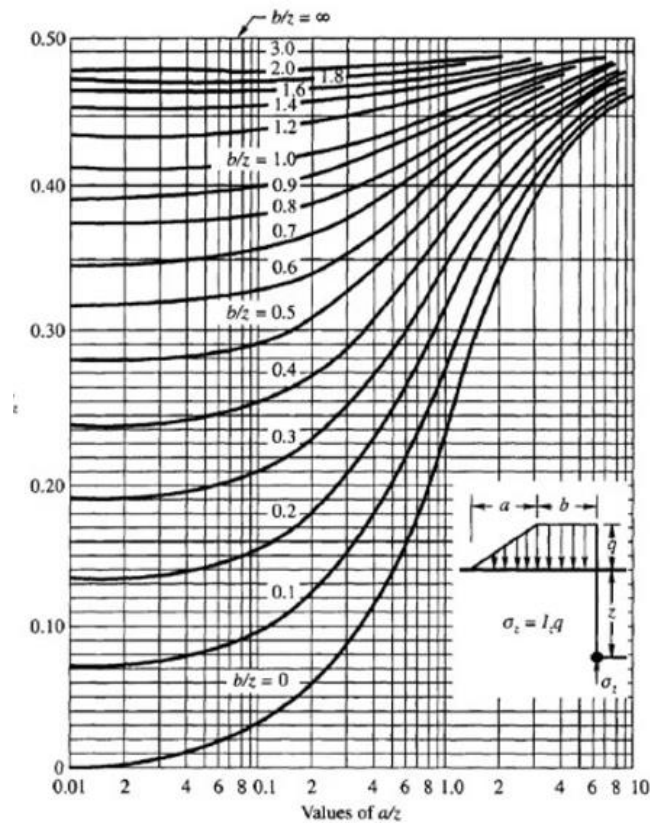
q = es la presión generada por el terraplén.

I_z = Es el factor de influencia para una carga trapezoidal

El Iz se obtuvo mediante el siguiente ábaco.

Figura 3.4

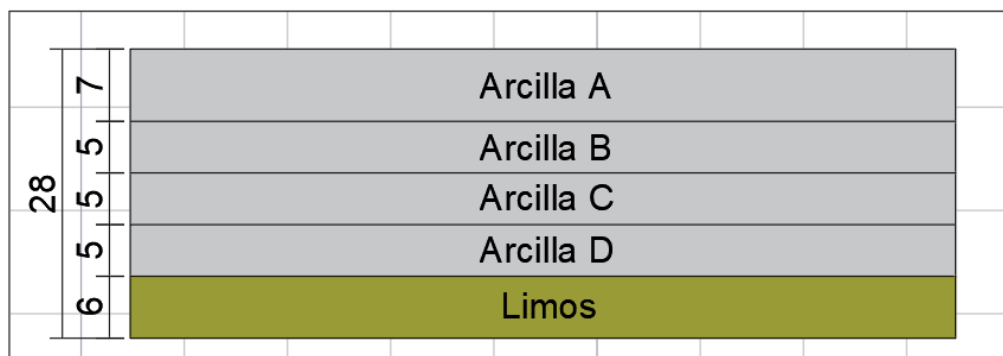
Ábaco para disipación de carga con forma trapezoidal. Fuente: Mecánica de suelos II, 1995.



Para precisión en los cálculos es conveniente dividir la capa compresible de arcilla de 22 metros en 4 subcapas: estas capas se dividieron en una de 7 metros y 3 capas de 5 metros y la siguiente capa es 6 metros de limos.

Figura 3.5

División del estrato compresible por capas.



La disipación de carga se realizó por capas en donde este incremento de esfuerzo se mide en el centro de está obteniendo así la siguiente tabla.

Tabla 3.1
Incremento de esfuerzo según Boussinesq.

BOUSSINESQ								
Material	z[m]	B[m]	B/Z	A[m]	A/Z	I	q[kPa]	$\Delta\sigma_v$ [kPa]
Arcilla A	3,5	88	25,14	12	3,43	0,5	130	65
Arcilla B	9,5	88	9,26	12	1,26	0,5	130	65
Arcilla C	14,5	88	6,07	12	0,83	0,5	130	65
Arcilla D	19,5	88	4,51	12	0,62	0,5	130	65
Limo-Arcilla	25	88	3,52	12	0,48	0,5	130	65

Una vez obtenido el incremento de esfuerzo hay que clasificar si el esfuerzo efectivo actual del suelo [σ'_v] sumado este incremento [$\Delta\sigma_v$] superara al esfuerzo de pre-consolidación [σ'_c] o no lo hará. Esto es necesario ya que estarían trabajando en dos pendientes diferentes: Cc y Cs y Terzaghi Planteo una fórmula distinta para cada opción.

Gráficas 3.5
Ensayos de laboratorio obtenidos por la empresa Geo cimientos.

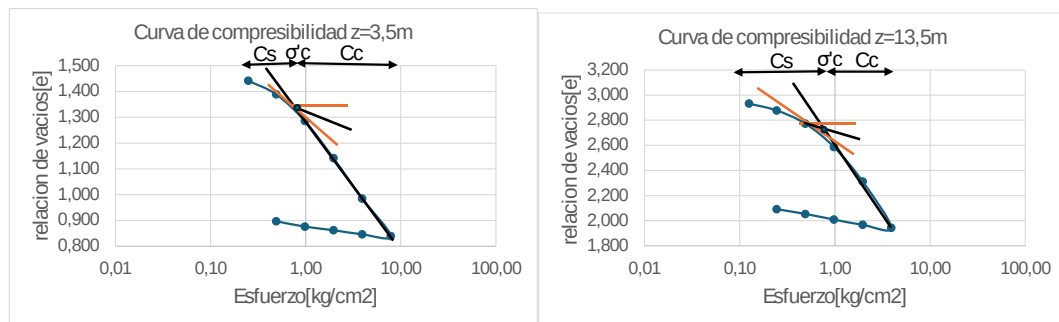


Tabla 3.2
Datos de laboratorio.

z[m]	e ₀	OCR	σ'_c [kPa]	Cc	Cs
3,5	1,52	2,2	68,64655	0,48	0,05
13,5	2,99	1,1	88,25985	1,23	0,12

Al analizar estos esfuerzos se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 3.3
Análisis del esfuerzo de pre-consolidación.

σ'_v [kpa]	σ'_c [kPa]	$\Delta\sigma_v$ [kPa]	$\sigma'_v + \Delta\sigma_v < \sigma'_c$
27,72	70,67	111,50	NO
51,27	139,45	88,90	NO
81,73	152,83	77,40	NO
114,43	240,30	69,20	SI
132,25	345,18	67,1	SI

Existen las tres primeras capas de estrato, el esfuerzo de preconsolidación es el menor por lo que se encuentra bajo la pendiente Cc. Lo que Terzaghi indica que el asentamiento se registrará bajo la siguiente ecuación.

$$S = \frac{Cs H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_v} \right) + \log \left(\frac{\sigma'_v + \Delta\sigma_v}{\sigma'_c} \right) \quad \text{Ecuación 3.25}$$

Para la última capa de estrato donde el esfuerzo será menor que el esfuerzo de pre-consolidación, es decir se encontrara dentro de la pendiente Cs. Por lo que la ecuación será distinta para ese estrato.

$$S = \frac{Cs H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_v + \Delta\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \quad \text{Ecuación 3.26}$$

Donde los parámetros están descritos previamente en este capítulo. Terzaghi utiliza también factores como el tiempo en donde se calcula en base al grado de consolidación que fue alrededor de 1144 días los cuales disminuían drásticamente con el uso de wick drains.

Con la estratificación del suelo se determinó que existe una capa de arcilla de 22 metros, seguida de una capa de limos de 6 metros, Mediante el análisis de esta, se observó que, debajo del estrato de arcilla, se encontraba un material altamente drenante "arena". Los cálculos del tiempo de consolidación consideran que la capa de limos podría considerarse

parte de un solo estrato de arcilla de 28 metros de espesor. Esta estimación fue útil para definir las condiciones de drenado del terreno.

Figura 3.6
Condiciones de drenado del estrato.

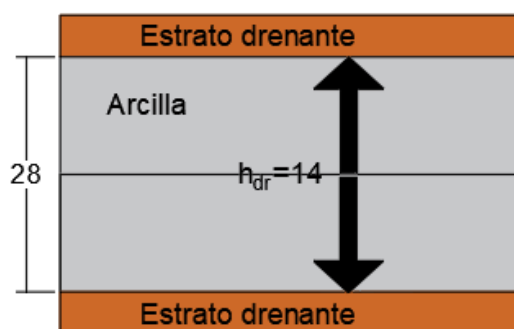


Tabla 3.4
Asentamiento y tiempo de consolidación obtenidos por Terzaghi.

TERZAGHI										
Material	H[m]	$\sigma'v$ [kpa]	$\sigma'c$ [kPa]	$\Delta\sigma$ [kPa]	e_0	Cc	Cs	Cv[m ² /d]	S[m]	t[días]
Arcilla A	7	27,72	70,67	111,50	1,55	0,580	0,058		0,54	
Arcilla B	5	51,27	139,45	88,90	2,68	0,670	0,067		0,05	
Arcilla C	5	81,73	152,83	77,40	2,57	1,040	0,104	0,14	0,07	1178,5
Arcilla D	5	114,43	240,30	69,20	1,80	0,720	0,072		0,03	
Limo-arcilla	6	132,25	345,18	67,10	0,60	0,150	0,110		0,07	
TOTAL									0,76	1178,5

En nuestro análisis de asentamiento, se hizo una evaluación detallada de 22 metros de profundidad, donde aún se identificaron incrementos de esfuerzo significativos que podrían influir en el comportamiento del suelo. Aunque generalmente se espera que los suelos a mayor profundidad tengan propiedades mecánicas más favorables que los que analizamos, también se prevé que el asentamiento podría ser mayor al calculado inicialmente. La razón principal de no analizar profundidades mayores radica en la falta

de datos geotécnicos de esos estratos de suelos, lo que imposibilita un análisis exhaustivo del estado y comportamiento de los estratos inferiores.

3.1.5 Modelo constitutivo de los materiales

Un modelo constitutivo es una representación matemática que describe el comportamiento físico de un material idealizado, basado en las características de un material real. Este modelo establece la relación entre tensión y deformación, específicamente entre los incrementos de ambas variables. En PLAXIS, se pueden utilizar distintos modelos constitutivos para simular el comportamiento del suelo y otros medios continuos. En esta tesis se emplearon el modelo Lineal-Elástico y Mohr-Coulomb.

El modelo Mohr-Coulomb, considerado un modelo plástico eficaz, se utiliza como una aproximación inicial para representar el comportamiento general del suelo. Este modelo aborda la plasticidad del suelo, que se relaciona con la generación de deformaciones permanentes o irreversibles. Para determinar si ocurre o no plasticidad durante el análisis, se emplea una función de fluencia cuyos valores dependen del nivel de tensiones y deformaciones presentes (Plaxis: Material models, 2009).

Un modelo plástico es un modelo constitutivo caracterizado por una superficie de fluencia fija, definida únicamente por los parámetros resistentes del material y que no se ve influenciada por la deformación plástica. En este modelo, los estados de tensión que se encuentran dentro de la superficie de fluencia exhiben un comportamiento completamente elástico, con deformaciones reversibles.

El modelo utiliza cinco parámetros principales: el módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν), la cohesión (c), el ángulo de fricción (ϕ) y el ángulo de dilatancia (ψ). Es recomendado para realizar un análisis preliminar del problema, ya que para cada capa de suelo se asume una rigidez media constante. Esta simplificación permite realizar cálculos

rápidos y obtener una estimación inicial de las deformaciones (Plaxis: Material models, 2009).

En el modelo Mohr-Coulomb, PLAXIS emplea el módulo de Young (E) como parámetro principal para representar la rigidez del material. Este valor se determina mediante un ensayo triaxial estándar, que permite evaluar el comportamiento mecánico del suelo bajo condiciones controladas de carga y confinamiento.

3.1.6 Diseño de los drenes verticales

La consolidación de estos suelos únicamente con precarga puede llevar meses o incluso años, lo que retrasa las obras y eleva los costos. Los drenes verticales son una solución eficaz y económica para acelerar este proceso, al reducir la distancia de drenaje del agua dentro del suelo. Su instalación es sencilla y combinado con el terraplén garantiza un mejor control de asentamientos y estabilidad en proyectos de gran escala. Estos podrían diseñarse mediante una ecuación que relaciona datos del dren con el coeficiente de consolidación horizontal (Barron, 1948).

$$t = \frac{D^2}{8C_h} \left[\ln \left(\frac{D}{d} \right) - 0.75 \right] \ln \left(\frac{1}{1-U} \right) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

t= tiempo de consolidación.

Ch= coeficiente de consolidación horizontal.

d= diámetro del wick drain.

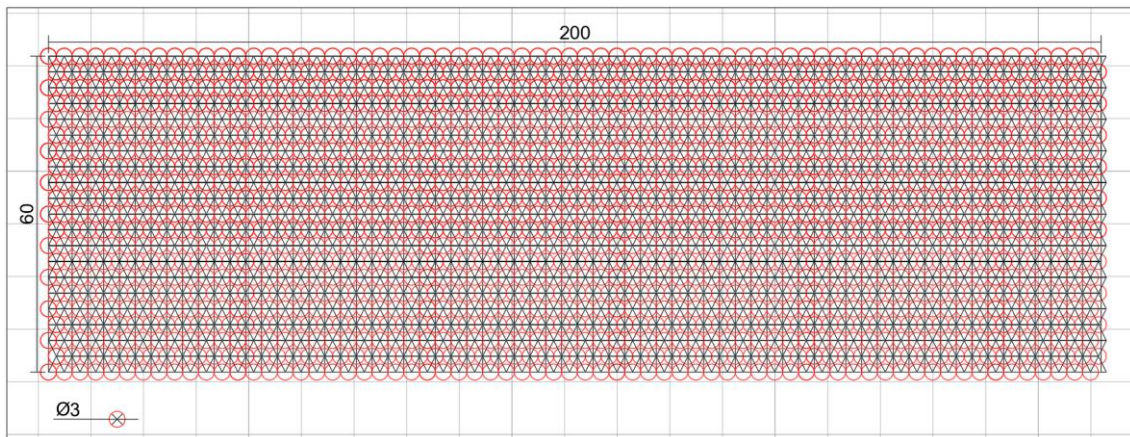
D= esfera de influencia del dren con forma triangular es 1.05 veces el diámetro de la esfera [25 metros de espaciamiento].

U= porcentaje de consolidación deseado.

Tabla 3.5
Diseño de drenes.

Drenes				
D[m]	ch [m²/s]	d [m]	U [%]	T [días]
3,15	1,64E-06	0,0118	90	97,49

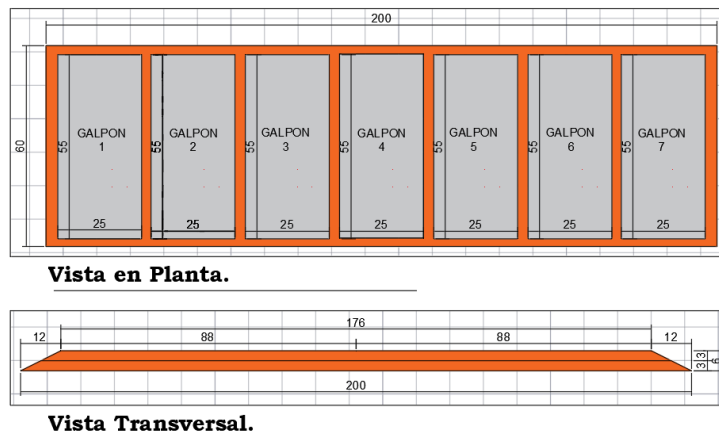
Figura 3.7
Distribución de drenes según Diseño de los drenes.



3.1.7 Diseño del terraplén

El terraplén debe abarcar una gran parte de nuestra zona de estudio donde se incluirán a futuro la edificación de 7 galpones en esa zona. Teniendo en cuenta que cada galpón tiene 25m de ancho x 55m de largo, se requerirá un terraplén que abastezca todo ese terreno por seguridad. Se diseñará un terraplén de 200m de ancho x 60m de largo y con una altura de 6 m para así generar correctamente una precarga de 130 kPa.

Figura 3.8
Diseño de dimensiones de terraplén en AutoCAD.



3.1.3 Validación con Modelos Numéricos en Plaxis

Como complemento al análisis de los resultados experimentales, se desarrolló un modelo numérico en el software Plaxis para simular el proceso de consolidación por precarga. Este modelo utiliza los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos DMT y SDMT como datos de entrada, permitiendo evaluar el comportamiento del suelo bajo condiciones controladas de carga y drenaje.

El modelo simulado incluye la disposición de los wick drains y la aplicación de cargas temporales para observar los cambios en la presión de poros, el módulo de rigidez y la consolidación a lo largo del tiempo. Esta simulación permite prever el comportamiento a largo plazo del suelo, optimizando así el diseño y la distribución de drenes para maximizar la efectividad del proceso de precarga.

3.1.8 Proceso de modelación en Plaxis 2D.

Para modelarlo primero es necesario calibrar el coeficiente de poisson el cual puede tomar valores entre 0.1 a 0.3 según la CPT guide 6th del 2015, mientras que según Vesic este valor puede estar entre 0.2 a 0.3 por lo que se puede calibrar, mediante una ecuación que la relaciona con el ángulo de fricción del suelo.

$$\nu = 0.1 + 0.3\left(\frac{\Phi - 25}{20}\right)$$

Ecuación 3.2

Se obtuvo los siguientes Poisson de cada estrato.

Tabla 3.6
Calibración del coeficiente de Poisson.

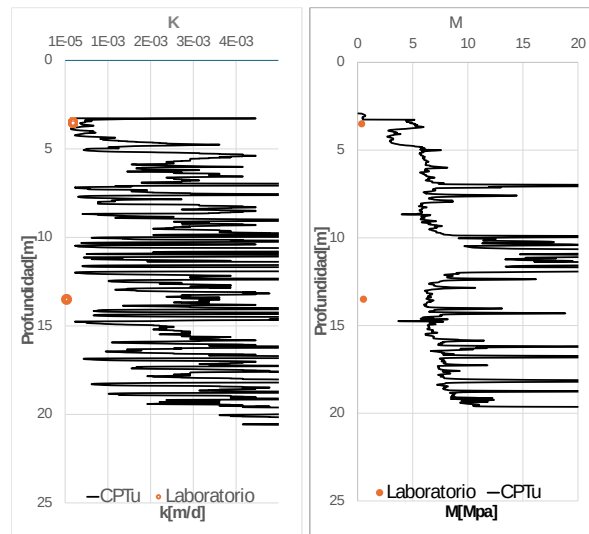
Material	ν
Arcilla A	0,145
Arcilla B	0,145
Arcilla C	0,145
Arcilla D	0,145

Al comparar con la teoría que indica Terzaghi el Poisson que más preciso se encuentra es de 0.20. Con este parámetro ya calibrado ya se puede modelar.

Se define los materiales según los parámetros obtenidos de las estimaciones de los ensayos CPTu y SDMT: E , ϕ , ν y la profundidad de las capas de suelos compresibles ya estandarizados del perfil estratigráfico de arcillas y limos.

Para obtener los datos respectivos para la validación de datos con la modelación en Plaxis es necesario datos representativos del suelo por lo que se hizo una representación gráfica de los datos obtenidos del laboratorio y los datos obtenidos mediante correlaciones de los ensayos CPTu, para medir que tan precisos son los datos y seleccionar solo los datos más representativos según el criterio de ingeniero.

Gráficas 3.6
Parámetros obtenidos por campo y laboratorio



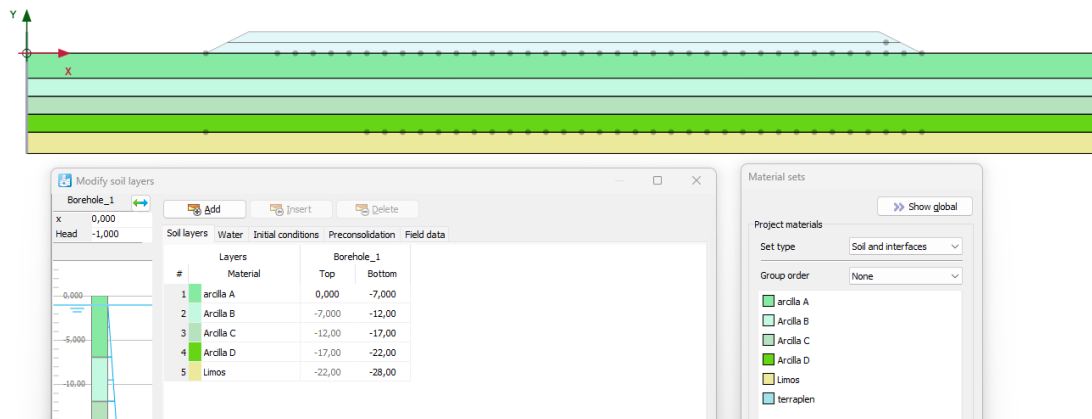
Como se puede apreciar en la gráfica 3.3 y la gráfica 3.6, se aprecian los datos obtenidos tanto de laboratorio como de nuestros ensayos CPT_u. Dichas graficas se realizaron para realizar una calibración de cuáles son los datos que vamos a utilizar para el modelado Plaxis y poder realizar las comparaciones necesarias, ajustando posteriormente cuales fueron los datos idóneos finales que tomamos para nuestro proyecto.

Se seleccionaron los datos ya seleccionados entonces se obtuvo los datos para modelar en Plaxis.

Tabla 3.7
Parámetros usados para los materiales.

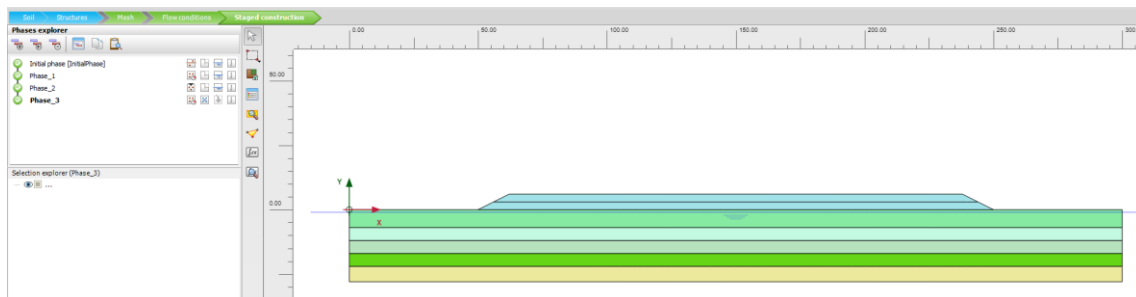
Datos para el Plaxis 2D								
Material	H[m]	γ[kN/m³]	γ_d[kN/m³]	E[Mpa]	φ	u	e₀	k[m/d]
Arcilla A	7	15,28	9,71	4,70	28,00	0,15	1,55	2,81E-04
Arcilla B	5	14,80	7,43	4,01	28,00	0,15	2,68	2,93E-03
Arcilla C	5	16,11	8,25	3,62	28,00	0,15	2,57	3,37E-03
Arcilla D	5	16,30	9,17	3,33	28,00	0,15	2,10	3,88E-03
LimoArcilla	6	17,00	9,95	10,00	28,00	0,15	2,60	4,10E-03

Figura 3.9
Definición de los materiales y capas de los estratos



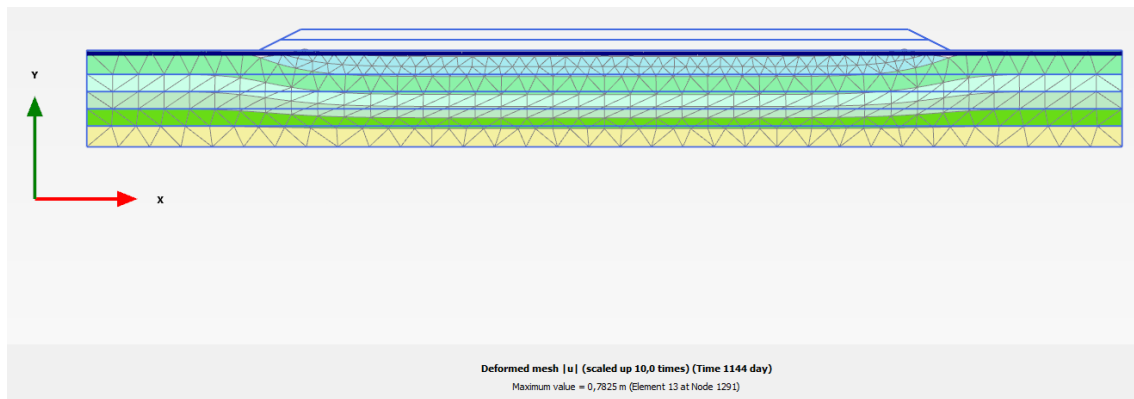
Luego se modela el terraplén en fases de construcción. Hay etapas en las que se construye el terraplén por capas, alternando con períodos de espera para permitir el asentamiento. El modelo del terraplén se dividió en dos partes, y cada fase tiene un tiempo específico asignado. El tiempo total de carga del terraplén fue de seis meses.

Figura3.10
Definición del terraplén realizado por fases.



Luego se manda a calcular el software que en conjunto con los parámetros obtenidos de los ensayos CPTu y SDMT y los parámetros del terraplén: como la carga y tiempo se generan un asentamiento.

Figura 3.11
Cálculo de asentamientos con terraplén en Plaxis 2D.



El modelado determinó que habría un asentamiento máximo de 783 mm en un período de 1,144 días. Por lo tanto, es necesario incluir drenes verticales para reducir este tiempo.

Modelando el terraplén con drenes se obtuvo lo siguiente.

Figura 3.12
Definición del terraplén y drenes realizado por fases.

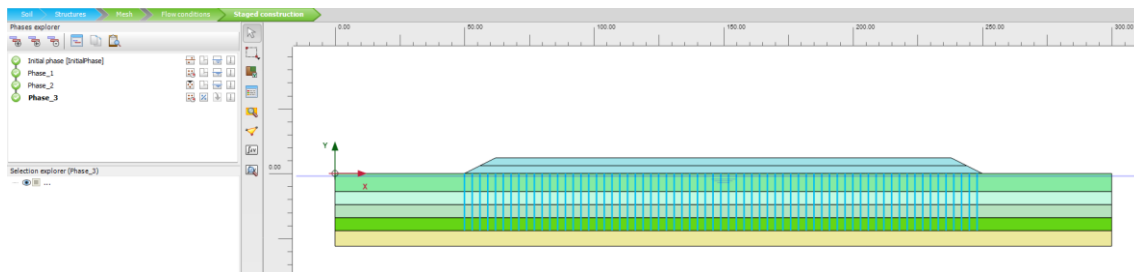
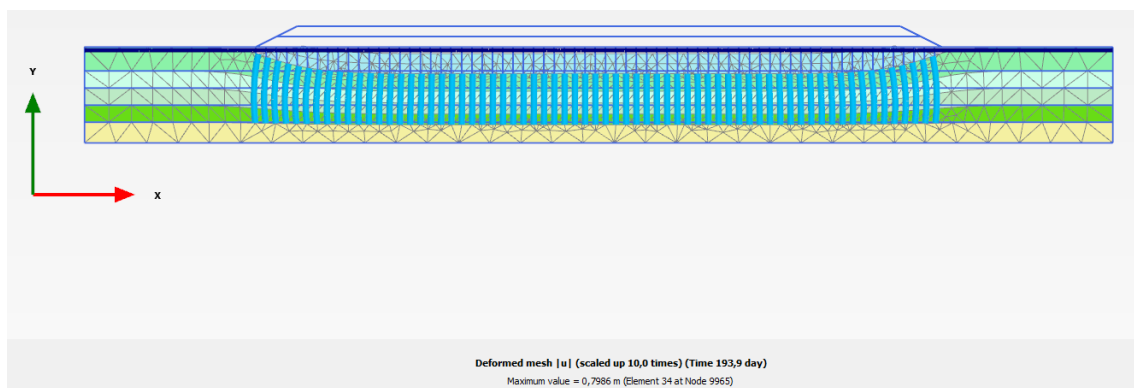


Figura 3.13
Cálculo de asentamientos con terraplén y drenes en Plaxis 2D.



Se puede observar que el tiempo se redujo drásticamente, pasando de 1,144 días a solo 193,9 días, gracias a la instalación de los drenes.

Comparación con Otros Métodos de Mejora de Suelos

Los resultados obtenidos mediante el análisis de datos del DMT y SDMT, junto con la validación en Plaxis, fueron comparados con los resultados teóricos y experimentales de otros métodos de mejora de suelo, tales como la estabilización con cemento y las columnas de grava. Esta comparación incluyó una evaluación de los costos, el tiempo de ejecución y el impacto en la reducción de asentamientos y la mejora de la capacidad portante.

El análisis de los datos reveló que la consolidación por precarga asistida con wick drains presenta ventajas significativas en cuanto a su eficiencia en suelos de alta compresibilidad debido a la reducción significativa en los días en los que se va a llegar al asentamiento máximo, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y optimización de recursos planteados para el área de estudio.

La diferencia notable entre los datos obtenidos mediante el laboratorio y los del ensayo CPT sobre el parámetro C_v donde se obtuvo 2.5 m²/a y 115 m²/a respectivamente, esto destaca un error inherente a considerar y puede deberse a varios factores que influyen en los resultados. Una posible explicación es la calidad de la muestra, ya que el punto específico donde se tomó la medición puede contener pequeñas capas de materiales distintos a la arcilla, lo que afectaría los resultados. Además, es fundamental entender que las metodologías de medición son diferentes: el laboratorio evalúa el coeficiente de consolidación vertical, mientras que el ensayo CPT mide el mismo coeficiente de manera radial. Debido a esta diferencia en las direcciones de medición, es común que el C_v vertical sea menor que el radial. Esta discrepancia también se aplica a la permeabilidad,

dado que ambos parámetros están interrelacionados. La variación en estos parámetros puede influir significativamente en el comportamiento del terreno y, por ende, en la planificación y diseño de cualquier proyecto de ingeniería civil. Por eso, reconocer y analizar estas diferencias es crucial para garantizar la precisión en la evaluación del comportamiento del suelo.

En los cálculos de tiempo de consolidación se tomaron ciertas suposiciones sobre los datos de altura drenante, pero implica que la arcilla podría permitir la permeabilidad desde ambas direcciones, lo que resultaría en una altura drenante (HDR) de la mitad de lo planificado. Sin embargo, es importante destacar que esta estimación es idealizada y no necesariamente representa realmente el comportamiento del suelo. En el cálculo, la altura drenante se ve reducida con el fin de facilitar el drenaje del agua, pero no se puede asumir que esta altura sea de 14 metros, ya que en el interior de la capa de arcilla hay varias capas pequeñas intercaladas de limos que modificarían dicha altura. Por tanto, para una evaluación adecuada, consideramos el peor escenario posible, en donde todos los 28 metros existe solo arcilla, donde funciona como un factor de seguridad adicional.

3.2 Especificaciones Técnicas

1. Obras preliminares

1.1. Desbroce y retirada de vegetación

La actividad incluye la limpieza y desraíce en áreas cubiertas por maleza, escombros, cultivos y arbustos, y la remoción de árboles individuales o grupos ubicados en zonas que no constituyen un bosque continuo. Durante esta operación, se debe priorizar la protección de las especies de flora y fauna existentes en la zona intervenida, minimizando los daños ambientales y evitando desbroces innecesarios. Además, es fundamental

considerar el impacto sobre el entorno socioeconómico, preservando áreas con valor económico o interés comunitario.

Los materiales mínimos requeridos incluyen la preparación de terrenos para la erradicación de municiones de guerra, lo cual abarca la eliminación de pastos, arbustos, vegetación en general, raíces y la tala de árboles de menor tamaño.

Las actividades de remoción de vegetación se ejecutarán exclusivamente en las áreas designadas, conforme a las especificaciones técnicas indicadas en los planos del proyecto o según las directrices proporcionadas por el Supervisor. Estas labores se realizarán en estricto cumplimiento de las normativas ambientales aplicables, garantizando tanto la seguridad de los trabajadores como la conservación de los recursos naturales.

La tala de árboles se llevará a cabo de manera selectiva y controlada, minimizando el impacto sobre la vegetación circundante y evitando posibles daños a las propiedades vecinas. Adicionalmente, se establecerá una franja de seguridad de al menos 6 metros a cada lado del eje vial, asegurando que esté libre de obstáculos que puedan comprometer la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura proyectada.

El pago correspondiente a este rubro se determinará en función de la superficie desbrozada y la vegetación retirada, medida en metros cuadrados (m²). La entidad contratante, junto con la administración, el contratista, la fiscalización y otros actores involucrados en el proyecto, establecerán y validarán las áreas específicas a intervenir.

Las cantidades registradas y aprobadas serán remuneradas de acuerdo con los precios establecidos en el contrato, los cuales incluyen todos los costos asociados a la ejecución de las actividades, tales como mano de obra, equipos, materiales y cualquier recurso adicional necesario. La realización de los trabajos estará condicionada a la conformidad y aprobación final por parte del equipo de Fiscalización.

Este trabajo tiene como objetivo es establecer un sistema de referencia preciso y duradero para guiar todas las actividades constructivas; las mismas que permanecerán fijas durante todo el proceso de construcción. Los trabajos de trazado y replanteo que se aplicarán en las áreas a construir utilizando estacas de madera y otros elementos como cal y piola en caso de necesitarse.

1.2. Trazado y replanteo

Este rubro abarca las actividades de trazado y replanteo de las obras en campo, siguiendo las alineaciones y cotas especificadas en los planos del proyecto y cumpliendo con las directrices de construcción emitidas por la Fiscalización. Estas labores deben ejecutarse con alta precisión para garantizar la correcta ubicación de cada elemento constructivo en el terreno.

El objetivo principal es establecer un sistema de referencia estable y duradero que oriente todas las actividades de construcción. Estas referencias permanecerán fijas durante todo el proceso constructivo. Las tareas de trazado y replanteo en las áreas a construir incluirán el uso de estacas de madera, cal, piola y otros elementos según sea necesario. Posteriormente, se delimitarán las zonas exactas donde se realizarán rellenos y excavaciones, siguiendo las abscisas y cotas especificadas en los planos aprobados por la Fiscalización.

El trabajo debe ser realizado por personal técnico con experiencia, quienes establecerán mojones de hormigón para asegurar la permanencia de las referencias. Este proceso se llevará a cabo tomando como base el BM (Bench Mark) y demás referencias presentes en los planos, utilizando trabajos topográficos precisos para materializar las alineaciones y cotas del proyecto en el terreno. La fiscalización ejercerá un control riguroso sobre las actividades topográficas, verificando que estas cumplan con los lineamientos del proyecto

ejecutivo.

El pago por este rubro se basará en la superficie medida en metros cuadrados (m²) de trazado y replanteo. Las áreas correspondientes serán definidas y aprobadas por la entidad contratante, el contratista, la administración, el fiscalizador y otros involucrados. Los valores se remunerarán conforme a los precios estipulados en el contrato, los cuales incluyen todos los costos asociados, como mano de obra, equipos, materiales y recursos adicionales necesarios. La ejecución de los trabajos estará sujeta a la aprobación final por parte de la Fiscalización.

Con este enfoque, se garantiza la adecuada ejecución de las actividades de trazado y replanteo, sentando las bases para un desarrollo ordenado y conforme al proyecto.

1.3. Valla temporal de obra

Este rubro contempla la provisión e instalación de uno o más letreros relacionados con la construcción de las obras financiadas por la entidad contratante, siguiendo el diseño especificado en los planos de detalle. La ubicación y cantidad de los letreros serán definidas por el supervisor de obra, asegurando su correcta disposición en el sitio del proyecto.

Incluye la fabricación y montaje de una valla temporal de obra, la cual deberá ser instalada durante la ejecución del proyecto y retirada al finalizar los trabajos. Este proceso garantiza que la señalización sea adecuada y cumpla con los requerimientos establecidos.

El letrero de obra deberá permanecer instalado durante toda la ejecución del proyecto, siendo responsabilidad exclusiva del contratista garantizar su resguardo, mantenimiento y reposición en caso de deterioro o pérdida. Este letrero se compone de postes y tableros

de madera, cuyas dimensiones determinará el supervisor de obra. Los postes se colocarán sobre bases de hormigón para garantizar su estabilidad y durabilidad.

El pago por este rubro se realizará en función del número de letreros de obra instalados, medidos en unidades (u). La entidad contratante, el contratista, la administración y la fiscalización determinarán y aprobarán las cantidades correspondientes. Los precios contractuales incluirán todos los costos asociados a la ejecución del rubro, tales como mano de obra, materiales, equipos y cualquier otro recurso necesario. La ejecución de estos trabajos estará sujeta a la aprobación final de la Fiscalización, garantizando su conformidad con los estándares establecidos.

2. Movimiento de tierra

2.1. Relleno de terreno

El relleno de terreno se basa en agregar una capa de estrato para mejorar la superficie del área de trabajo y conformar espacios para alojar elementos estructurales. El relleno deberá realizarse con maquinaria, acuerdo a lo especificado a continuación.

Con respecto al relleno de terreno de 0.20 m, pretende preparar el terreno para construir estructuras superiores, asegurando su estabilidad y capacidad portante. Este trabajo se ejecutará utilizando un material granular seleccionado, libre de materia orgánica, raíces, arcillas expansivas y materiales nocivos. El material deberá cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM D2487 para suelos clasificados como GW, GP o SW, con un índice de plasticidad (IP) inferior al 15% según ASTM D4318, y partículas no mayores a 75 mm (3 pulgadas) de diámetro. Además, el agua utilizada para la compactación deberá estar limpia y libre de sustancias contaminantes.

El proceso comenzará con la preparación del terreno, que incluye la limpieza del área, eliminando vegetación, raíces, escombros y materiales orgánicos. Una vez nivelada la superficie base, el material será colocado en capas de máximo 0.15 m de espesor antes de compactar, distribuyéndolo de manera uniforme en el área a tratar. La compactación será realizada con equipo mecánico, como compactadores vibratorios o rodillos lisos, hasta alcanzar un 95% de la densidad máxima Proctor Modificado, según la Norma ASTM D1557. Durante este proceso, se controlará la humedad del material para garantizar una compactación efectiva.

Para el control de calidad, se efectuarán ensayos de densidad in situ utilizando el método nuclear (ASTM D6938), verificando que se cumpla el 95% del Proctor Modificado. Los resultados de estos ensayos serán registrados en reportes técnicos. El volumen del material compactado será la base para la medición y pago, utilizando como unidad de medida el metro cúbico (m^3), considerando únicamente el volumen compactado y conforme a los planos de diseño.

El trabajo estará regido por normativas como ASTM D2487, ASTM D4318, ASTM D1557 y ASTM D6938. Para garantizar la seguridad en la ejecución, el personal usará equipo de protección personal adecuado, como cascos, botas de seguridad y chalecos reflectivos. Además, se delimitarán las áreas de trabajo con señalización visible, y los equipos de compactación serán operados exclusivamente por personal capacitado.

2.2. Trazado de niveles y replanteo

El proceso de trazado de niveles y replanteo constituye una etapa fundamental en la ejecución de obras de construcción, ya que permite trasladar al terreno los puntos, ejes y niveles especificados en los planos de diseño, garantizando la correcta ubicación y geometría de las estructuras.

Para el trazado de niveles, se emplearán instrumentos de precisión como niveles ópticos, niveles láser o estaciones totales, según lo requiera la obra. Este procedimiento asegura que las cotas de referencia se establezcan con exactitud, considerando las especificaciones topográficas del proyecto. Se verificará que los puntos de nivelación estén claramente marcados y protegidos, evitando desplazamientos o alteraciones durante las actividades de construcción.

El replanteo, por su parte, consiste en marcar físicamente las dimensiones, ejes y límites de las estructuras en el terreno. Este procedimiento se llevará a cabo siguiendo las coordenadas y especificaciones del diseño, empleando métodos como el uso de piolas, jalones, estacas y pintura en aerosol para marcar los puntos de referencia. En obras de mayor complejidad, el uso de una estación total facilitará la colocación precisa de ejes y vértices.

Durante este proceso, se considerarán los factores que puedan afectar la precisión, como la pendiente del terreno, las condiciones climáticas y los posibles obstáculos en el área de trabajo. Es fundamental realizar verificaciones constantes de los puntos marcados, comparándolos con los planos de diseño, para garantizar su correcta ubicación y prevenir errores en la ejecución.

Las referencias y marcas realizadas en el terreno deberán ser visibles y mantenerse protegidas hasta el inicio de las actividades correspondientes. En caso de movimientos de tierra o actividades que puedan afectar las marcas iniciales, será necesario realizar una revalidación y ajuste del replanteo para evitar desviaciones en el proceso constructivo.

El trazado de niveles y el replanteo son actividades esenciales que aseguran la exactitud geométrica y la correcta ejecución del proyecto, minimizando errores y costos adicionales.

3. Instalación de drenes verticales

3.1. Diseño del patrón de drenes

El diseño del patrón de drenes es fundamental en el proceso de consolidación del terreno mediante la técnica de precarga, ya que permite acelerar la disipación de las presiones de poro y garantizar la estabilidad del terreno. Los drenes se distribuirán en patrones geométricos específicos, según las características del suelo y los requisitos del proyecto.

El patrón triangular será preferido por su eficiencia en la cobertura del área de influencia, mientras que el patrón cuadrado se utilizará cuando se priorice la facilidad de instalación.

La separación entre drenes se determinará considerando factores clave como la permeabilidad del suelo, el espesor de las capas compresibles y el tiempo de consolidación requerido. Esta distancia será calculada mediante fórmulas basadas en la teoría de consolidación radial, considerando el coeficiente de permeabilidad, el radio de influencia y la profundidad de la capa compresible. Además, se empleará software de modelación geotécnica, como Plaxis 2D, para optimizar la disposición y validar los parámetros de diseño.

Se instalarán los drenes con equipos especializados que aseguren su colocación vertical y alcance a la profundidad especificada. La distancia entre drenes será verificada en campo para garantizar que se cumpla con el diseño propuesto. Cada instalación será sometida a controles de calidad que incluyan la revisión de la continuidad, la profundidad y la correcta conexión con las capas permeables del terreno.

El diseño del patrón de drenes debe garantizar que el terreno alcance los niveles de consolidación especificados en el menor tiempo posible, reduciendo así los tiempos de

espera para las etapas posteriores de la obra. Esta disposición permitirá minimizar los asentamientos diferidos y asegurar la estabilidad a largo plazo de las estructuras a construir, cumpliendo con los estándares técnicos y normativos del proyecto.

3.2. Inserción de drenes cada 3 m

La inserción de drenes verticales cada 3 metros forma parte del diseño técnico para optimizar el proceso de consolidación del terreno mediante la técnica de precarga. Este espaciamiento ha sido seleccionado con base en los análisis geotécnicos del suelo, considerando factores como la permeabilidad, el espesor de las capas compresibles y los tiempos de consolidación requeridos.

Los drenes se instalarán en un patrón geométrico, triangular, para garantizar una cobertura uniforme y maximizar la eficiencia del drenaje. La distancia de 3 m entre drenes permitirá reducir las distancias máximas de drenaje del agua intersticial, acelerando así la disipación de las presiones de poro. Este diseño asegura que el terreno alcance el nivel de consolidación deseado en el menor tiempo posible, minimizando los asentamientos diferidos y garantizando la estabilidad a largo plazo de las estructuras.

La instalación se realizará utilizando equipos especializados, como máquinas de inserción de mechas drenantes, que permitan una colocación precisa y vertical. Cada dren será insertado hasta la profundidad especificada en el diseño, asegurando su conexión con las capas permeables del terreno. Durante el proceso, se implementarán controles de calidad para verificar la correcta alineación y la profundidad alcanzada, así como la continuidad de los drenes.

Además, el proceso de instalación será supervisado por personal técnico calificado, quien garantizará que los drenes se coloquen conforme al patrón diseñado. Los trabajos se

desarrollarán bajo estrictas medidas de seguridad, incluyendo la señalización adecuada del área de trabajo y el uso de equipo de protección personal por parte del personal.

La inserción de drenes verticales cada 3 metros es una solución técnica que cumple con los estándares de diseño geotécnico, optimizando los tiempos de consolidación del terreno y reduciendo los riesgos asociados a asentamientos diferidos. Este diseño garantiza una base sólida y estable para la construcción de las estructuras proyectadas, cumpliendo con los requisitos técnicos y normativos del proyecto.

3.3. Configuración y movilización de maquinaria de instalación

La configuración y movilización de la maquinaria de instalación representan etapas críticas para garantizar la correcta ejecución de los drenes verticales y el cumplimiento de los plazos establecidos en el proyecto. Este proceso incluye la planificación, transporte, montaje y preparación de los equipos especializados necesarios para la inserción de drenes, siguiendo los estándares técnicos y normativos aplicables.

El equipo principal utilizado será una máquina de inserción de mechas drenantes equipada con un sistema hidráulico para garantizar una penetración precisa y controlada. Este equipo será transportado al sitio de la obra mediante vehículos adecuados, cumpliendo con las regulaciones de transporte pesado. Antes de la movilización, se realizarán inspecciones técnicas para verificar que los equipos estén en óptimas condiciones de funcionamiento, minimizando riesgos de fallas durante la operación.

En el sitio, la maquinaria se montará y configurará en una zona previamente preparada y nivelada. Se establecerán áreas delimitadas para el almacenamiento temporal de materiales, como las mechas drenantes, asegurando que estén protegidos de condiciones ambientales adversas. El montaje del equipo incluirá la calibración de los sistemas

hidráulicos y la verificación de los dispositivos de medición de profundidad, asegurando que estos cumplan con los parámetros especificados en el diseño del proyecto.

Durante la operación, se garantizará la estabilidad de la maquinaria mediante plataformas de apoyo adecuadas, especialmente en terrenos blandos o saturados. Además, se implementarán protocolos de seguridad, incluyendo la señalización del área de trabajo, el uso obligatorio de equipo de protección personal (EPP) por parte del personal, y la supervisión constante de operadores capacitados.

El proceso de movilización y configuración será documentado mediante bitácoras técnicas, donde se registrará la ubicación exacta de los equipos, las pruebas de funcionamiento realizadas y cualquier ajuste requerido antes del inicio de las actividades de instalación. Estas medidas garantizarán que la maquinaria esté correctamente preparada para operar de manera eficiente, reduciendo tiempos de instalación y optimizando el desempeño del proyecto.

La correcta configuración y movilización de la maquinaria son esenciales para asegurar la precisión y la calidad en la instalación de los drenes verticales, contribuyendo al éxito general del proyecto.

3.4. Instalación de drenes hasta profundidad especificada

El procedimiento comenzará con la ubicación del equipo en el punto de instalación definido en el diseño del patrón de drenes. La maquinaria será calibrada para garantizar que los drenes se coloquen con la verticalidad adecuada y que alcancen la profundidad establecida, conectándose correctamente con las capas más permeables del suelo.

Cada dren será insertado mediante un mandril que protege la mecha drenante durante su instalación. Cuando se alcance la profundidad requerida, el mandril se retirará cuidadosamente, dejando la mecha en su lugar. Este proceso permitirá que los drenes

funcionen como caminos preferenciales para el flujo de agua intersticial hacia la superficie, reduciendo las distancias de drenaje y acelerando la disipación de las presiones de poro.

Durante la instalación, se realizarán controles de calidad en tiempo real para verificar que cada dren cumpla con las especificaciones del diseño. Estos controles incluirán la medición de la profundidad alcanzada, la revisión de la continuidad del dren y la inspección visual del material para garantizar que no presente daños o defectos. Los resultados de estas inspecciones se registrarán en bitácoras técnicas, que servirán de respaldo documental del cumplimiento de los estándares establecidos.

La instalación de los drenes se realizará con estrictas medidas de seguridad, como la delimitación del área de trabajo, la señalización adecuada y el personal de protección personal. La operación estará supervisada por técnicos especializados, quienes asegurarán que el proceso se realice conforme a los lineamientos establecidos en el proyecto.

La colocación precisa de los drenes hasta la profundidad especificada es esencial para garantizar la efectividad del sistema de consolidación, minimizando los tiempos de asentamiento y asegurando la estabilidad a largo plazo de las estructuras proyectadas. Este procedimiento, ejecutado con altos estándares técnicos y de seguridad, constituye un pilar clave para el éxito del proyecto.

3.5. Acabado de obra

Este rubro consiste en realizar 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 para el pago de este rubro será en metro cuadrado (m²) de acabado de obra, 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.

4. Plan de manejo ambiental

4.1. Agua para control de polvo

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 modo uniforme por carros cisterna equipados con un sistema de rociadores a presión. El equipo empleado deberá contar con la aprobación del Fiscalizador.

La tasa de aplicación será entre los 0,90 y los 3,5 litros por metro cuadrado, conforme indique el Fiscalizador, así como su frecuencia de aplicación. Al efectuar el control de polvo con carros cisterna, la velocidad máxima de aplicación será de 5 Km/h. No está aprobado utilizar químicos para controlar del esparcimiento del polvo en 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 aplicación será entre los 0,90 y los 3,5 litros por metro cuadrado, conforme indique el Fiscalizador quien definirá también la frecuencia de aplicación. Al efectuar el control de polvo con carros cisterna, la velocidad máxima de aplicación será de 5 Km./h.

Medición y forma de pago: La medición para el pago de este rubro será en metro cubico (m3) de agua para control de polvo, 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.

4.2. Cerramiento protector antipolvo Descripción

Este rubro de cerramiento protector antipolvo radica en localizar y señalar las áreas de trabajo para prevenir la contaminación del polvo, con la finalidad de mejorar las condiciones de seguridad a los usuarios de la vía y a encargados del proyecto en el proceso de la construcción y/o conservación vial. Reduciendo el riesgo a trabajadores, pobladores de la zona y demás transeúntes, de acuerdo con lo indicado en los planos y lo ordenado y admitido por la 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 para el pago de este rubro será en metro cuadrados (m²) de cerramiento protector antipolvo, 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.

Capítulo 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el proyecto de consolidación por precarga con drenes verticales en Durán tiene como objetivo evaluar los posibles impactos ambientales derivados de las actividades de mejora del suelo y proponer medidas de mitigación para garantizar un desarrollo sostenible. Este estudio se alinea con los ODS, específicamente con el **9**, al promover soluciones técnicas sostenibles, y el ODS 11, al contribuir al desarrollo urbano seguro y resiliente.

El alcance del EIA abarca la zona de estudio (Figura 4), dentro de la ciudad de Durán, donde se identificarán y evaluarán impactos en suelos, agua, aire y ruido. Las acciones potencialmente generadoras de impactos incluyen la movilización de maquinaria pesada para la instalación de drenes verticales, el transporte y colocación del material de precarga, la alteración temporal del nivel freático debido al proceso de consolidación y la generación de residuos sólidos provenientes de las operaciones de construcción.

Para evaluar estos impactos, se emplearán herramientas de modelación geotécnica y monitoreo ambiental. Además, se realizará una gestión adecuada de los recursos, como el uso de maquinaria especializada y materiales de precarga (grava o arena). Será necesario obtener autorizaciones ambientales y permisos específicos de uso de recursos hídricos conforme a la normativa ecuatoriana, incluyendo el Código Orgánico del Ambiente (COA) y la Ley de Recursos Hídricos.

Entre las medidas de mitigación propuestas destacan la implementación de barreras de control de polvo, riego de áreas expuestas, planificación de rutas de transporte para minimizar el impacto en zonas pobladas, monitoreo continuo del nivel freático y gestión adecuada de residuos sólidos. La alternativa seleccionada, consolidación por precarga con drenes verticales, se establece como la más sostenible al generar el menor impacto ambiental en comparación con métodos como cimentaciones profundas. Este enfoque asegura un equilibrio entre viabilidad técnica y sostenibilidad ambiental.

4.2 Línea base ambiental

La línea base ambiental permite identificar las condiciones actuales del medio en el área de intervención, sirviendo como referencia para evaluar los posibles impactos del proyecto de consolidación por precarga con drenes verticales en Durán. Los elementos clave del entorno que podrían ser afectados son los siguientes:

En lo que respecta a los Suelos y geomorfología, el área presenta suelos altamente compresibles, compuestos principalmente por arcillas limosas y arenosas en las capas superficiales, y arenas densas en los estratos profundos. Estos suelos presentan una baja capacidad portante y una alta susceptibilidad a los asentamientos diferidos, características que los convierten en un desafío geotécnico significativo (Das, 2016).

Los recursos hídricos de la zona están cerca del sistema estuarino del río Guayas, un ecosistema sensible con cuerpos de agua que regulan el nivel freático, que fluctúa entre 1 y 3 metros de profundidad según la temporada. Estas características hacen que la alteración del nivel freático sea un factor crítico que considerar durante el proceso de consolidación del suelo (Patra & Mukherjee, 2019).

Con respecto a la flora y fauna, aunque el área específica no alberga ecosistemas protegidos, su cercanía al sistema de manglares del río Guayas sugiere la posible presencia de especies de flora y fauna sensibles. La fauna local incluye aves migratorias, peces y crustáceos, que dependen del equilibrio ecológico de la región.

El contexto socioeconómico de Durán es una ciudad en expansión con alta actividad comercial e industrial. La población local podría beneficiarse económicamente del proyecto a través de la generación de empleo, aunque temporalmente podría verse afectada por el incremento en el tráfico y el ruido durante la fase de construcción.

4.3 Actividades del proyecto

Las acciones potencialmente generadoras de impactos incluyen la movilización de maquinaria pesada para la instalación de drenes verticales, el transporte y colocación del material de precarga, la alteración temporal del nivel freático debido al proceso de consolidación y la generación de residuos sólidos provenientes de las operaciones de construcción.

En el desarrollo del proyecto de consolidación por precarga con drenes verticales en Durán, se identifican las siguientes actividades clave que pueden generar impactos ambientales:

- **Preparación del terreno**

- Limpieza y nivelación del área de intervención, incluyendo la remoción de vegetación superficial y escombros.

Instalación de maquinaria y equipos necesarios para las operaciones.

Impactos potenciales: Alteración del suelo, generación de polvo y residuos sólidos.

- **Instalación de drenes verticales**

- Uso de maquinaria especializada para la perforación e instalación de drenes.
- Transporte y almacenamiento de los drenes en el sitio de trabajo.

Impactos potenciales: Emisiones de gases por maquinaria, ruido y posible compactación del suelo fuera del área de intervención.

- **Aplicación de la carga de precarga**

- Transporte y colocación de material granular (arena o grava) sobre la superficie del terreno.
- Monitoreo de la consolidación del suelo mediante instrumentos instalados en el sitio.

Impactos potenciales: Generación de tráfico pesado, emisiones de partículas suspendidas y alteración temporal del nivel freático.

- **Gestión de residuos**

- Disposición de materiales sobrantes y residuos generados durante las etapas de construcción.

Impactos potenciales: Contaminación del suelo y agua si no se manejan adecuadamente.

- **Monitoreo del proceso de consolidación**

- Instalación y operación de piezómetros, inclinómetros y otros equipos de monitoreo.
- Recolección de datos periódicos para evaluar el comportamiento del suelo.

- **Impactos potenciales:** Intervenciones menores en el terreno que podrían generar residuos adicionales.

Tabla 4.1
Actividades de Proyecto

Actividad	Descripción	Impacto Potencial
Limpieza y nivelación del terreno.	Remoción de vegetación superficial, escombros y preparación del área de trabajo.	Alteración del suelo, generación de residuos sólidos, emisión de polvo.
Instalación de drenes verticales	Perforación y colocación de drenes mediante maquinaria especializada.	Emisiones de gases, ruido, compactación del suelo fuera del área de trabajo.
Transporte de materiales	Movilización de materiales de precarga (arena o grava) hacia el sitio.	Incremento de tráfico, emisiones de partículas y gases.
Aplicación de carga de precarga	Colocación de material granular sobre la superficie del terreno.	Alteración temporal del nivel freático, generación de polvo.
Monitoreo de consolidación	Instalación de piezómetros e inclinómetros para evaluar el comportamiento del suelo.	Impacto menor en el terreno por perforaciones locales.
Gestión de residuos	Recolección, disposición y/o reutilización de residuos generados.	Contaminación del suelo y agua si no se maneja adecuadamente.
Finalización y restauración	Retiro de maquinaria y restauración del área afectada.	Alteración visual del entorno, necesidad de recuperación del terreno.

4.4 Identificación de impactos ambientales

Para identificar los impactos ambientales asociados al proyecto de consolidación por precarga con drenes verticales en Durán, se utiliza el método de **Matriz de Leopold**, complementado con observaciones cualitativas y análisis cuantitativos. Este enfoque integral permite relacionar las actividades del proyecto con los factores ambientales que podrían ser afectados, evaluando su magnitud, extensión y duración. (Leopold, 1971)

La **Matriz de Leopold** establece una relación directa entre las acciones del proyecto, como la instalación de drenes verticales y la aplicación de precarga, con los componentes ambientales afectados, como el suelo, el agua, el aire, la flora, la fauna y la población. Además, se realiza un análisis cualitativo basado en experiencias previas y normativas ambientales para identificar impactos potenciales, como la contaminación por residuos sólidos o el incremento del ruido. (Leopold, 1971)

El análisis cuantitativo complementa este enfoque mediante mediciones específicas de parámetros ambientales. Por ejemplo, se evalúan los niveles de partículas suspendidas en el aire, las alteraciones en el nivel freático utilizando piezómetros, y el ruido generado durante las actividades de obra. Estas herramientas permiten una valoración precisa de los efectos sobre el entorno (Das, 2016)

Entre los impactos identificados destacan:

- **En el suelo:** Compactación, generación de residuos y alteración de la estructura superficial.
- **En el agua:** Alteraciones en el nivel freático y afectaciones al drenaje natural.
- **En el aire:** Emisiones de partículas y gases contaminantes por el uso de maquinaria.
- **En la fauna:** Alteración del hábitat cercano por ruido y movimiento de maquinaria.
- **En la población:** Incremento temporal de ruido y tráfico en las áreas colindantes al proyecto.

Este enfoque metodológico permite identificar de manera precisa los posibles impactos del proyecto, estableciendo una base sólida para diseñar e implementar estrategias de mitigación que minimicen los efectos negativos y aseguren un desarrollo sostenible en la región. (Terzaghi, 1943).

Tabla 4.2*Tablas de calificación de la magnitud positivas e importancia del impacto ambiental*

Impactos Positivos					
Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Tabla 4.3*Tablas de calificación de la magnitud negativas e importancia del impacto ambiental*

Impactos Positivos					
Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Tabla 4.4
Matriz de Leopold para la identificación de Impacto Ambiental

			Limpieza y nivelación de terreno		Instalación de drenes verticales		Transporte de materiales		Aplicación de carga de precarga		Gestión de residuos		Finalización y restauración					
	Acciones		Identificación y marcación del área de trabajo.	Nivelación del suelo mediante maquinaria.	Configuración y ajuste de maquinaria de perforación.	Colocación y aseguramiento de drenes verticales.	Carga de materiales (arena o grava) en camiones.	Descarga y almacenamiento temporal en el área de trabajo.	Extendido del material granular sobre la superficie	Compactación de la capa de precarga para estabilización	Identificación y segregación de los residuos generados.	Control y reporte de las actividades de manejo de residuos.	Retiro de maquinaria, materiales y estructuras temporales.	Nivelación y restauración del terreno afectado.	Afectaciones		Total Afecciones	Agregado del Impacto
Factores ambientales															+	-		
Características físicas y químicas	Atmosfera	Calidad del aire (gases, partículas)	-1	-5	-7	-2	-3	-1	0	6	6	31						
		Incremento del nivel sonoro	2	1	2	1	2	2										
	Tierra	Calidad del suelo	-1	-9	-7	-6	-6	-6	0	6	6	58						
		Forma del terreno	2	2	2	1	1	2										
	Agua	Superficial	-1	-5	2	-1	-1	-1	1	5	6	11						
		subterránea	2	2	2	1	1	1										
recursos hídricos		1	-5	2	-1	-1	-1	2	4	6	7							
Condiciones biológicas	Flora	Arboles	2	2	2	1	1	1										
		Arbustos	-1	-2	-3	-1	-3	-3	0	6	6	16						
	Fauna	Animales terrestres, incluyendo reptiles	1	1	2	1	1	1										
Factores culturales	Uso de la tierra	Zonas verdes	-1	-2	-4	-3	-3	-3	0	4	6	23						
		Zonas de recreación	2	1	1	3	1	1										
	Aspectos culturales	Salud y bienestar	1	-5	2	1	-2	-2	3	3	6	3						
	Empleo	Empleo	1	1	2	1	1	1										
	Afectaciones	+	2	0	3	1	0	0	6	34	42	149						
		-	5	7	4	6	7	7										
	Total de afectaciones		7	7	7	7	7	7										
	Agregado del impacto		6	52	26	19	22	24	149									

4.5 Valoración de impactos ambientales

Para valorar los impactos ambientales derivados del proyecto de consolidación por precarga con drenes verticales, se utilizó la **Matriz de Leopold Modificada**, complementada con metodologías cualitativas y cuantitativas que evaluaron cada factor ambiental frente a las acciones del proyecto.

Tabla 4.5
Tabla de valoración de valoración del impacto ambiental

Impacto negativo	
Irrelevante	$-25 < AG < 0$
Moderado	$-50 < AG < -25$
Severo	$-75 < AG < -50$
Crítico	$AG < -75$

Tabla 4.6
Tabla de valoración de valoración del impacto ambiental

Impacto negativo	
Poco importante	$0 < AG < 25$
Importante	$25 < AG < 50$
Muy importante	$50 < AG$

Metodología aplicada:

1. Matriz de Leopold Modificada:

- La matriz relaciona las acciones del proyecto con factores ambientales afectados, asignando valores numéricos para identificar los impactos positivos (+) y negativos (-).

- Los factores evaluados incluyen atmósfera, tierra, agua, flora, fauna, uso de la tierra y aspectos culturales como la salud y el empleo.
- Se analizaron siete acciones principales, desde la limpieza y nivelación del terreno hasta la finalización y restauración.

2. Evaluación y agregación de impactos:

- **Total, de afectaciones:** Se calcularon los valores positivos y negativos para cada factor ambiental.
- **Agregado del impacto:** Representa la suma ponderada de las afectaciones, permitiendo priorizar los impactos más significativos.

Resultados principales

1. Factores críticos:

- **Tierra:** Se identificó un alto impacto negativo en la calidad del suelo y la forma del terreno durante la instalación de drenes verticales (-5) y la aplicación de la carga de precarga (-5).
- **Agua:** Las alteraciones en los recursos hídricos superficiales y subterráneos presentaron afectaciones moderadas durante las fases de instalación y operación.
- **Atmósfera:** Los incrementos en partículas suspendidas y nivel sonoro fueron significativos durante la limpieza del terreno y el transporte de materiales (-3 y -2).

2. Impactos positivos:

- **Empleo y salud:** El proyecto genera beneficios culturales y económicos al fomentar empleo (+6) y mejorar indirectamente el bienestar de la comunidad (+1).

- **Finalización y restauración:** La mitigación y restauración del terreno afectado representa un impacto positivo en la forma del terreno y los ecosistemas adyacentes.

3. **Agregado del impacto total:**

- El impacto neto fue de **149 puntos negativos**, destacando la necesidad de medidas correctivas para minimizar los efectos adversos más críticos.

4.6 **Medidas de prevención/mitigación**

Se han identificado y propuesto medidas específicas de prevención y mitigación para minimizar los impactos ambientales generados durante su ejecución. Estas medidas se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), y se enmarcan en un plan de manejo ambiental integral.

Tipos de Medidas de Prevención y Mitigación

1. **Medidas preventivas:** Diseñadas para evitar que los impactos negativos ocurran, a través de acciones planificadas antes y durante las actividades del proyecto.
2. **Medidas correctivas:** Aplicadas para mitigar impactos inevitables generados por las actividades, restaurando las condiciones ambientales afectadas.
3. **Medidas compensatorias:** Enfocadas en contrarrestar impactos irreversibles mediante la implementación de beneficios equivalentes al medio ambiente.

El plan de manejo ambiental incluye acciones específicas y monitoreos periódicos dirigidos a mitigar los impactos en los diferentes factores ambientales. Las principales medidas son:

1. Atmósfera:

- Control del polvo mediante riego periódico de las áreas intervenidas y cubrimiento de materiales durante el transporte.
- Restricción de horarios laborales para reducir molestias sonoras y uso de maquinaria con sistemas de control de emisiones.

2. Tierra:

- Recuperación de la capa vegetal afectada, garantizando su reutilización al finalizar el proyecto.
- Implementación de sistemas provisionales de drenaje para estabilizar el terreno y prevenir la erosión.

3. Agua:

- Instalación de barreras físicas para evitar la sedimentación en cuerpos de agua.
- Tratamiento previo y disposición adecuada de las aguas residuales generadas.

4. Flora y fauna:

- Reforestación con especies nativas en áreas afectadas y establecimiento de corredores ecológicos para la fauna terrestre.

- Conservación de vegetación clave mediante su delimitación y resguardo durante las actividades constructivas.

5. Gestión de residuos:

- Clasificación y manejo adecuado de los residuos sólidos generados, con disposición final en sitios autorizados.
- Implementación de programas de reducción, reutilización y reciclaje durante todo el proyecto.

6. Factores culturales y sociales:

- Diseño de amortiguamientos para proteger áreas urbanas sensibles, como zonas de recreación y viviendas cercanas.
- Contratación prioritaria de mano de obra local y programas de capacitación, promoviendo beneficios socioeconómicos directos.

Se aplicarán indicadores de impacto ambiental para medir la efectividad de las medidas, incluyendo la calidad del aire, niveles de ruido, calidad del agua y cambios en la biodiversidad. Las actividades serán supervisadas regularmente por personal capacitado, garantizando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y ajustando las acciones según sea necesario.

Capítulo 5

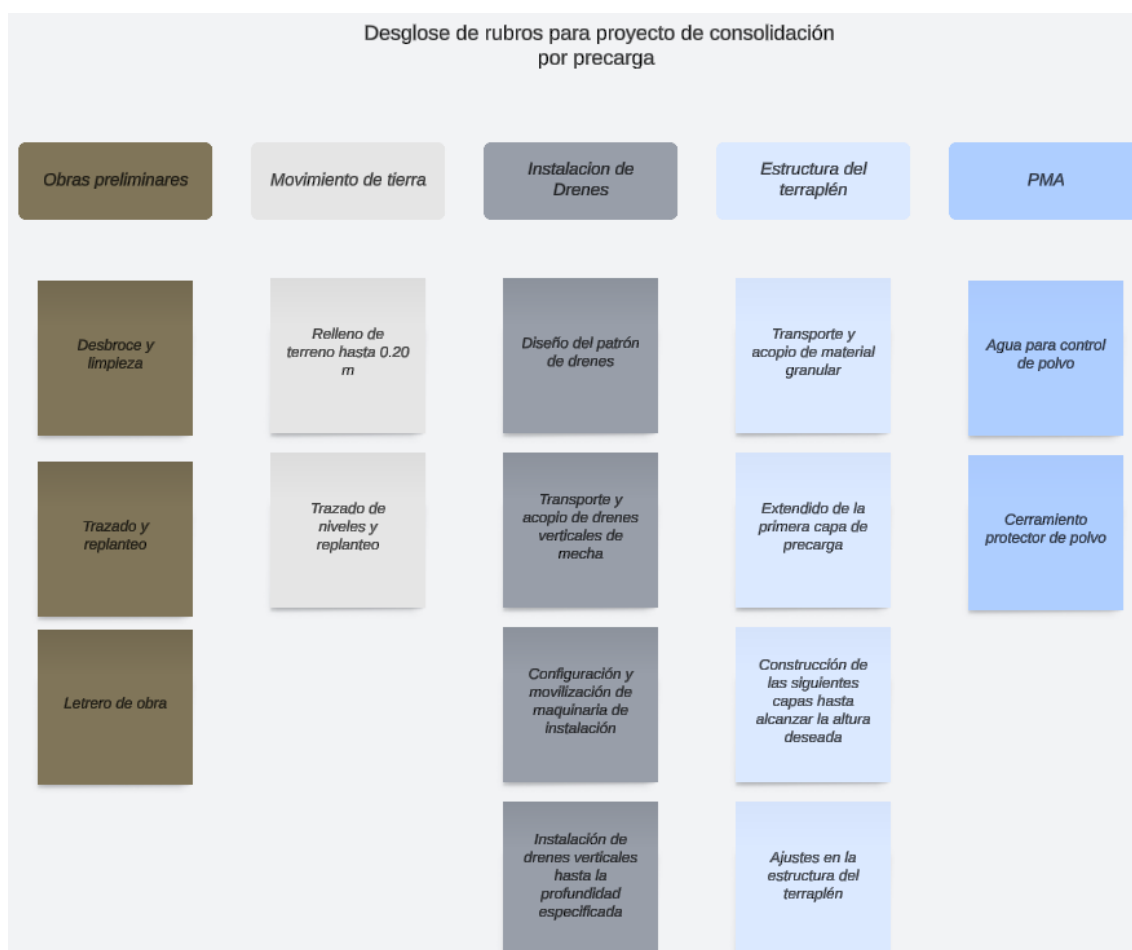
5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

La **Estructura Desglosada de Trabajo (EDT)** es una herramienta esencial para organizar visualmente los entregables del proyecto en diferentes niveles, estructurándolos de acuerdo con sus dependencias y sub-dependencias. Este enfoque jerárquico permite descomponer las actividades principales en componentes más pequeños y manejables, facilitando su planificación, monitoreo y ejecución.

El proyecto de consolidación por precarga con drenes verticales en suelos altamente compresibles en Durán se ha estructurado en los siguientes niveles jerárquicos:

Figura 5.1
Desglose de rubros para proyecto de consolidación por precarga



5.2 Rubros y análisis de precios unitarios (fusión)

Para la correcta estimación del presupuesto del proyecto, se realizó un análisis detallado de los rubros que lo conforman, considerando los costos actualizados de materiales, mano de obra, equipos y herramientas. Estos valores se obtuvieron con cotizaciones recientes de proveedores locales y referencias de instituciones como la Cámara de la Construcción del Ecuador. A continuación, se describen los rubros principales:

1. Obras preliminares

- Desbroce y limpieza.
- Trazado y replanteo.

- Letrero de obra.

2. Movimiento de tierra

- Relleno de terreno hasta 0.20m.
- Trazado de niveles y replanteo.

3. Instalación de drenes verticales

- Diseño del patrón de drenes
- Transporte y acopio de drenes de mecha prefabricados.
- Configuración y movilización de maquinaria de instalación.
- Instalación de drenes verticales hasta la profundidad especificada.

4. Estructura del terraplén

- Transporte y acopio de material granular (arena).
- Extendido de la primera capa de precarga.
- Construcción de las siguientes capas hasta alcanzar la altura deseada.
- Ajustes en la estructura del terraplén.

5. PMA

- Agua para control de polvo.
- Cerramiento protector de polvo.

análisis de precios unitarios

Para cada rubro, se elaboró un análisis de precios unitarios (APU) considerando los siguientes componentes:

- **Materiales:** Incluye costos directos de insumos como drenes prefabricados, material granular, combustible, entre otros.

- **Mano de obra:** Basado en los salarios actualizados para trabajos técnicos y operativos.
- **Equipos:** Costo de alquiler, mantenimiento y operación de maquinaria especializada.
- **Indirectos:** Gastos adicionales como transporte, supervisión y permisos administrativos.

Cada rubro se evalúa según las cantidades estimadas y los valores unitarios determinados, proporcionando un presupuesto completo y detallado para el proyecto. Este análisis asegura la viabilidad económica y la optimización de recursos, clave para garantizar un desarrollo sostenible del proyecto en Durán.

5.3 Descripción de cantidades de obra

La cuantificación de las cantidades de obra para el proyecto se realizó mediante un enfoque técnico detallado que asegura precisión y consistencia. Este proceso consideró las especificaciones del diseño, las necesidades del proyecto y las normativas aplicables, utilizando tanto cálculos manuales como herramientas de software especializadas. A continuación, se describe el procedimiento en Anexos.

Herramientas y metodología

La utilización de software especializado, como **AutoCAD Civil 3D** y **Plaxis**, permitió una cuantificación precisa de los rubros. Además, los resultados fueron validados mediante cálculos manuales basados en las normativas técnicas de ingeniería civil. Esta combinación de métodos asegura que las cantidades de obra reflejen de manera exacta los requerimientos del proyecto y optimicen la utilización de recursos.

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

Obtener el costo total del proyecto y, de ser posible, referir un costo unitario por unidad de construcción (\$/m², \$/ml) comparando el valor obtenido con proyectos de similares características.

Tabla 5.1
Propuesta de presupuesto referencial

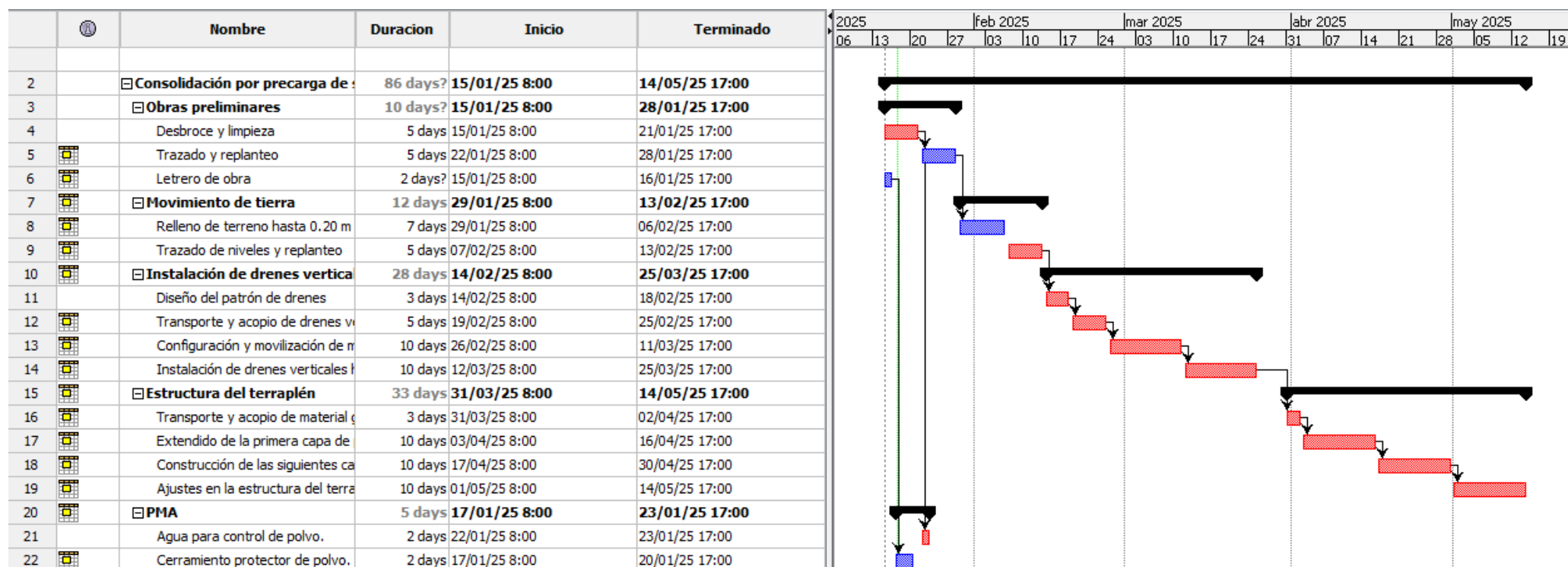
Proyecto Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán					
Plazo 90 DÍAS					
PRESUPUESTO REFERENCIAL					
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1.Obras preliminares					
1.1	Desbroce, Desbosque y limpieza.	ha	1,20	\$ 163,60	\$ 196,32
1.2	Trazado y replanteo.	m	520,00	\$ 2,42	\$ 1.258,40
1.3	Letrero de obra 4.5X3M (inc. estructura metálica, lona con impresión color).	u	1,00	\$ 1.249,72	\$ 1.249,72
1.4	Letrero metálico	u	2	\$ 122,37	\$ 244,74
1.5	Batería Sanitaria Portatil (unidad x mes)	u	4,00	\$ 201,11	\$ 804,44
2.Movimiento de tierra					
2.1	Relleno de terreno hasta 0.20 m	m ³	2400,00	\$ 0,73	\$ 1.752,00
2.2	Trazado de niveles y replanteo	m	200,00	\$ 0,66	\$ 132,00
3.Instalación de drenes verticales					
3.1	Diseño del patrón de drenes	u	1400,00	\$ 1,90	\$ 2.660,00
3.2	Transporte y acopio de drenes de mecha prefabricados	km	13,00	\$ 0,28	\$ 3,64
3.3	Configuración y movilización de maquinaria de instalación	u	360,00	\$ 21,94	\$ 7.898,40
3.4	Instalación de drenes verticales hasta la profundidad especificada	m	28000,00	\$ 6,53	\$ 182.840,00
4.Estructura del terraplén					
4.1	Material granular Grava 40-70 mm material reciclado.	m ³	72000,00	\$ 6,62	\$ 476.640,00
4.2	importado, Longitud de acarreo de 4-8 Km.	m ³	72000,00	\$ 1,36	\$ 97.920,00
4.3	Nivelacion y replanteo (obras civiles) Primera Fase.	m ²	12000,00	\$ 1,22	\$ 14.640,00
4.4	Nivelacion y replanteo (obras civiles) Ultima Fase	m ²	12000,00	\$ 1,22	\$ 14.640,00
4.5	Ajustes en la estructura del terraplén	m	200,00	\$ 17,55	\$ 3.510,00
5.PMA					
5.1	Agua para control de polvo	m ³	36,00	\$ 1,93	\$ 69,48
5.2	Cerramiento protector de polvo	m ²	597,43	\$ 1,91	\$ 1.141,09
TOTAL DIRECTO					\$ 806.551,05

5.5 Cronograma de obra

Una vez definidos todos los rubros y actividades a realizar para nuestro proyecto de mejoramiento de suelo, se plantea con el programa ProjectLibre el cronograma de obra que se van a realizar alrededor de 3 meses para las obras preliminares, instalación de drenes y construcción del terraplén.

Figura 5.2

Cronograma de trabajo propuesta para el proyecto.



Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En primer lugar, los resultados obtenidos confirman que la implementación de drenes verticales de mecha reduce significativamente los tiempos de consolidación. El tiempo estimado de 1,144 días para alcanzar el asentamiento máximo se redujo a tan solo 194 días, lo que representa una reducción de más del 80% del tiempo. Esta disminución es clave para proyectos donde el tiempo de ejecución es un factor crítico.

La consolidación por precarga con drenes verticales ha demostrado ser un método eficiente para reducir significativamente los asientos post constructivos y mejorar la resistencia al corte de los suelos blandos, estos datos son sustentado por la evidencia de asentamientos en los galpones construidos previamente en donde no se usó esta técnica. Los análisis realizados con el software Plaxis 2D permitieron modelar el comportamiento del suelo bajo diferentes escenarios de carga, mostrando una disipación acelerada de los esfuerzos de poro gracias a la inclusión de drenes verticales, lo que resultó en un asentamiento aproximado de 80 cm y un grado de consolidación de 90%.

Se evidencia que este método puede consolidar uniformemente el suelo en profundidades de hasta 28 metros, permitiendo una mejor distribución de cargas para las futuras estructuras proyectadas en la zona.

Para la selección de las propiedades de los materiales, se realizaron modelaciones en Plaxis utilizando el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb. Este modelo fue elegido por su simplicidad para generar una primera aproximación en suelos blandos y obtener datos que nos ayuden a entender el comportamiento del estrato de suelo.

A diferencia de otros modelos más complejos, como el Hardening Soil Model, Mohr-Coulomb permite un análisis rápido, proporcionando resultados confiables para estimar la resistencia al corte y las deformaciones, elementos clave en el diseño geotécnico preliminar.

Se evaluaron tres alternativas principales: precarga con drenes verticales, precarga sin drenes y cimentaciones profundas mediante pilotes. Los resultados muestran que, aunque los pilotes ofrecen una solución técnica eficaz, su elevado costo inicial y el impacto ambiental asociado los hacen menos viables para este proyecto. La precarga con drenes verticales, en cambio, representa un balance óptimo entre costo, tiempo de ejecución y emisiones de CO₂ aproximadas, siendo la alternativa más sostenible y económicamente viable para un proyecto de esta magnitud.

La implementación de drenes verticales reduce drásticamente el tiempo necesario para alcanzar la consolidación deseada. Según los análisis realizados, el tiempo de consolidación se reduce hasta en un 50% en comparación con métodos convencionales de mejoramiento de suelos. Esto no solo optimiza el cronograma del proyecto, sino que también minimiza los riesgos asociados a deformaciones diferenciales durante la construcción de los galpones proyectados.

El presupuesto total del proyecto, considerando la implementación del método de precarga con drenes verticales, asciende a \$800,000. Este monto es factible, considerando sus beneficios a largo plazo, además, al costo de alternativas como las cimentaciones profundas, cuyo valor en proyectos similares puede superar el doble del presupuesto actual. Además, el costo por metro cuadrado de suelo mejorado resulta competitivo frente a otros métodos de estabilización empleados en condiciones geotécnicas similares, lo que refuerza la factibilidad económica de la solución propuesta.

Este proyecto está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles). La reducción de emisiones de CO₂ aproximada en comparación con métodos tradicionales, junto con el aprovechamiento eficiente de los recursos materiales y energéticos, posiciona esta solución como una alternativa sostenible para el desarrollo urbano de la región, viste en el capítulo 4. El uso de drenes verticales no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también fomenta prácticas constructivas responsables y respetuosas con el entorno.

el método de consolidación por precarga con drenes verticales se posiciona como la mejor alternativa para garantizar la estabilidad y funcionalidad de los galpones proyectados en la zona de estudio. Su balance entre eficiencia técnica, sostenibilidad ambiental y viabilidad económica lo convierte en un modelo de referencia para proyectos de infraestructura en suelos altamente compresibles.

Este estudio reafirma la importancia de un análisis integral en la toma de decisiones geotécnicas, considerando no solo los parámetros técnicos, sino también los aspectos económicos y ambientales que determinan el éxito de un proyecto a largo plazo.

6.2 Recomendaciones

- Dada la falta de una caracterización adecuada de los estratos de suelo a partir de los 22 metros de profundidad, existe el riesgo de subestimar el asentamiento final, lo que podría ocasionar problemas en las estructuras fundamentadas en ellos. Está incertidumbre resalta la necesidad de estudios adicionales que incluyan sondeos a mayor profundidad y así lograr una caracterización precisa de los suelos, garantizando así un diseño más seguro y eficiente.

- Una de las limitaciones para estimar los asentamientos por Plaxis es el modelo constitutivo, por lo cual se recomienda usar un modelo distintos a Mohr-Coulomb, ya que este considera una Plasticidad perfecta, módulo de elasticidad línea. A diferencia de modelos constitutivos como el Hardening Soil, Cam clay, Soft Soil Creep, representando un comportamiento más realista, no lineal, dependiente del tiempo y de ciclos de carga-descarga.
- Seleccionar adecuadamente las fórmulas y ecuaciones es un aspecto fundamental en el análisis de técnicas de precarga con drenes verticales, ya que determina la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos. En muchos casos, las ecuaciones utilizadas se basan en parámetros que pueden no estar directamente disponibles o que se obtienen a través de estimaciones típicas, lo que puede aumentar la incertidumbre en el cálculo.
- Se recomienda llevar a cabo ensayos específicos de laboratorio como pruebas de compresión unidimensional, triaxiales o de corte directo, que permitan determinar adecuadamente la mejor representación geotécnica del suelo para obtener datos como el ángulo de fricción, la cohesión o módulo de elasticidad y así minimizar la incertidumbre de los cálculos.
- Reducir los parámetros que se derivan de correlaciones empíricas realizados en contextos geotécnicos diferentes y la cantidad de datos inferidos, debido a que puede aumentar las desviaciones de los valores reales de cada paso en la estimación de un parámetro, trae consigo un margen de error inherente.
- Durante la etapa de consolidación, es fundamental implementar un sistema de monitoreo con piezómetros e inclinómetros para evaluar la presión de poros y los asentamientos. Esto permitirá realizar ajustes en el terraplén o en las cargas de

precarga según los resultados obtenidos, asegurando el cumplimiento de los objetivos técnicos.

- Se recomienda implementar un plan de gestión de residuos sólidos, que incluya la clasificación, reutilización y disposición adecuada de los materiales generados durante las actividades de construcción. Esto garantizará el cumplimiento de las normativas ambientales y reducirá el impacto ambiental del proyecto.
- Es importante que el personal involucrado en la instalación de drenes y el manejo del terraplén esté capacitado en el uso de equipos especializados y en la implementación de medidas de control ambiental. Esto garantizará una ejecución eficiente y segura del proyecto.
- Se sugiere documentar todo el proceso de diseño, ejecución y monitoreo, incluyendo los resultados obtenidos. Esto no solo facilitará la evaluación del proyecto, sino que también permitirá replicar esta técnica en otras regiones con suelos altamente compresibles.

Referencias

- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons.
- Das, B. M. (2016). *Principles of Geotechnical Engineering (9th ed.)*. Cengage Learning.
- Patra, N. R., & Mukherjee, K. (2019). *Ground Improvement Techniques*. Springer.
- Rowe, K. (2012). *Ground Improvement, Third Edition*. CRC Press.
- Van Genuchten, M. T. (2005). *Ground Improvement by Preloading*. Springer.
- Budhu, M. (2015). *Soil Mechanics and Foundations (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Jong, G. R. D. T. B. M. C. M. G. V. R. B. C. G. (2010). *Field Testing in Geotechnical Engineering*. Springer.
- D. W. A. D. R. T. M. V. B. P. L. A. K. K. P. A. D. A. S. S. D. R. J. P. G. N. S. D. B. K. H. D. J. F. (2015). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Springer.

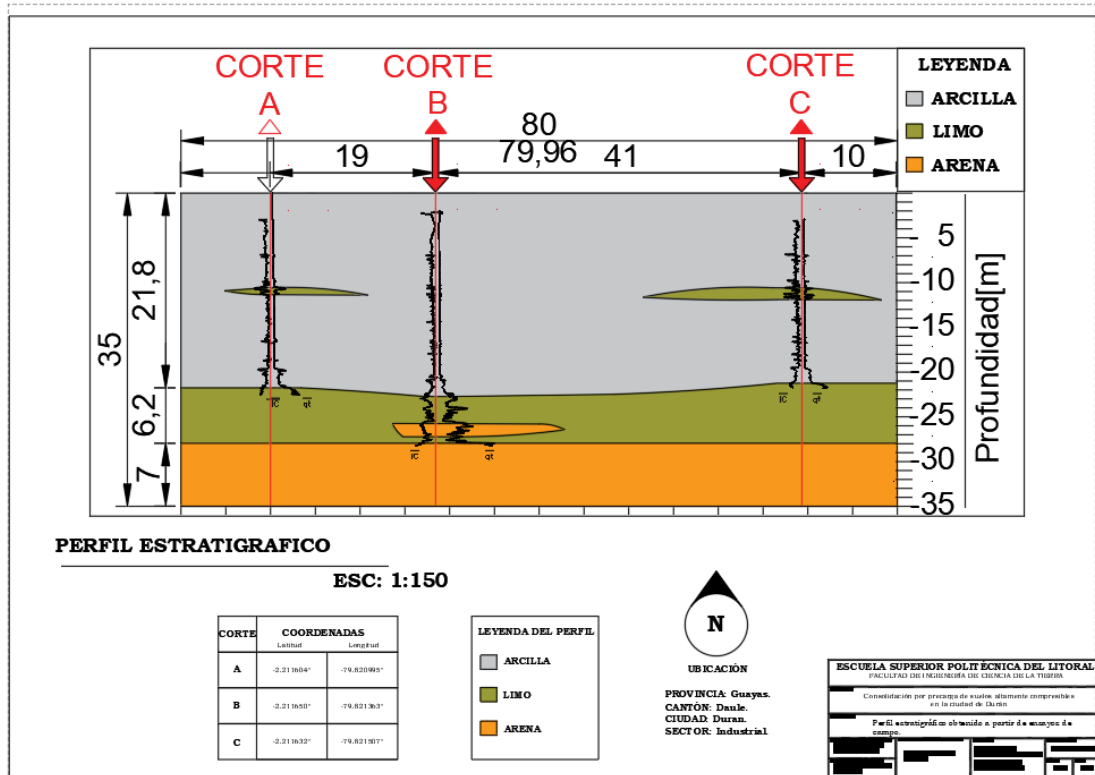
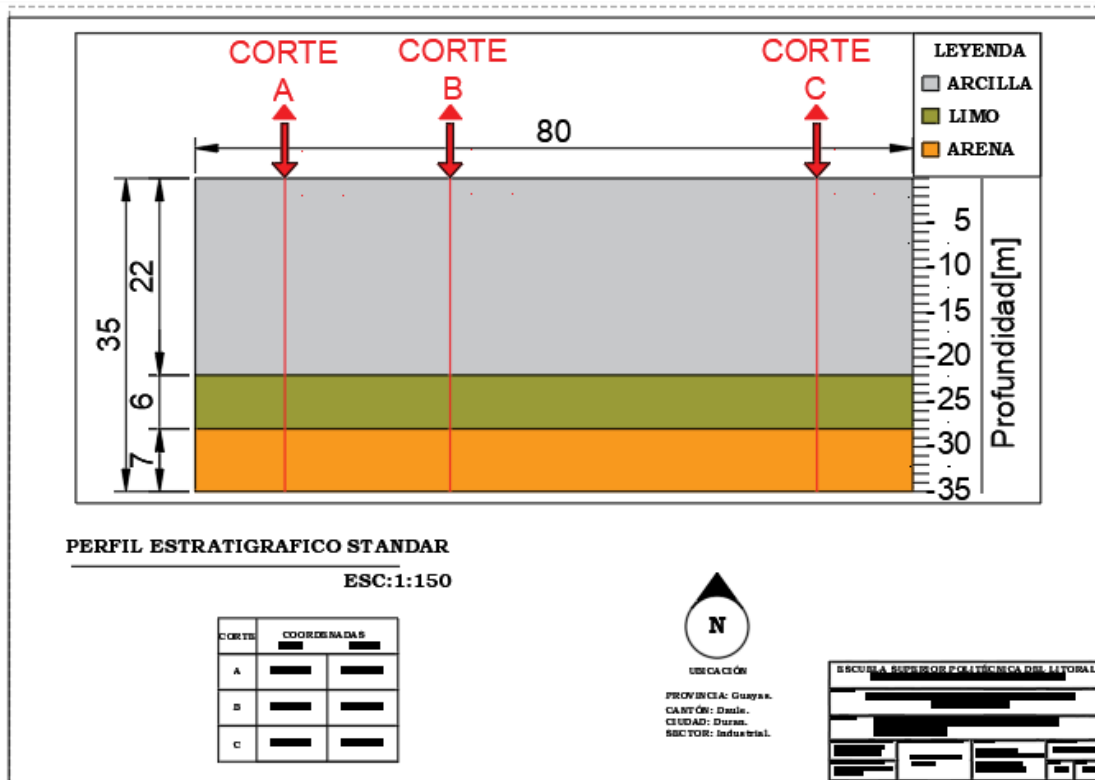
- Ávila, J., & Mendoza, P. (2017). *Aplicación de la electro-osmosis en el mejoramiento de suelos saturados en Ecuador. Revista de Tecnología en Geotecnia*, 23(2), 55-63.
- Ramírez, F., & Castro, A. (2018). *Eficiencia del reemplazo de suelos en proyectos de infraestructura en zonas urbanas de Ecuador. Revista Ecuatoriana de Ingeniería Civil*, 16(4), 102-108.
- Pérez, C., & González, L. (2019). *Técnicas de grouting en la mejora de suelos en proyectos de infraestructura en Ecuador. Revista de Geotecnia y Construcción*, 30(3), 71-78.
- Villacís, M., & Sánchez, P. (2017). *Aplicación de la compactación dinámica en suelos urbanos de Ecuador. Revista de Ingeniería Civil*, 22(1), 48-55.
- Espinosa, A., & Aguirre, J. (2016). *Mejoramiento de suelos con drenajes verticales: Aplicaciones en el sector de la construcción en Ecuador. Revista de Ingeniería Geotécnica*, 28(2), 56-62.
- Randolph, M. F., & Wroth, C. P. (2008). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Lee, S. W., & Park, J. H. (2018). *Bioengineering approaches for soil stabilization: Principles and applications. Ecological Engineering*, 65(1), 3-13.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.002>
- Smith, G. M., & Williams, J. (2016). *Chemical stabilization of soils for construction: Techniques and applications. Soil Mechanics Journal*, 31(2), 205-219. <https://doi.org/10.1016/j.souleng.2016.01.003>
- Koerner, R. M. (2014). *Designing with Geosynthetics* (6th ed.). Pearson Education.

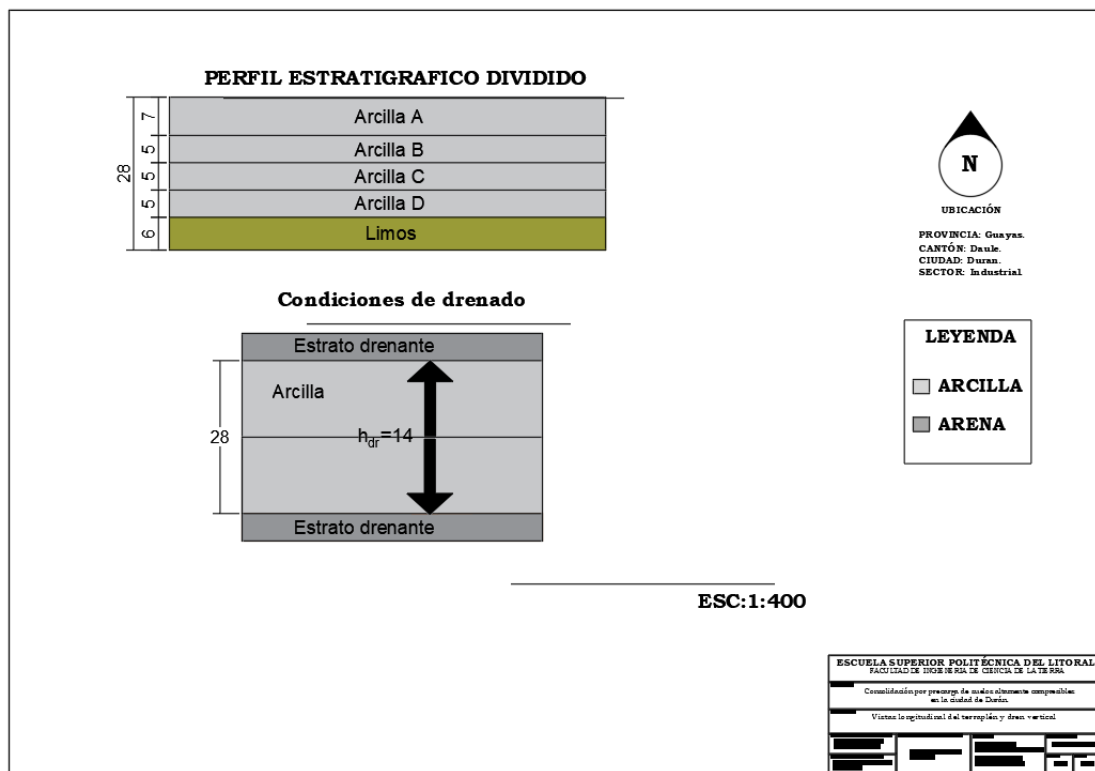
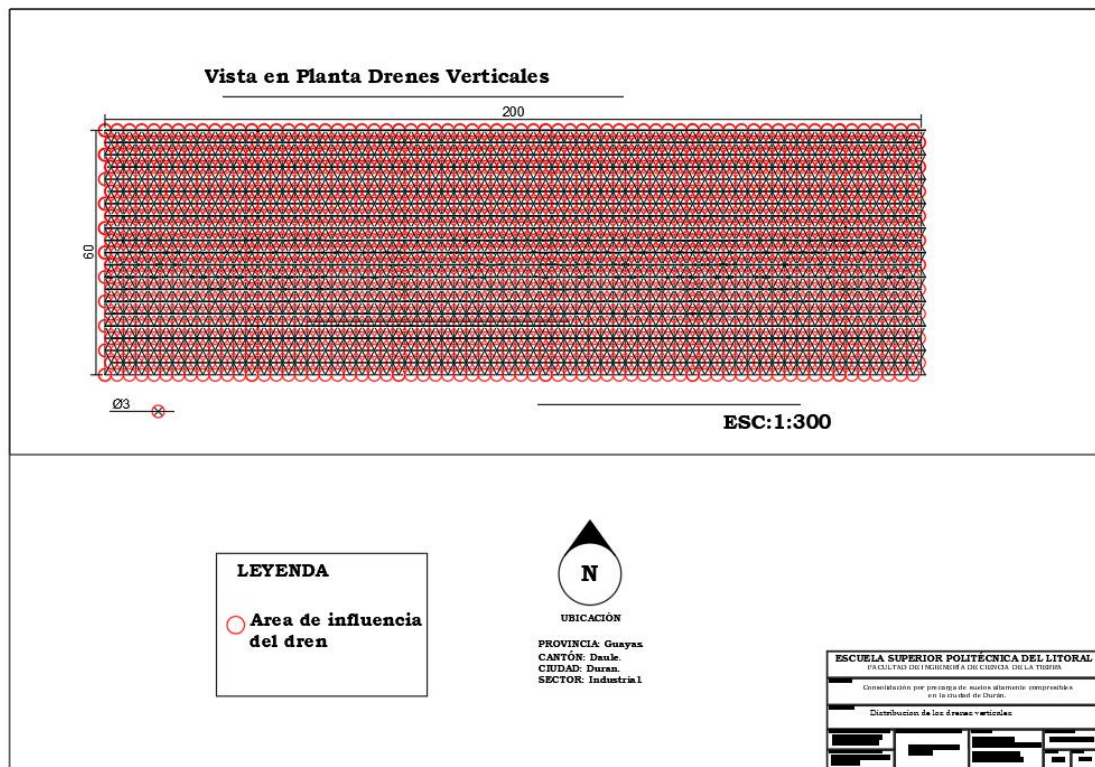
- Huang, Y., & Li, X. (2019). Soil improvement techniques using gravel columns: A review of methods and case studies. *Geotechnical Engineering*, 41(3), 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.geoteng.2019.04.004>
- Murillo, M., & Rodríguez, A. (2019). Importancia de las técnicas de mejoramiento de suelos en proyectos de infraestructura: Beneficios y aplicaciones. *Revista de Ingeniería Geotécnica*, 25(1), 32-41.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall.
- Indraratna, B., Chu, J., & Rujikiatkamjorn, C. (2005). *Ground Improvement: Case Histories*. Elsevier.
- Hansbo, S. (1979). Consolidation of Clay by Band Shaped Prefabricated Drains. *Ground Engineering*, 12(5), 16-25.
- Barron, R. A. (1948). Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113(1), 718-742.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS): Suelos y cimentaciones*. Quito, Ecuador: INEN.
- ASTM International. (2014). *ASTM D7930/D7930M: Standard Practice for Prefabricated Vertical Drains*. ASTM International.
- Plaxis BV. (2023). *Plaxis 2D/3D Manual*. Sistema Bentley. Recuperado de <https://www.plaxis.com>
- AutoDesk. (2023). *AutoCAD Civil 3D User Guide*. Recuperado de <https://www.autodesk.com>
- Cámara de la Construcción de Guayaquil (CCG). (2022). *Tarifas referenciales de materiales y mano de obra en la construcción*. Guayaquil, Ecuador.

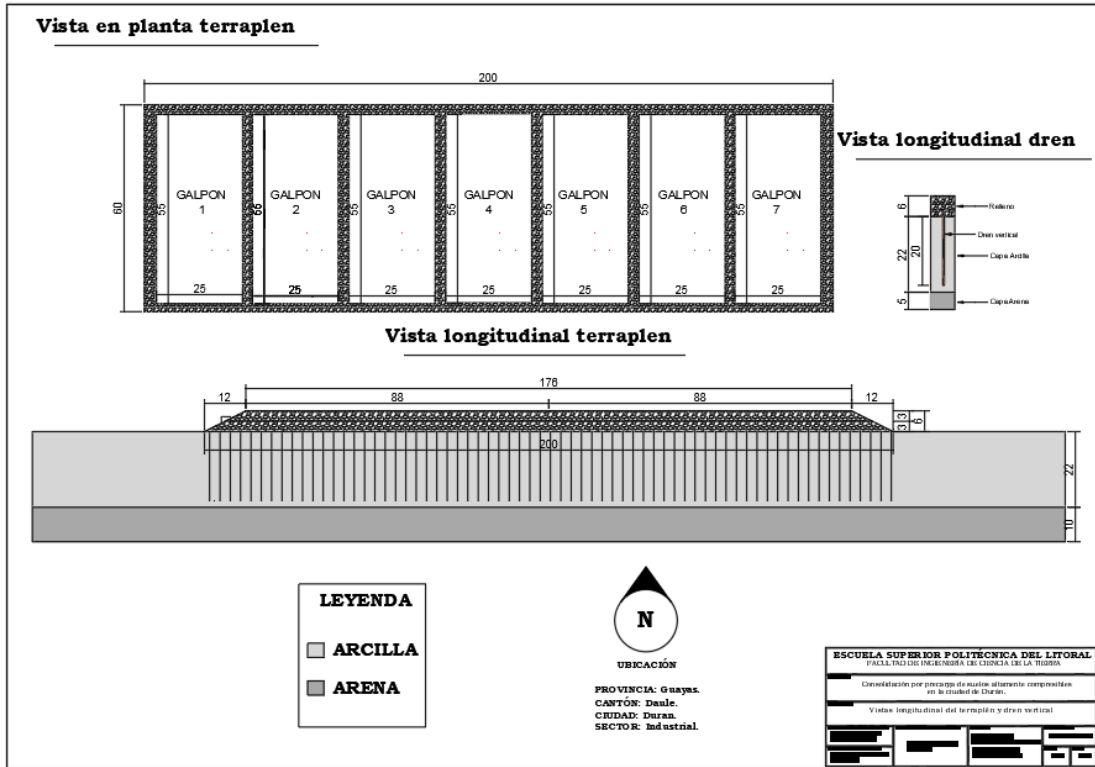
- MIDUVI. (2020). *Estudios geotécnicos en zonas de alta compresibilidad: Río Guayas y áreas circundantes. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador.*
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. Wiley
- Cernica, J. N. (1995). *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*. Wiley.
- Coduto, D. P. (2001). *Foundation Design: Principles and Practices*. Prentice Hall.
- Murthy, V. N. S. (2002). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. CRC Press.
- McCarthy, D. F. (2007). *Essentials of Soil Mechanics and Foundations* (7th ed.). Pearson.
- Bowel, R. G. (1997). *Soil Behavior Under Static and Dynamic Loads*. McGraw-Hill.

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS







ANEXO B: ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 1.1

Unidad: m2

Rubro: Desbroce, Desbosque y Limpieza

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
TRACTOR DE ORUGAS 175 HP	1,00	57,83	57,83	1,78570	103,27	
MOTOSIERRA 7 HP	2,00	1,25	2,50	1,78570	4,46	
HERRAMIENTA MENOR (5% MO)					1,53	
SUBTOTAL M					109,26	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
OP. TRACTOR CARRIL	1,00	4,65	4,65	1,78570	8,30	
ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE (E. O. D2)	1,00	4,19	4,19	1,78570	7,48	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierro, plomero) (E.O.E2)	2,00	4,14	8,28	1,78570	14,79	
SUBTOTAL N					30,57	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					0,00	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00	
mar-24		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				139,83
		INDIRECTOS % 17%				23,77
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				163,60
		VALOR OFERTADO				163,60

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán
Codigo: 1.2
Rubro: Trazado y replanteo

Unidad: m

EQUIPOS							
Descripción		Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Teodolito		0,02	6,88	0,14	0,10000	0,14	
SUBTOTAL M						0,14	
MANO DE OBRA							
Descripción		Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierro, plomero) (E.O.E2)		0,10	4,05	0,41	0,10000	0,41	
Carpintero		0,05	4,10	0,21	0,10000	0,21	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)		0,03	4,33	0,13	0,10000	0,13	
SUBTOTAL N						0,74	
MATERIALES							
Descripción			Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
				A	B	C=A*B	
Cementina 25 Kg			u	0,05	6,50	0,325	
Cuartón 4 x 2			u	0	1,50	0,150	
Tiras madera 4x4x250 cm			u	0,01	63,83	0,638	
Clavos chicos 2, 2 1/2", 3", 3 1/2" (30kg)			u	0,20	0,40	0,080	
SUBTOTAL O						1,19	
TRANSPORTE							
Descripción			Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P						0,00	
ene-25			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				2,07
			INDIRECTOS % 17%				0,35
			UTILIDAD %				0,00
			COSTO TOTAL DEL RUBRO				2,42
			VALOR OFERTADO				2,42

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 3 de 18

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 1.3

Unidad: u

Rubro: Letrero de obra 4.5X3M (inc.estructura metalica, lona con impresión color)

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
SOLDADORA HERRAMIENTA MENOR (5%M.O.)	A 1,00	B 2,20	C=A*B 2,20	R 12,00000	D=C*R 26,40 12,79	
					39,19	
	SUBTOTAL M					
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2) INSTALADOR DE REVESTIMIENTO EN GENERAL D2 MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (E.O.C1) TECNICO ELECTROMECHANICO DE CONSTRUCCION (E.O.D2)	A 2,00	B 4,14	C=A*B 8,28	R 12,00000	D=C*R 99,36	
	1,00	4,19	4,19	12,00000	50,28	
	1,00	4,65	4,65	12,00000	55,80	
	1,00	4,19	4,19	12,00000	50,28	
SUBTOTAL N					255,72	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
ACERO ESTRUCTURAL A36(inc. Inhibidor de corrosión) BASE/ SOP.PLANCHA 1,22x2,44x3mm PERNO DE REFUERZO HORMIGON SIMPLE fc=210kg/cm2 REMACHES PINTURA ESMALTE (color) LONA IMPRESA FULL COLOR (14Oz, respaldo negro, resistencia UV, durabilidad min. 2 años) SOLDADURA 6011 ACERO DE REFUERZO EN BARRAS (fy=4200 kg/cm2) ALAMBRE RECOCIDO # 18 SUBTOTAL O			A	B	C=A*B	
		kg	83,410	5,39	449,58	
		u	0,132	93,79	12,38	
		u	8,000	3,00	24,00	
		m3	0,360	97,26	35,01	
		u	75,000	0,03	2,25	
		galon	0,830	28,45	23,61	
		m2	13,500	9,01	121,64	
		kg	2,500	3,56	8,90	
		kg	37,310	1,34	50,00	
		kg	1,870	1,12	2,09	
		SUBTOTAL O				
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo		
TRANSPORTE DE MATERIALES	Glb	A 1,00	B 43,77	C=A*B 43,77		
		SUBTOTAL P				43,77
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				1.068,14
		INDIRECTOS % 17%				181,58
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				1.249,72
		VALOR OFERTADO				1.249,72

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 1.4

Unidad: u

Rubro: Letrero metalico

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTA MENOR (5%M.O.)					1,67
SUBTOTAL M					1,67
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2)	2,00	4,14	4,14	4,00000	16,56
TECNICO ELECTROMECHANICO DE CONSTRUCCION (E.O.D2)	1,00	4,19	4,19	4,00000	16,76
SUBTOTAL N					33,32
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
PLACA Fe 4mm (0,6x1,20)	u	0,250	125,06	31,27	
PINTURA ANTICORROSIVA	galon	0,150	19,45	2,92	
ACRILYC PINTURA	galon	0,150	21,57	3,24	
ACRILYC PINTURA	galon	0,300	21,57	6,47	
ABRAZADERA	u	8,000	2,72	21,76	
SUBTOTAL O				65,66	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
TRANSPORTE DE MATERIALES	Glb	1,00	3,94	3,94	
SUBTOTAL P				3,94	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			104,59
		INDIRECTOS % 17%			17,78
		UTILIDAD %			0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			122,37
		VALOR OFERTADO			122,37

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 1.5

Unidad: u

Rubro: Bateria sanitaria portatil(unidad x mes)

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
CABINA SANITARIA PORTATIL	mes	A 1,000	B 162,16	C=A*B 162,16	
SUBTOTAL O					162,16
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
TRANSPORTE DE MATERIALES	Glb	A 1,00	B 9,73	C=A*B 9,73	
SUBTOTAL P					9,73
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			171,89
		INDIRECTOS % 17%			29,22
		UTILIDAD %			0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			201,11
		VALOR OFERTADO			201,11

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 2.1

Unidad: m3

Rubro: Relleno de terreno hasta 0.20 m

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramientas menores	1,00	0,05	0,05	0,65000	0,05	
SUBTOTAL M					0,05	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2)	0,20	2,50	0,50	0,65000	0,50	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)	0,02	3,50	0,07	0,65000	0,07	
SUBTOTAL N					0,57	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					0,00	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				0,62
		INDIRECTOS % 17%				0,11
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				0,73
		VALOR OFERTADO				0,73

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 2.2

Unidad: m3

Rubro: Trazado de niveles y replanteo

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
SUBTOTAL M					0,00	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2)	0,10	3,20	0,32	0,70000	0,32	
Albañil	0,20	0,20	0,04	0,70000	0,04	
SUBTOTAL N					0,36	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
Estacas		u	1,000	0,15	0,15	
Clavos		u	0,050	1,03	0,05	
SUBTOTAL O					0,20	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				0,56
		INDIRECTOS % 17%				0,10
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				0,66
		VALOR OFERTADO				0,66

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 3.1

Unidad: u

Rubro: Trazado y diseño del patrón de drenes

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
EQUIPO DE TOPOGRAFIA	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
	0,08	3,25	0,26	0,15000	0,26	
SUBTOTAL M					0,26	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
TOPOGRAFO	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
	0,24	3,50	0,84	0,15000	0,84	
	0,01	3,46	0,03	0,15000	0,03	
	0,08	4,10	0,33	0,15000	0,33	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)						
CADENERO						
SUBTOTAL N					1,20	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
TIRAS 2,5x2,5x250		u	A	B	C=A*B	
			0,200	0,38	0,08	
SUBTOTAL O					0,08	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				1,54
		INDIRECTOS % 17%				0,26
		UTILIDAD %				0,10
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,90
		VALOR OFERTADO				1,90

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 3.2

Unidad: km

Rubro: Transporte y acopio de drenes verticales de mecha.

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
VOLQUETA	A 0,01	B 10,00	C=A*B 0,10	R 0,24000	D=C*R 0,10	
SUBTOTAL M					0,10	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
CHOFER	A 0,01	B 5,95	C=A*B 0,06	R 0,24000	D=C*R 0,06	
SUBTOTAL N					0,06	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
TIRAS 2,5x2,5x250		m	A 0,200	B 0,38	C=A*B 0,08	
SUBTOTAL O					0,08	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				0,24
		INDIRECTOS % 17%				0,04
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				0,28
		VALOR OFERTADO				0,28

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 3.3

Unidad: u

Rubro: Configuración y movilización de maquinaria de instalacion

EQUIPOS							
Descripción		Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
VOLQUETA 8 m3		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
		0,90	20,00	18,00	0,75000	18,00	
SUBTOTAL M						18,00	
MANO DE OBRA							
Descripción		Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
CHOFER		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
		0,30	2,50	0,75	0,24000	0,75	
SUBTOTAL N						0,75	
MATERIALES							
Descripción			Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
				A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O						0,00	
TRANSPORTE							
Descripción			Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P						0,00	
ene-25			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				18,75
			INDIRECTOS % 17%				3,19
			UTILIDAD %				0,00
			COSTO TOTAL DEL RUBRO				21,94
			VALOR OFERTADO				21,94

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 3.4

Unidad: km

Rubro: Instalación de drenes verticales hasta la profundidad especificada.

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Instalación de drenes	m	A 0,900	B 6,20	C=A*B 5,58	
SUBTOTAL O					5,58
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			5,58
		INDIRECTOS % 17%			0,95
		UTILIDAD %			0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			6,53
		VALOR OFERTADO			6,53

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 12 de 18

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 4.1

Unidad: m3

Rubro: Material granular Grava 40-70 mm material reciclado.

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
SUBTOTAL M					0,00	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)	1,00	4,65	4,65	0,5000	2,33	
SUBTOTAL N					2,33	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
Grava		m3	1,33	2,50	3,33	
SUBTOTAL O					3,33	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				5,66
		INDIRECTOS % 17%				0,96
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				6,62
		VALOR OFERTADO				6,62

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 4.2

Rubro: Transporte de material de prestamo importado, Longitud de acarreo de 4-8 KM

Unidad: m3-km

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
VOLQUETA (12 TON)	A 1,00	B 28,73	C=A*B 28,73	R 0,00830	D=C*R 0,24	
					0,24	
SUBTOTAL M						
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
CHOFER: Volquetas (Estr.Oc.C1)	A 1,00	B 6,08	C=A*B 6,08	R 0,00830	D=C*R 0,05	
					0,05	
SUBTOTAL N						
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
						0,00
SUBTOTAL O						
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
			A	B	C=A*B	
						0,00
SUBTOTAL P						
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				0,29
		INDIRECTOS % 17%				0,05
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				0,34
		VALOR OFERTADO				0,34

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 14 de 18

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 4.3

Unidad: m2

Rubro: Nivelacion y replanteo

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
HERRAMIENTA MENOR (5% MO)	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
					0,04	
SUBTOTAL M					0,04	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2)	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
	2,00	4,14	8,28	0,05000	0,41	
ALBAÑIL (E.O.D2)	1,00	4,19	4,19	0,05000	0,21	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)	1,00	4,65	4,65	0,05000	0,23	
SUBTOTAL N					0,85	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
CUARTON SEMIDURO (ENCOFRADO)		u	A	B	C=A*B	
			0,02	3,24	0,06	
TIRA SEMIDURA (ENCOFRADO)		u	0,03	1,88	0,06	
CLAVOS 2 1/2		Kg	0,01	1,83	0,02	
SUBTOTAL O					0,14	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
TRANSPORTE DE MATERIALES		Glb	A	B	C=A*B	
			1.00	0.01	0.01	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				1,04
		INDIRECTOS % 17%				0,18
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,22
		VALOR OFERTADO				1,22

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 15 de 18

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 4.4

Unidad: m2

Rubro: Nivelacion y replanteo

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
HERRAMIENTA MENOR (5% MO)	A	B	C=A*B	R	D=C*R 0,04	
SUBTOTAL M					0,04	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2)	A 2,00	B 4,14	C=A*B 8,28	R 0,05000	D=C*R 0,41	
ALBAÑIL (E.O.D2)	1,00	4,19	4,19	0,05000	0,21	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)	1,00	4,65	4,65	0,05000	0,23	
SUBTOTAL N					0,85	
MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
CUARTON SEMIDURO (ENCOFRADO)		u	A 0,02	B 3,24	C=A*B 0,06	
TIRA SEMIDURA (ENCOFRADO)		u	0,03	1,88	0,06	
CLAVOS 2 1/2		Kg	0,01	1,83	0,02	
SUBTOTAL O					0,14	
TRANSPORTE						
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
TRANSPORTE DE MATERIALES		Glb	A 1.00	B 0.01	C=A*B 0.01	
SUBTOTAL P					0,00	
ene-25		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				1,04
		INDIRECTOS % 17%				0,18
		UTILIDAD %				0,00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,22
		VALOR OFERTADO				1,22

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 4.5

Unidad: m

Rubro: Ajustes en la estructura del terraplén

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Relleno material árido como A2-4, A2-5 procedente de canteras	m3	A 1,200	B 12,50	C=A*B 15,00	
SUBTOTAL O					15,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ene-25			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		15,00
			INDIRECTOS % 17%		2,55
			UTILIDAD %		0,00
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		17,55
			VALOR OFERTADO		17,55

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 5.1

Unidad: m3

Rubro: Agua para control de polvo

EQUIPOS							
Descripción		Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo	
		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
TANQUERO 14 TON		1,00	39,43	39,43	0,00840	0,33	
SUBTOTAL M						0,33	
MANO DE OBRA							
Descripción		Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo	
		A	B	C=A*B	R	D=C*R	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierro, plomero) (E.O.E2)		1,00	6,08	6,08	0,00840	0,05	
CHOFER: TANQUERO (E.O.C1)		1,00	4,14	4,14	0,00840	0,03	
SUBTOTAL N						0,08	
MATERIALES							
Descripción			Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
				A	B	C=A*B	
AGUA			m3	1,000	1,24	1,24	
SUBTOTAL O						1,24	
TRANSPORTE							
Descripción			Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P						0,00	
ene-25			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				1,65
			INDIRECTOS % 17%				0,28
			UTILIDAD %				0,00
			COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,93
			VALOR OFERTADO				1,93

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto: Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán

Codigo: 5.2

Unidad: m3

Rubro: Cerramiento protector de polvo

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cerco para obras de defensa del suelo	u	A 0,500	B 3,25	C=A*B 1,63	
SUBTOTAL O					1,63
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ene-25			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		1,63
			INDIRECTOS % 17%		0,28
			UTILIDAD %		0,00
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		1,91
			VALOR OFERTADO		1,91

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	2.3			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Nivelación del terreno	UNIDAD	Rendimiento	0,35
HOJA N 006				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial M	0,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Peón		0,1	\$ 3,20	\$0,32
Albañil		0,2	\$ 0,20	\$0,04
			-	-
			Parcial N	0,360
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Estacas		1	\$0,15	\$ 0,15
Clavos		0,05	1,03	\$ 0,05
			-	-
			Parcial O	0,202
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		0,562	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,028	
	GASTOS GENERALES Q*10%		0,056	
	UTILIDADES Q*10%		0,056	
	IMPUESTOS Q*1%		0,0056	
	Precio unitario total		0,67942	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$0,68	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	3.1			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Trazado y diseño del patrón de drenes	UNIDAD	Rendimiento	0,15
HOJA N 007				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Equipo de topografia		0,08	3,25	0,26
			-	-
			Parcial M	0,260
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Cadenero		0,24	\$ 3,50	\$0,84
Maestro de Obra		0,01	\$ 3,46	\$0,03
Topografo		0,08	\$ 4,10	\$0,33
			-	-
			Parcial N	1,203
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Tiras 2.5x2.5x250		0,2	\$0,38	\$ 0,08
			-	-
			Parcial O	0,076
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		1,539	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,077	
	GASTOS GENERALES Q*10%		0,154	
	UTILIDADES Q*10%		0,154	
	IMPUESTOS Q*1%		0,0154	
	Precio unitario total		1,86171	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$1,86	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	3.2			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Transporte y acopio de drenes verticales de mecha.	UNIDAD	Rendimiento	0,24
HOJA N 008				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial M	0,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Chofer		0,01	\$ 5,95	\$0,06
			-	-
			Parcial N	0,060
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Volqueta		0,01	\$10,00	\$ 0,10
			-	-
			Parcial O	0,100
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		0,160	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,008	
	GASTOS GENERALES Q*10%		0,016	
	UTILIDADES Q*10%		0,016	
	IMPUESTOS Q*1%		0,0016	
	Precio unitario total		0,19300	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$0,19	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	3.3			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Configuración y movilización de maquinaria de instalación.	UNIDAD	Rendimiento	0,75
HOJA N 009				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Volqueta 8m3		1	\$ 20,00	20
			-	-
			Parcial M	20,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Chofer		1	\$ 2,50	\$2,50
			-	-
			Parcial N	2,500
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial O	0,000
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		22,500	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		1,125	
	GASTOS GENERALES Q*10%		2,250	
	UTILIDADES Q*10%		2,250	
	IMPUESTOS Q*1%		0,2250	
	Precio unitario total		27,22500	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$27,23	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	3.4			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Instalación de drenes verticales hasta la profundidad especificada.	UNIDAD	Rendimiento	0,15
HOJA N 010				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial M	0,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial N	0,000
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Instalación de drenes		0,9	\$6,20	\$ 5,58
			-	-
			Parcial O	5,58
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		5,580	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,279	
	GASTOS GENERALES Q*10%		0,558	
	UTILIDADES Q*10%		0,558	
	IMPUESTOS Q*1%		0,0558	
	Precio unitario total		6,75180	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$6,75	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	4.1			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Transporte y acopio de material granular Grava 40-70 mm material reciclado	UNIDAD	Rendimiento	0,26
HOJA N 011				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
Equipo de monitoreo de Drenes		1	25,00	25
			-	-
			Parcial M	25,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
			-	-
			Parcial N	0,000
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial O	0,000
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		25,000	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		1,250	
	GASTOS GENERALES Q*10%		2,500	
	UTILIDADES Q*10%		2,500	
	IMPUESTOS Q*1%		0,2500	
	Precio unitario total		30,25000	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$30,25	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	4.3			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Construcción de las siguientes capas hasta alcanzar la altura deseada	UNIDAD	Rendimiento	0,21
HOJA N 013				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
EXCAVADORA INCLUYENDO OPERADOR, COMBUSTIBLE Y LUBRICANTE: PESO DA 13 A 17,9 T		0,1	82,48	8,248
			-	-
			Parcial M	8,248
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
OPERARIO COMUN		0,21	\$ 8,73	\$1,83
			-	-
			Parcial N	1,833
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial O	0,000
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		10,081	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,504	
	GASTOS GENERALES Q*10%		1,008	
	UTILIDADES Q*10%		1,008	
	IMPUESTOS Q*1%		0,1008	
	Precio unitario total		12,19837	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$12,20	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	4.4			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Ajustes en la estructura del terraplén	UNIDAD	Rendimiento	0,35
HOJA N 014				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
				0
			-	-
			Parcial M	0,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
			-	-
			Parcial N	0,000
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Relleno material árido como A2-4, A2-5 procedente de canteras		1,2	\$12,50	\$ 15,00
			-	-
			Parcial O	15,000
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		15,000	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,750	
	GASTOS GENERALES Q*10%		1,500	
	UTILIDADES Q*10%		1,500	
	IMPUESTOS Q*1%		0,1500	
	Precio unitario total		18,15000	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$18,15	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	5.1			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Agua para control de polvo.	UNIDAD	Rendimiento	0,15
HOJA N 015				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
Tanquero		0,06	\$ 20,00	1,2
			-	-
			Parcial M	1,200
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
Chofer		0,03	\$ 3,50	\$0,11
			-	-
			Parcial N	0,105
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			Parcial O	0,000
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
				0,00
			-	-
			Parcial P	0,000
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		1,305	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,065	
	GASTOS GENERALES Q*10%		0,131	
	UTILIDADES Q*10%		0,131	
	IMPUESTOS Q*1%		0,0131	
	Precio unitario total		1,57905	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$1,58	

Proyecto	Consolidación por precarga de suelos altamente compresibles en la ciudad de Durán			
Cod. Rubro	5.2			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO	Cerramiento protector de polvo.	UNIDAD	Rendimiento	0,6
HOJA N 016				
Equipos				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
				0
			-	-
			Parcial M	0,000
Mano de obra				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario D=C/R
			-	-
			Parcial N	0,000
Materiales				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
Cerco para obras de defensa del suelo		0,5	\$3,25	\$ 1,63
			-	-
			Parcial O	1,625
Transporte				
Descripción		Cantidad A	Costo ahora C=A*B	Costo unitario
			-	-
			-	-
			Parcial P	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTOS DIRECTOS Q=(M+N+O+P)		1,625	
	COSTO INDIRECTOS Q*5%		0,081	
	GASTOS GENERALES Q*10%		0,163	
	UTILIDADES Q*10%		0,163	
	IMPUESTOS Q*1%		0,0163	
	Precio unitario total		1,96625	
	VALOR PRESUPUESTADO		\$1,97	