UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"EVALUACIÓN DE MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS, DE UN TERRAPLÉN SOBRE SUELOS BLANDOS CONSIDERANDO LA APLICACIÓN DE GEOBLOQUES Y DRENES DE ARENA, COMO ALTERNATIVAS DE DISEÑOS"

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

KATIUSCA MARGARITA QUIRUMBAY BORBOR

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

EVALUACIÓN DE MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS, DE UN TERRAPLÉN SOBRE SUELOS BLANDOS CONSIDERANDO LA APLICACIÓN DE GEOBLOQUES Y DRENES DE ARENA, COMO ALTERNATIVAS DE DISEÑOS.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

KATIUSCA MARGARITA QUIRUMBAY BORBOR

TUTOR:

DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE Masc., MS.c

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING JONNY VILLAO BORBOR MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

ING DANIEL CAMPOVERDE Mg.
DOCENTE TUTOR

ING. LUCRECIA MORENO ALCIVAR PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

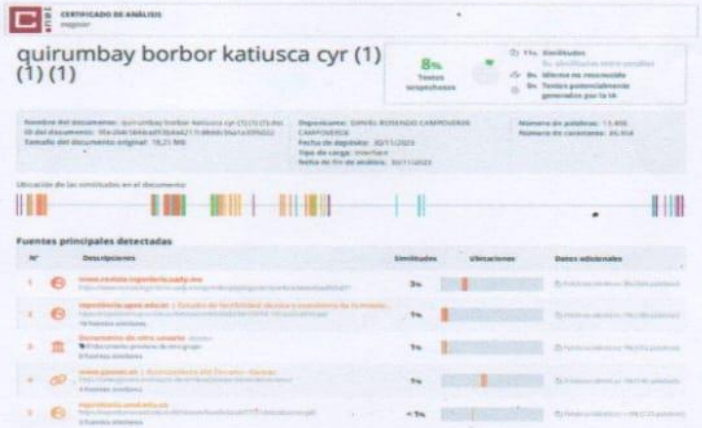
ING. LUCRECIA MORENO ALCIVAR PhD.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

(A Dios,
mis padres, mi hijo y
docentes
que transmitieron
cada uno de sus conocimientos
para lograr este objetivo)
Katiusca Quirumbay.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **Evaluación de magnitud y tiempos de asentamientos, de un terraplén sobre suelos blandos considerando la aplicación de geobloques y drenes de arena, como alternativas de diseños,** elaborado por la estudiante la Sra. Quirumbay Borbor Katiusca Margarita, egresada de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 8% de la valoración permitida.


CERTIFICADO DE ANÁLISIS

quirumbay borbor katiusca cyr (1) (1) (1)

8%

Fuentes principales detectadas

FIRMA DEL TUTOR

Ing. Campoverde Campo verde Daniel Rosendo Msc.

C.I.: 091317654-1

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFIA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, ***BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ***, en mi calidad de ***LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS***, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado ***"EVALUACIÓN DE MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS, DE UN TERRAPLÉN SOBRE SUELOS BLANDOS CONSIDERANDO LA APLICACIÓN DE GEOBLOQUES Y DRENES DE ARENA, COMO ALTERNATIVAS DE DISEÑOS"***, de la estudiante: ***QUIRUMBAY BORBOR KATIUSCA MARGARITA.***

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a la interesada hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 24 de Noviembre del 2023

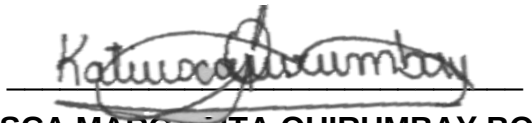
Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUCIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Quirumbay Borbor Katiusca Margarita, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **"Evaluación de magnitud y tiempos de asentamientos, de un terraplén sobre suelos blandos considerando la aplicación de geo bloques y drenes de arena, como alternativas de diseños"**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



KATIUSCA MARGARITA QUIRUMBAY BORBOR

Autor de Tesis

C.I. 245029651-8

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo MSc.
TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **Evaluación de magnitud y tiempos de asentamientos, de un terraplén sobre suelos blandos considerando la aplicación de geobloques y drenes de arena, como alternativas de diseños,** previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por la Sra. Quirumbay Borbor Katiusca Margarita, egresada de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR

Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo Msc.
C.I.: 091317654-

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mis más sinceros agradecimientos a todos aquellos que han contribuido significativamente a la realización de esta tesis.

A mi tutor **Ing. Daniel Campoverde Msc.** y a la **Ing. Lucrecia Moreno Alcívar** por su orientación, paciencia y dedicación. Sus valiosos comentarios y sugerencias interesantes fueron útiles para dar forma y mejorar este trabajo.

A mis docentes y compañeros por brindarme un ambiente propicio para el estudio y la investigación.

A mi familia por su inquebrantable apoyo emocional y motivación, a mis papás el **Sr. Pedro Borbor**, la **Sra. María Malavé** y la **Ing. Flor Borbor Malavé,** mis tíos el **Tnlgo. Wellington Borbor**, **Tnlgo. Pedro Borbor, Ing. Geovanny Ortega** y la **Ing. Nury Borbor,** gracias por creer en mí y ser una fuente constante de inspiración, por cuidar y velar de mi hijo durante este duro proceso.

A mi hijo **Mathías Moisés**, quien ha sido fuente de alegría e inspiración, tu amor incondicional ha sido mi motivación para culminar la carrera y seguir adelante.

A cada uno de mis amigos que compartieron conmigo este viaje académico y me brindaron aliento y amistad. A mi mejor amigo, el **Ing. Carlos Vera A.** por incentivarme a conocer a profundidad el trabajo de campo de esta hermosa carrera, y de manera muy especial al **Arq. Giovanni Parrales,** su ayuda y compañía ha sido fundamental, incluso en mis momentos más turbulentos, cada una de tus palabras de aliento han sido esencial para culminar este proyecto.

Este logro no sería posible sin el apoyo de todos ustedes.

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN II

DEDICATORIA III

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO IV

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFIA V

DECLARACIÓN DE AUTORÍA VI

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR VII

AGRADECIMIENTOS VIII

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN 3

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 5

1.2 ANTEDECENTES 5

1.3 HIPÓTESIS 7

1.3.1 Hipótesis General. 7

1.3.2 Hipótesis Específicas. 7

1.4 OBJETIVOS 7

1.4.1 Objetivo General. 7

1.4.2 Objetivos Específicos. 8

1.5 ALCANCE 8

1.6 VARIABLES 9

1.6.1 Variables Independientes. 9

1.6.2 Variables Dependientes. 9

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 10

2.1. SUELO 10

2.2. ESTABILIZACIÓN DEL SUELO 11

2.2.1. Estabilización mecánica. 12

2.2.2. Estabilización física. 12

2.2.3. Estabilización química. 13

2.3. ASENTAMIENTO 15

2.3.1. Causas de los asentamientos. 15

2.3.2. Asentamiento diferencial. 16

2.3.3. Asentamiento diferencial de un edificio. 16

2.3.4. Asentamientos admisibles. 17

2.3.5. Cálculo de Asentamiento 17

2.3.6. Cálculo de Tiempo de Asentamiento 20

2.4. TERRAPLÉN 21

2.4.1. Capas del terraplén. 22

2.4.2. Terraplén sobre suelos blandos. 23

2.5. GEOBLOQUES 26

2.5.1. Aplicaciones de geo bloques. 26

2.6. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO 26

2.6.1. Gravedad específica del suelo. 27

2.6.2. Contenido de la humedad. 27

2.6.3. Peso unitario. 28

2.6.4. Relación de vacíos. 28

2.6.5. Grado de saturación. 28

2.7. DRENES VERTICALES 29

2.7.1. Tipos de drenes verticales. 30

2.7.2. Diseño de drenes verticales 38

2.8. SIGMA/W 39

CAPITULO III METODOLOGÍA 40

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 40

3.1.1. Tipo 40

3.1.2. Nivel 40

3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO 40

3.2.1. Población 40

3.2.2. Muestra 41

3.3. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO 41

3.3.1. Av. Francisco de Orellana desde paseo del parque vía Nueva (Suelo Inalterado) 41

3.4 METODOLOGÍA DEL OE.1: ANALIZAR LA MAGNITUD Y TIEMPO DE ASENTAMIENTO QUE GENERARÍA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS APROCHES CON UN TERRAPLÉN PARA EL ACCESO A UN PUENTE VEHICULAR SOBRE SUELOS BLANDOS, APLICANDO LOS CRITERIOS DE LA TEORÍA DE CASA GRANDE PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA VIGENTE. 42

3.5 METODOLOGÍA DEL OE.2: ESTUDIAR EL ASENTAMIENTO REEMPLAZANDO EL MATERIAL DEL APROCHE DE UN TERRAPLÉN CON GEOBLOQUES, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE LA CARGA EN SUELOS BLANDOS, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN PRIMARIA. 46

3.6 METODOLOGÍA DEL OE.3: EVALUAR LA MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS CON UNA CONSTRUCCIÓN DE APROCHES CON UN TERRAPLÉN APLICANDO PRECARGA Y DRENES DE ARENA., PARA DISMINUIR LA MAGNITUD 47

3.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 50

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSION 51

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS DEL OE.2: ESTUDIAR EL ASENTAMIENTO REEMPLAZANDO EL MATERIAL DEL APROCHE DE UN TERRAPLÉN CON GEOBLOQUES, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE LA CARGA EN SUELOS BLANDOS, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN PRIMARIA. 52

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS DEL OE.3: EVALUAR LA MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS CON UNA CONSTRUCCIÓN DE APROCHES CON UN TERRAPLÉN APLICANDO PRECARGA Y DRENES DE ARENA., PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE ASENTAMIENTO 54

4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 56

CONCLUSIONES 59

RECOMENDACIONES 60

BIBLIOGRAFÍA 61

ANEXOS 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. *Cambio de la relación de vacíos en el espécimen con la presión* 18

Figura 2. *Valor de influencias I' para carga de terraplenes* 24

Figura 3. *Modelación de cargas de terraplén según Osterberg* 25

Figura 4. *Drenes de Arena* 30

Figura 5. *Mapa para ubicación* 42

Figura 6. *Dimensiones del terraplén* 43

Figura 7. *Grafica Cv* 45

Figura 8. *Grafica Cv* 45

Figura 9. *Dimensiones del terraplén* 46

Figura 10. *Dimensiones del terraplén* 47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1*. Propiedades de la estabilización mecánica* 12

Tabla 2*. Propiedades de la estabilización física* 13

Tabla 3*. Propiedades de la estabilización química* 14

Tabla 4. *Variación de Tv con U* 21

Tabla 5*. Capas del terraplén* 22

Tabla 6. *Relación de vacíos, contenido de humedad y peso unitario seco para algunos tipos de suelo en estado natural* 29

Tabla 7. *Solución para drenaje radial.* 31

Tabla. 8. *Datos del Perfil estratigráfico* 51

Tabla. 9. *Resultados del OE1* 53

Tabla. 10. Resultados del OE1 53

Tabla. 11. Datos del Perfil estratigráfico 55

Tabla. 12. *Resultados del OE2* 55

Tabla. 13. *Datos del Perfil estratigráfico* 56

Tabla. 14. *Resultados del OE3* 57

Tabla. 15. *Resultados del OE3* 57

Tabla. 16. *Resultados del OE3* 58

Tabla. 17. *Datos del Resultados* 59

LISTA DE ECUACIONES

(Ecuación 1) altura de los sólidos 17

(Ecuación 2) Volumen de Sólidos 18

(Ecuación 3) Cambio de Volúmenes 18

(Ecuación 4) Asentamiento Primario 18

(Ecuación 5) Asentamiento Primario 18

(Ecuación 6) Asentamiento Primario 19

(Ecuación 7) Asentamiento Primario 19

(Ecuación 8) compresión 19

(Ecuación 9) compresión 19

(Ecuación 10) compresión 20

(Ecuación 11) índice de expansión 20

(Ecuación 12) índice de expansión 20

(Ecuación 13) índice de expansión 20

(Ecuación 14) Tiempo de asentamiento por consolidación 21

(Ecuación 15) Transmisión de esfuerzos 23

(Ecuación 16) Valor de capacidad de carga 23

(Ecuación 17) Esfuerzo efectivo 23

(Ecuación 18) Valor de Influencia B1 24

(Ecuación 19) Valor de Influencia B2 24

(Ecuación 20) valores de los ángulos $\propto_1$ 25

(Ecuación 21) valores de los ángulos $\propto_2$,..... 25

(Ecuación 22) Valor del incremento de esfuerzos efectivos 25

(Ecuación 23) volumen de la muestra 27

(Ecuación 24) Peso total del suelo..... 27

(Ecuación 25) Gravedad específica del suelo..... 27

(Ecuación 26) Peso de agua a peso de sólidos..... 28

(Ecuación 27) Peso de suelo por la unidad del volumen..... 28

(Ecuación 28) Relación de vacío..... 28

(Ecuación 29) Grado de saturación 28

(Ecuación 30) Drenes de arena..... 31

(Ecuación 31) Grado de Consolidación Promedio 31

(Ecuación 32) Drenaje radial..... 33

(Ecuación 33) Drenaje radial..... 33

(Ecuación 34) consolidación de deformación 34

(Ecuación 35) consolidación de deformación 34

(Ecuación 36) consolidación de deformación 34

(Ecuación 37) Coeficiente de consolidación de Drenaje Radial 35

(Ecuación 38) Grado promedio de consolidación 35

(Ecuación 39) Valor del factor del tiempo 35

(Ecuación 40) Valor de $\mathbf{N_D}$..... 35

(Ecuación 41) Factor de Tiempo Adimensional..... 35

“EVALUACIÓN DE MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS, DE UN TERRAPLÉN SOBRE SUELOS BLANDOS CONSIDERANDO LA APLICACIÓN DE GEOBLOQUES Y DRENES DE ARENA, COMO ALTERNATIVAS DE DISEÑOS”

Autor: Quirumbay Borbor Katiusca Margarita
Tutor: Campoverde Campoverde Daniel Rosendo

RESUMEN

Este proyecto de tesis presenta un análisis de los asentamientos provocados por la construcción de un terraplén que conduce a un puente vehicular en el distrito de Samanes de la ciudad de Guayaquil. Al adoptar la teoría de Casagrande, el objetivo es cumplir con los estándares NEC15. Se pretende que la estratigrafía del sitio permite el análisis de la extensión y el momento del hundimiento.

Se propusieron dos opciones de diseño: sustitución de los materiales del terraplén por bloques geotécnicos y construcción de drenes verticales de arena. Teniendo en cuenta la duración prevista de más de 30 años, la comparación de datos ayudará a elegir las alternativas más ventajosas para garantizar la sostenibilidad de las obras de construcción. El documento enfatiza la importancia de comprender los niveles de asentamiento en proyectos de ingeniería y recomienda procedimientos para determinar el alcance del asentamiento del suelo. Presenta los resultados de pruebas de laboratorio, análisis y conclusiones para proporcionar una comprensión detallada de los parámetros involucrados en el desarrollo y su efecto sobre el depósito formado durante el proceso.

***PALABRAS CLAVE**:* Geo bloques, Estratigrafía, Terraplén, Asentamiento, Consolidación.

“EVALUATION OF MAGNITUDE AND TIMES OF SETTLEMENT, OF AN EMBANKMENT ON SOFT SOILS CONSIDERING THE APPLICATION OF GEOBLOCKS AND SAND DRAINS, AS ALTERNATIVE DESIGNS”

Autor: Quirumbay Borbor Katiusca Margarita

Tutor: Campoverde Campoverde Daniel Rosendo

ABSTRACT

This thesis project presents an analysis of settlements caused by the construction of a dam leading to a vehicular bridge in the Samanes district of the city of Guayaquil. By adopting the Casagrande theory, the objective is to comply with NEC15 standards. The site's stratigraphy is believed to allow for the analysis of the extent and timing of settlement.

Two design options were proposed: replacement of embankment materials with geotechnical blocks and construction of vertical sand drains. Taking into account the expected duration of more than 30 years, the comparison of data will help to choose the most advantageous alternatives to ensure the sustainability of construction works.

The document emphasizes the importance of understanding settlement levels in engineering projects and recommends procedures to determine the scope of soil settlement. It presents the results of laboratory tests, analyses, and conclusions to provide a detailed understanding of the parameters involved in development and their effect on the settlement formed during the process.

KEYWORDS: Geo blocks, Stratigraphy, Embankment, Settlement, Consolidation

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Lo que más nos fascina y llama la atención cuando miramos proyectos de construcción como puentes, carreteras y edificios es la parte estructural que vemos a simple vista, uno de los aspectos menos obvios, pero igualmente importantes de los cimientos de estos edificios es el suelo, que sigue causando problemas durante todo el proceso de construcción.

Se pretende analizar el asentamiento que generaría la construcción de un terraplén que servirá para acceso a un puente vehicular sobre suelos blandos basado en los criterios de la teoría de Casagrande para verificar el cumplimiento de la norma vigente NEC15.

El área de estudio es en la Ciudad de Guayaquil, el sector de Samanes, en el cual se va a ejecutar un puente vehicular, permitiendo un mejor flujo de vehículos, beneficiando el tiempo de viaje y evitando las demoras del transporte público.

Se contempla el análisis de la magnitud y tiempo de asentamiento que genera la construcción del terraplén de acceso al puente, en suelos blandos que subyacen en sitio de construcción. Con la estratigrafía del lugar, nos permitiría un mejor desenvolvimiento en nuestro análisis, así como también considerando varias alternativas de diseño para disminuir su magnitud y tiempos de asentamientos, como lo es el reemplazo del material del terraplén por Geo bloques, que se caracteriza por ser un material para relleno con bajo peso y nos permitiría la obtención de datos al menor tiempo posible, considerando también el precio del material adicionando el diseño y peso de la capa de asfalto que va en la parte superior de los Geo bloques, como segunda propuesta de diseño y análisis tenemos por verificar si la alternativa de construcción de precarga y drenes verticales de arena permite que disminuya el tiempo que tomaría la consolidación del subsuelo y con ello acelerar su asentamiento, esta última propuesta de diseño también abarca en su estudio la cuantía de drenes necesarios en el área del terraplén así como el análisis del espaciamiento requerido para su funcionamiento.

El análisis de estas propuestas y los resultados obtenidos de las mismas, permitirán una comparación de datos, dirigiéndonos así por la más factible, teniendo en cuenta que, siendo una obra de uso público, se prevé una estimación de durabilidad según el Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Infraestructura del Transporte Módulo I, NEVI-12, define que un proyecto cuya vida puede exceder a los 30 años (Ministerio de transporte y obras publicas del Ecuador, 2013).

Este proyecto, también llamada prueba de compresión confinada, es importante porque la consolidación es un problema natural con suelos finos como arcillas y limos, y se aplica a todos las carreteras construidas sobre dichos suelos, de esta manera, la construcción sobre suelos arcillosos y/o limosos genera procesos de carga y descarga que pueden ocurrir a corto o largo plazo dependiendo de la naturaleza del suelo que afectan, como es el caso de los cimientos viales, se producen dos tipos de reacciones: los cambios en la disposición inicial de las partículas del suelo provocan un asentamiento inmediato y, con el tiempo, la tensión sobre el suelo provoca cambios en la presión de los poros del suelo, lo que provoca cambios de volumen. conocido como acuerdo de consolidación. Por lo tanto, con base en lo anterior, es fundamental comprender los niveles de asentamiento total y diferencial de la estructura para evitar y controlar el asentamiento en proyectos de ingeniería que generalmente están diseñados para una larga vida. Pero para poder estudiar y controlar estos cambios es necesario determinar sus causas, lo que requiere una comprensión del proceso de fusión (ROSERO NARVÁEZ , 2021).

Depende de los diseños y materiales empleados, la magnitud y tiempo de asentamiento será mayor o menor. Esta información proporcionará datos y parámetros que serán útiles para establecer las alternativas técnicas para analizar la magnitud y tiempos de asentamientos del terraplén, siguiendo las normativas requeridas por la NEC15. el producto final de este estudio será el análisis de la magnitud del asentamiento y tiempo de asentamiento, de los cuales, se ha propuesto un procedimiento para determinar el grado de asentamiento de una muestra de suelo cuando se somete a una serie de presiones o cargas. Normalmente esto se consigue en 24 horas, pero en este caso es el tiempo utilizado para el desarrollo (Ministeriode DesarrolloUrbano y Vivienda, 2020).

Este documento presenta los resultados, análisis y conclusiones de esta prueba de laboratorio para comprender los parámetros involucrados en su desarrollo, sus características y la relación entre estos parámetros en la determinación de los asentamientos que se generaron durante el proceso realizado.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El suelo debajo de nuestros pies es complejo, heterogéneo y anisotrópico, recoge los eventos geológico-históricos que han ocurrido durante millones de años. El perfil estratigráfico se forma a través de eventos como la sedimentación de ríos, eventos climáticos, eventos símicos y volcánicos. A lo largo de los años los materiales se van sedimentando de forma que la superficie va siendo rellenada con nuevos materiales, creando una nueva capa, dejando a la superficie inicial como una capa del subsuelo.

Existiendo tres tipos de asentamiento, siendo el inmediato originado por la deformación elástica del suelo seco y en suelos húmedos y saturados sin alterar el contenido de humedad, y se lo obtiene de la ecuación basada en la teoría de la elasticidad, a diferencia del asentamiento por consolidación primaria que es causada por la disminución del volumen en un suelo cohesivo saturado, debido a la expulsión de agua intersticial que del tiempo, y el asentamiento secundario que se debe a un ajuste plástico. En base a las teorías expuestas podemos obtener un análisis estructurado de la magnitud de asentamiento y del tiempo que le tomaría con la construcción de un terraplén sobre suelos blandos, con alternativas de diseño que ayuden a disminuir y/o acelerar los tiempos de asentamientos, empleando para ello el método de Casagrande y a su vez comparando y cumpliendo con la normativa vigente que es la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC15.

1.2 ANTEDECENTES

El presente estudio prevé el análisis de investigaciones y estudios realizados a nivel internacional, nacional y local, de forma crítica al problema que se pretende abordar. El estudio del suelo comienza por su clasificación, además se deben hacer pruebas de laboratorio como por ejemplo la de compresión simple, la misma que

permite entender la relación que existe entre los esfuerzos y la deformación en el material, esos son los pasos básicos para poder entender el comportamiento de un suelo.

Las arcillas tienen características muy especiales, sus partículas tienen un tamaño tan pequeño que se unen e interaccionan con moléculas de agua, por lo que guardan humedad. Gran parte del subsuelo de la ciudad de Guayaquil, está conformada por diferentes capas de suelos blandos y muy blandos que son particularmente susceptibles a deformaciones a la imposición de una carga; de ahí la necesidad de determinar correctamente la carga de preconsolidación del suelo, interpretar la curva edométrica y aplicar estos conceptos en el análisis de los asentamientos.

Ciertas partes de la ciudad de Guayaquil se encuentran sobre una columna estratigráfica de suelos blandos de por lo menos 30-35 metros de profundidad, estos suelos tienen un comportamiento plástico, por lo que existen sectores en la ciudad, donde el suelo se lo considera muy blando. El perfil estratigráfico del suelo de Guayaquil no es homogéneo, está constituido por diferentes capas de suelos arcillosos, limosos, de arenisca, de origen volcánico y hasta afloramiento de roca, por esta razón dependiendo de las características, las capas tienen diferentes tipos de parámetros mecánicos.

El presente estudio pretende analizar tres alternativas de diseño para la construcción de un terraplén sobre suelos blandos, para que la magnitud de asentamiento esté conforme al asentamiento máximo permitido en la NEC15. La primera alternativa de análisis es del diseño del terraplén con material granular, la segunda con la imposición de Geo bloques, y la tercera alternativa de diseño pretende usar método más usual de precarga y drenes de arena. El método de precarga, es apilar el material de relleno sobre el terreno y dejarlo un cierto tiempo, luego, el relleno se retira, procediendo a la construcción de la nueva obra, este método se conoce como precompresión del terreno (Zamora Beyk, 2014). Así como también, los primeros drenes verticales consisten en tubos metálicos de punta perdida rellenos de arena. Una vez instalados se retiraban los tubos. Estos drenes de arena tenían un diámetro de 20 a 25 cm y se instalaron por primera vez en 1926 en EEUU (Zamora Beyk, 2014).

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General.

La evaluación de la magnitud y del tiempo de asentamiento, de un terraplén sobre suelos blandos considerando varias alternativas de diseño permitirá identificar si los diseños son los óptimos para ser empleado y ejecutado, dentro de un periodo de tiempo razonable desde el punto de vista constructivo, verificando el cumplimiento de la normativa vigente NEC2015

1.3.2 Hipótesis Específicas.

H.E.1: Los resultados del análisis de la magnitud y tiempo de asentamiento cumplen con la normativa vigente y son viables constructivamente.

H.E.2: El cálculo de la magnitud y tiempos de asentamientos provocado por un terraplén conformado con geobloques como material para relleno, disminuirá la deformación provocada por la aplicación de la carga en suelos blandos, para viabilizar el proyecto

H.E.3: El análisis de una construcción de aproches de un terraplén con precarga y drenes de arena permitirán una rápida consolidación del subsuelo suficiente desde el punto de vista constructivo, para cumplir con la NEC15

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar la magnitud y el tiempo de asentamiento, que ocasionaría un terraplén sobre suelos blandos, analizando además varias alternativas de diseño.

1.4.2 Objetivos Específicos.

O.E.1.: Analizar la magnitud y tiempo de asentamiento que generaría la construcción de los aproches con un terraplén para el acceso a un puente vehicular sobre suelos blandos, aplicando los criterios de la teoría de Casa Grande para verificar el cumplimiento de la normativa vigente.

O.E.2.: Estudiar el asentamiento reemplazando el material del aproche de un terraplén con geobloques, para disminuir la magnitud de la carga en suelos blandos, para disminuir la magnitud de asentamiento por consolidación primaria.

O.E.3.: Evaluar la magnitud y tiempos de asentamientos con una construcción de aproches con un terraplén aplicando precarga y drenes de arena., para disminuir la magnitud y tiempo de asentamiento del proceso de consolidación primario.

1.5 ALCANCE

El presente estudio pretende proporcionar los parámetros y datos de análisis del asentamiento generado por la construcción del terraplén , así como alternativas de diseño para que el asentamiento cumpla con la magnitud máxima exigida por la NEC15. Con cada uno de los diseños, obtenemos valores mayores o menores a los estimados o estipulados, la magnitud del asentamiento se encuentra dentro del rango permitido, y el tiempo de asentamiento nos determina que diseño emplear.

Este proyecto tiene como finalidad, el análisis de cada diseño propuesto, con un estudio previo de la estratigrafía del suelo, que incluye los ensayos índices como límite líquido, limite plástico, humedad, y además el ensayo de consolidación. Estos parámetros mecánicos nos permitirán realizar el análisis de su magnitud y tiempo que tardaría el asentamiento para cada alternativa de diseño.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables Independientes.

- Propiedades del suelo blando, peso específico de geobloques y peso específico del terraplén
- Diseño de drenes de arena
- Consolidación y tiempo de consolidación del suelo

1.6.2 Variables Dependientes.

- Magnitud y tiempo de asentamiento
- Análisis del comportamiento de los suelos blandos por el método de Casagrande.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. SUELO

En la Ingeniería Civil el suelo se puede contemplar como una obra de tierra sometida a una serie de acciones para las cuales debemos diseñarla, o como un material constitutivo de la propia obra de tierra, en cuyo caso debemos exigir al material una serie de especificaciones que nos garanticen un comportamiento adecuado (Sáinz Guerra & Jové Sandoval, 2010).

Se trata de una superficie sumamente variada y multiforme, sobre la cual se producen los fenómenos climáticos como la lluvia, el viento, etc. Los suelos se forman por la destrucción de la roca y la acumulación de materiales distintos a lo largo de los siglos, en un proceso que involucra numerosas variantes físicas, químicas y biológicas, que da como resultado una disposición en capas bien diferenciadas, como las de un pastel, observables en los puntos de falla o fractura de la corteza terrestre (constructivo, 2023)

Según los ingenieros, el suelo son los depósitos no agregados o no cementados de minerales y / o partículas orgánicas. Las partículas del suelo pueden ser tan pequeñas como centímetros a grandes rocas. Rocas, arena, arcilla, grava, limo, etc. se incluyen en el suelo (constructivo, 2023).

El suelo es el material de construcción más abundante dentro de las prácticas de la ingeniería civil, y constituye el soporte de las estructuras como edificaciones, vías, puentes, canales, torres, entre otros, además se utiliza como el material de terraplenes viales, muros de tierra reforzada con geotextil, diques, rellenos de adecuación de terrenos en relieves pendientes para áreas urbanas. Los suelos conforman los taludes de corte y de terraplenes viales y son estructuras que cumplen funciones diversas en los proyectos: son los elementos a estabilizar cuando se trata de taludes, y a la vez brindan estabilidad a los demás elementos que hacen parte de un tratamiento de pendientes, como los canales, las bermas, las estructuras y la vegetación que protege el suelo.

2.2. ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

Según (Rivera & Aguirre, 2020), es un término que se refiere a cualquier método químico, físico, mecánico, combinado o biológico para modificar un suelo natural con el objetivo de cumplir un fin de ingeniería. La mejora de las propiedades de ingeniería incluye el aumento de la capacidad para soportar peso, rendimiento general y resistencia a la tracción de los subsuelos, materiales y arenas in situ; por lo general se requiere cuando el suelo bajo los cimientos para construcción no es el adecuado para soportar la carga de la estructura (Rivera & Aguirre, 2020).

Los métodos de estabilización del suelo son una medida de corrección que reduce la permeabilidad del suelo y compresibilidad de la masa del suelo en las estructuras de la tierra, aumentando la resistencia a la flexión y al corte, lo cual ayuda a reducir el asentamiento global o diferencial de dichas estructuras; la estabilización del suelo es un procedimiento muy común en casi todos los proyectos de construcción de obras y carreteras (Yepes Piqueras, 2020).

Aparte de las técnicas de estabilización con geomallas y tejidos, todas las clases pueden clasificarse en dos grupos, la estabilización química y mecánica; En la estabilización mecánica, se modifica la graduación del suelo mezclándolo con otras clases de suelos de distintos grados, de tal modo, se consigue una masa de suelo compactada, por otro lado, la estabilización química, se asocia a la modificación de las propiedades del suelo a través de la adición de materiales químicos activos (Alarcón & Jiménez, 2020).

En la estabilización del suelo es muy importante saber las propiedades de los materiales que intervienen en la mezcla y el resultado que se genera; Además, es esencial tener en cuenta cómo se comportará el material después de la estabilización (Jácome & Ortiz, 2022). Al mismo tiempo, se evalúan los efectos del procedimiento sobre las estructuras cercanas y condiciones circundantes; luego se pueden tomar decisiones sobre la selección de materiales y dosis que correspondan; así mismo, existen muchos otros factores que rigen la eficacia del método, por ejemplo, el extendido y la mezcla, el curado, la secuencia de operación, condiciones climáticas, ambientales, entre otras (Jácome & Ortiz, 2022).

2.2.1. Estabilización mecánica.

La compactación del suelo depende de la fuerza energética de compresión de este proceso, que puede ser del tipo y la calidad del suelo, determinando el grado de compactación, dependiendo del contenido de humedad y la unidad de peso seco; para luego medir el resultado como peso unitario de suelo seco (Rivera & Aguirre, 2020).

Tabla 1. ***Propiedades de la estabilización mecánica***

Propiedades	Descripción
COMPACTACIÓN	Realizar compactación del suelo con método estático o dinámico para aumentar su densidad, resistencia mecánica, reducir la porosidad y la permeabilidad.
MEZCLA	También, puede reincorporar mezclas de suelo de diferentes variedades para una especificación adecuada.
RESULTADOS DE LA TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN	
Aumentar su capacidad de soporte del suelo	
Disminuir el asentamiento de las estructuras	
Controlar cambios volumétricos indeseables	
Reducir la permeabilidad al agua	
Aumentar la estabilidad de los taludes	

Nota. Tomado de (Rivera & Aguirre, 2020).

2.2.2. Estabilización física.

Implica cambiar las propiedades del suelo, alterando algunas de sus propiedades y dándole así nuevas propiedades estructurales (Geopolymer Solutions, 2023).

Tabla 2. ***Propiedades de la estabilización física***

Propiedades	Descripción
GEO SINTÉTICOS	**Geotextiles:** Suelen estar hechos de fibras sintéticas como el poliéster o el polipropileno **Geomallas:** Estructura tridimensional, pero con propiedades unidireccionales o bidireccionales, fabricada en polietileno de alta densidad. **Geomembranas:** Películas de polímero impermeables hechas de cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD).
SEPARACIÓN	Los geotextiles no tejidos se conectan con geo redes que separan la base granular y el subsuelo muy fino.
RESULTADOS DE LA TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN	
Buena interacción con el suelo reforzado y geo celdas de paneles de polietileno o polipropileno. El sistema de confinamiento celular tridimensional creado es altamente resistente a la tensión.	

Nota. Tomado de (Geopolymer Solutions, 2023).

2.2.3. Estabilización química.

Implica la adición de otros materiales o productos químicos al suelo que alteran sus propiedades a través de reacciones fisicoquímicas o crean una matriz que mantiene unidas las partículas del suelo provocando mejoras en diversos aspectos terrestres como masilla que se endurece y que promueve resistencias en suelo o elasticidad que ayuda las inclemencia de los climas provocando que se adapte de una manera fija mientras sea resistente a estos fenómenos climatológicos que bien pueden resecar el suelo como humedecerlo al límite que sea lodoso y resbaloso (Proroad Global, 2023).

Tabla 3. ***Propiedades de la estabilización química***

Propiedades	Descripción
OTROS MATERIALES	**Cal:** Los suelos ideales estabilizados con cal son los arcillosos, incluidos los limosos, con plasticidad media y alta, el resto del suelo, incluida la tierra orgánica, no es apto para este tipo de solución.
PRODUCTOS QUÍMICOS	**Cemento Portland:** Teóricamente, el cemento puede estabilizar todos los suelos excepto aquellos con muy alta plasticidad y suelos orgánicos. Es importante considerar el costo de estabilizar el suelo de esta manera. **Cenizas volantes (iónica):** En teoría, PREI-16 puede estabilizar todos los suelos con plasticidad mínima, excepto los suelos orgánicos y de plasticidad cero. **Sales:** Su uso tiene como finalidad conservar la humedad y mejorar la compactación del material, baja el punto de congelación del agua del suelo, en zonas muy secas evita que el agua comprimida se evapore rápidamente. Sus propiedades de arcilla plástica dependen del intercambio catiónico, donde las partículas de arcilla se repelen entre sí cuando están cubiertas con cargas similares y se atraen entre sí cuando hay presentes partículas con cargas diferentes. **Escorias siderúrgicas de alto horno:** Es un subproducto de la industria del acero el cual está compuesto principalmente de silicatos de calcio y aluminosilicatos, ha recibido mayor acogida debido a sus propiedades hidráulicas potenciales que se pueden desarrollar cuando se combina con cemento portland, cal o agentes alcalinos, y se ha utilizado con éxito para estabilizar suelos expansivos. **Acrílicos:** Todos los suelos de baja plasticidad se pueden estabilizar con PREA-03, excepto los suelos de alta plasticidad y orgánicos. Independientemente de si el suelo nativo se puede estabilizar o no, es importante considerar el costo de estabilizar el suelo de esta manera. Para ello se debe determinar el porcentaje óptimo de litros por metro cúbico de producto para lograr la resistencia y condiciones deseadas. **Emulsión:** Los suelos estabilizados por emulsión ideales son aquellos de baja plasticidad, ya sean de naturaleza granular o limo con o sin baja plasticidad, otros suelos de mediana a alta plasticidad, incluyendo suelos orgánicos, no son adecuados para tales soluciones.
RESULTADOS DE LA TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN	
Mejora del suelo mediante la introducción de diversas técnicas químicas de estabilización del suelo.	

Nota. Tomado de (Proroad Global, 2023)

2.3. ASENTAMIENTO

El asentamiento de terreno o asiento, es el movimiento descendente vertical debido a la aplicación de cargas que originan cambios en las tensiones dentro del terreno o al movimiento descendente de un elemento de construcción, como consecuencia de la modificación del terreno que lo sustenta, debido a la acción de agentes externos; el mismo se puede por tanto experimentar en nuevas construcciones, aplicando cargas al terreno o la migración de agua que esté contenida en él o, dentro del campo de rehabilitación, por los cambios de las características de un terreno que podía soportarlas (ROSERO NARVÁEZ , 2021).

Si bien el soporta de una cimentación puede fallar debido al corte del suelo, también es posible que se someta a un asentamiento lo suficientemente grande para causar daños en la estructura, haciéndola disfuncional para el fin que está diseñada (Rondón & Torrado, 2023). Dentro de campo de patología de una edificación, una vez hecha la construcción, los asentamientos son alteraciones del terreno derivadas de la acción de diversos agentes externos (Rondón & Torrado, 2023).

2.3.1. Causas de los asentamientos.

Para entender el fenómeno de asentamientos y porqué se producen, se analiza la composición física del suelo; cualquier terreno es multifase, sólida, líquida y gaseosa (Geosec, 2023). En la fase sólida es más probable que se produzcan los asentamientos, debido a que se ve afectada por la presencia de vacíos y agua, además con el tiempo sufre variaciones que cambian la composición por completo (Geosec, 2023).

El clima es la causa principal de dichas variaciones en los componentes del suelo, por ejemplo, en las estaciones de primavera y otoño suele llover más, habiendo en zonas del planeta, donde directamente no se diferencian entre las estaciones, sino entre épocas de lluvias (AN Ingeniería, 2021). En estos periodos, los suelos entran en contacto con cantidades grandes de agua, arcillas y terrenos, expandiéndose en volumen y generando un fenómeno de imbibición (AN Ingeniería, 2021).

Las temporadas de más calor y lluvias escasas, los volúmenes de los terrenos se contraen y se genera un fenómeno de secado, repitiéndose estos periodos de

manera cíclica todos los años, con variaciones ligeras, afectando de esta manera al equilibrio de la cimentación y también de una estructura suprayacente, cuando la tensión llega a un límite del edificio, primero se deforma, después se hunde y luego aparecen grietas peligrosas en los muros (Inarquia, 2023).

Otro efecto que provocan los asentamientos del terreno y que en algunas zonas del planeta es usual, son los movimientos sísmicos, los cuales debilitan el sistema de cimentaciones y las estructuras de los edificios, causando inconvenientes de aparición de lesiones peligrosas en los muros e inestabilidad (Inarquia, 2023).

2.3.2. Asentamiento diferencial.

El asiento diferencial es definido como la diferencia de movimiento vertical o asiento entre dos puntos de una cimentación; Las causas más comunes de asentamiento diferencial, son (IDC, 2022): (i)Variación importante de las cargas entre apoyos cercanos; (ii) Posibles heterogeneidades de terrenos de cimentación (zonas duras y blandas); (iii) Modificaciones puntuales bajo soportes, debido a diversos factores.

2.3.3. Asentamiento diferencial de un edificio.

Una modificación o heterogeneidad puede provocar una distorsión excesiva del cimiento e incluso su colapso; los asentamientos de estructuras que superen en su movimiento, la resistencia de material, pueden ocasionar fisuras en grietas de muros, cerramientos, puertas, ventanas distorsionadas que provocan el cierre y mal apertura, e incluso fallo de las instalaciones, por motivo de falta de alineación resultante de asientos de cimentación (ROSERO NARVÁEZ , 2021).

Los asentamientos permitidos en la mayoría de las estructuras (especialmente en los edificios) están relacionados con requisitos estéticos y de servicio más que con requisitos estructurales. Esto se debe a que mucho antes de que la integridad de la estructura se vea comprometida, pueden ocurrir otros problemas como grietas, superficies sensibles como baldosas que se rompen,

puertas y ventanas que se pegan o no cierran, y más (PULIDO CHÁVEZ & RUEDA MELO, 2019).

2.3.4. Asentamientos admisibles.

El máximo asentamiento aceptable que usualmente incluye un coeficiente de seguridad, depende de diversos factores, pero los más importantes son el tipo de uso y de construcción; pequeñas grietas que puedan considerarse inaceptables para las viviendas unifamiliares, podrían pasar desapercibidas en un edificio industrial (Rondón & Torrado, 2023).

La presión vertical permitida de la base no sólo tiene en cuenta la seguridad del asentamiento, sino que también tiene en cuenta su capacidad para resistir el asentamiento. Para suelos arenosos (granulares), la presión de trabajo vertical permitida generalmente está limitada por las condiciones de asentamiento más que por el asentamiento. El asentamiento excesivo observado puede indicar una mala condición de los cimientos (erosión hídrica por selenio, colapso debido a lixiviación, etc.); partes enterradas de columnas y muros o partes enterradas de redes de agua potable y alcantarillado (PULIDO CHÁVEZ & RUEDA MELO, 2019).

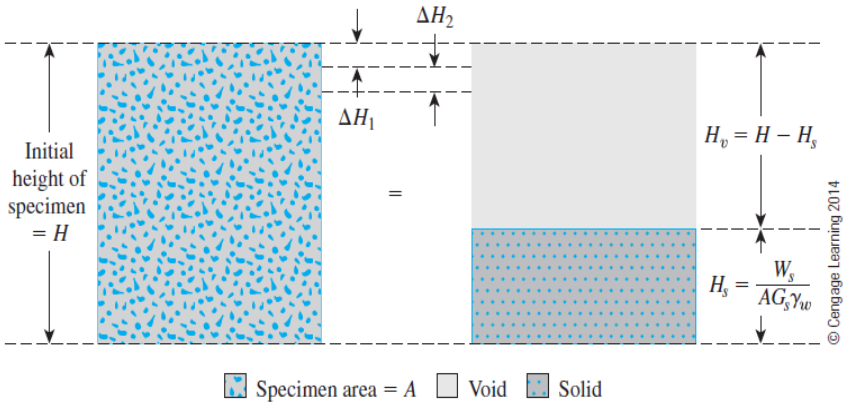
2.3.5. Cálculo de Asentamiento

Considerando el espesor de arcilla saturada (H) y el área de la sección transversal bajo el incremento de esfuerzo efectivo, se obtiene variación en el volumen en función de la relación de vacíos. Como se determina en la (Figura 1), donde es necesario estudiar el cambio de la relación de vacíos en el espécimen con la presión. Por tanto, para encontrar la altura de los sólidos **(Hs)** en el espécimen del suelo, es necesario tener los valores del peso seco del espécimen **(Ws),** el área del espécimen **(A),** la densidad de los sólidos o la gravedad saturada del suelo **(Gs)** el peso específico del agua **(γ_w),** expresado en la siguiente ecuación:

$$Hs = \frac{Ws}{A * Gs * \gamma w}$$

(Ecuación 1) altura de los sólidos

Figura 1. *Cambio de la relación de vacíos en el espécimen con la presión*



Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

Para el cálculo de asentamiento probable causado por la consolidación primaria en campo, se considera que la consolidación es unidimensional.

Δe= Cambio de Relación de Vacíos

$$Vs = \frac{Vo}{1 + e_o} = \frac{A * H}{1 + e_o}$$

(Ecuación 2) Volumen de Sólidos

Vs= Volumen de Sólidos
Vo= Volumen Inicial
A= Área de Sección Transversal
e_o= Relación de Vacíos

$$\Delta V = S * A = \Delta e * Vs = \frac{A * H}{1 + e_o} * \Delta e$$

(Ecuación 3) Cambio de Volúmenes

$$S = H * \frac{\Delta e}{1 + e_o}$$

H= Altura

ΔV= Cambio de Volúmenes

(Ecuación 4) Asentamiento Primario

S= Asentamiento Primario

Para arcillas normalmente consolidadas cumple una relación de $\sigma'_o = \Delta\sigma'$ en $\Delta e = Cc\,[log(\sigma'_o + \Delta\sigma') - log\,\sigma'_o]$; el asentamiento se lo calcula por la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{S} = \frac{Cc * H}{1+e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{(p)}}{\sigma'_o}\right)$$

(Ecuación 5) Asentamiento Primario

En arcillas preconsolidadas son aquellas que cumplen la condición de esfuerzos, donde $\sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$; y la variación de la relación de vacíos está expresada como: $\Delta e = Cs\,[log(\sigma'_o + \Delta\sigma') - log\,\sigma'_o]$; por lo tanto, el asentamiento por consolidación primaria se lo obtiene con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{S} = \frac{Cs * H}{1 + e_o} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right)$$

(Ecuación 6) Asentamiento Primario

Además, cuando en las arcillas preconsolidadas cumplen la condición de esfuerzos, donde: $\sigma'_o + \Delta\sigma' \geq \sigma'_c$ y la variación de la relación de vacíos está expresada como: $\Delta e = Cs\,[log(\sigma'_o + \Delta\sigma') - log\,\sigma'_o]$, por lo expuesto, el cálculo de asentamiento por consolidación primaria está dado por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{S} = \frac{Cs * H}{1+e_o} \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{Cc*H}{1+e_o}\right) log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c}\right)$$

(Ecuación 7) Asentamiento Primario

En la literatura de geotécnica existen varias correlaciones para determinar el índice de compresión **(Cc),** una de ellas es la planteada por Skempton (1944) (Braja_M_Das, 2010) para arcillas Inalteradas Cc = 0.009(LL - 10). Otra manera de obtener este valor es, determinando la curva de relación de vacíos (e_o) vs logaritmo del esfuerzo efectivo (**log** $\boldsymbol{\sigma'_v}$) del ensayo de consolidación realizados en laboratorio, que es la pendiente de la rama o curva virgen y corresponde a la siguiente ecuación:

$$Cc = \frac{\Delta e}{\Delta \log\,\sigma'_v}$$

(Ecuación 8) compresión

Terzaghi y Peck 1967 (Braja_M_Das, 2010) propusieron expresiones empíricas para el índice de compresión. Para arcillas inalteradas (Ecuación 9) y para arcillas remodeladas (Ecuación 10), dependerán del límite líquido **(LL):**

$$Cc = 0.009\,(LL - 10)$$

(Ecuación 9) compresión

$$Cc = 0.007\ (LL - 10)$$

(Ecuación 10) compresión

Con base en observaciones de varias arcillas naturales, Rendon-Herrero 1983 expresan la (Ecuación 11) y Nagaraj y Murty 1985 (Braja_M_Das, 2010) demuestran la (Ecuación 12), dando correlación para el índice de compresión con gravedad específica **(Gs)** y la relación de vacíos **(e_o)**

$$Cs = 0.141 * Gs\ \left[\frac{1+e_o}{Gs}\right]^{2.3}$$

(Ecuación 11) índice de expansión

$$Cs = 0.2343\ \left[\frac{LL}{100}\right] * Gs$$

(Ecuación 12) índice de expansión

El índice de expansión o de abultamiento **(Cs)** es menor en magnitud que el índice de compresión **(Cc)** y en muchas ocasiones se encuentra entre $Cs \approx \frac{1}{5}\ a\ \frac{1}{10} * Cc$, se determina de la curva de relación de vacíos **(e_o)** vs logaritmo del esfuerzo efectivo **($\log\ \sigma'_v$)** del ensayo de consolidación realizados en laboratorio, así como también según Nagaraj y Murty 1985 (Braja_M_Das, 2010)demuestra que depende del límite líquido **(LL)** y la gravedad específica **(Gs),** expresada en la siguiente ecuación:

$$Cs = 0.0463\ \left[\frac{LL\ (\%)}{100}\right] * Gs$$

(Ecuación 13) índice de expansión

2.3.6. Cálculo de Tiempo de Asentamiento

Para calcular el tiempo de asentamiento por consolidación (Tc), se necesita conocer el valor del factor de tiempo (Tv) obtenido mediante (Tabla 1) que depende del grado o porcentaje de consolidación que se desea analizar (U%), el coeficiente de consolidación (Cv), y la Trayectoria Máxima de Drenaje (H), Los cálculos se realizan al 50% de grado de consolidación. Por tal motivo, se debe de hallar los valores de d_o, d_{50} y d_{100} para encontrar los valores que correspondan a t_o, t_{50} y t_{100},

previo a encontrar el valor del coeficiente de consolidación (Cv), según el método de Casagrande y Fadun 1940. (Braja_M_Das, 2010)

$$\boldsymbol{Tc} = \frac{T_{95} * H^2}{Cv}$$

(Ecuación 14) Tiempo de asentamiento por consolidación

Tabla 4. ***Variación de Tv con U***

U (%)	Tv	U (%)	Tv	U (%)	Tv	U (%)	Tv
1	0.00008	26	0.0531	51	0.204	76	0.493
2	0.0003	27	0.0572	52	0.212	77	0.511
3	0.00071	28	0.0615	53	0.221	78	0.529
4	0.00126	29	0.0660	54	0.230	79	0.547
5	0.00196	30	0.0707	55	0.239	80	0.567
6	0.00283	31	0.0754	56	0.248	81	0.588
7	0.00385	32	0.0803	57	0.257	82	0.610
8	0.00502	33	0.0855	58	0.267	83	0.633
9	0.00636	34	0.0907	60	0.276	84	0.658
10	0.00785	35	0.0962	61	0.286	85	0.684
11	0.0095	36	0.102	62	0.297	86	0.712
12	0.0113	37	0.107	63	0.307	87	0.742
13	0.0133	28	0.113	63	0.318	88	0.774
14	0.0154	39	0.119	64	0.329	89	0.809
15	0.0177	40	0.126	65	0.304	90	0.848
16	0.0201	41	0.132	66	0.352	91	0.891
17	0.0227	42	0.138	67	0.364	92	0.938
18	0.0254	43	0.145	68	0.377	93	0.993
19	0.0283	44	0.152	69	0.390	94	1.055
20	0.0314	45	0.159	70	0.403	95	1.129
21	0.0346	46	0.166	71	0.417	96	1.219
22	0.0380	47	0.173	72	0.431	97	1.336
23	0.0415	48	0.181	73	0.446	98	1.500
24	0.0452	49	0.188	74	0.461	99	1.781
25	0.0491	50	0.197	75	0.477	100	∞

Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

2.4. TERRAPLÉN

El movimiento de tierras es uno de los procedimientos más importantes en cualquier obra de construcción, afectando directamente al éxito o no, del proyecto; además, es el paso previo para ejecutar el terraplenado (Conarsac, 2023).

En ingeniería civil, se denomina terraplén a la tierra con la que se rellena un terreno para el levantamiento de nivel y formar un plano de apoyo adecuado para realizar una obra, también se utiliza para construir una estructura o camino defensivo;

también es importante diferenciar el uso, ya que, existen los terraplenes flotantes, viales y para puentes (Conarsac, 2023).

Para obras de terraplenado en puentes y carreteras, se deben considerar los diversos tipos de material de relleno, según sus características y cumpliendo las condiciones de (Conarsac, 2023): (i) Estabilidad; (ii) Puesta en obra de condiciones aceptables; (iii) Deformaciones tolerables a corto o largo plazo

2.4.1. Capas del terraplén.

Se distinguen en el terraplén seis zonas diferenciales, las cuales son seccionadas en la siguiente tabla para su mejor entendimiento en el uso de este experimento de terraplén describiendo los aspectos más importantes e innovadores en estos últimos años y de las cuales manejan las mejores industrias de construcciones (EcuRed, 2023):

Tabla 5. *Capas del terraplén*

Capa	Descripción
Cimiento	Es la parte del terraplén que se encuentra por debajo de la superficie original del terreno, que ha sido vaciada durante el desbroce o al realizar la excavación adicional, por presencia de material inadecuado.
Núcleo	Es la parte comprendida entre la coronación y cimentación, se podría decir que también es el cuerpo del terraplén.
Coronación del terraplén	Una vez finalizado el núcleo, se llega a la parte superior, denominada coronación del terraplén.
Extendido de tierra vegetal en paredes	Una vez realizada la capa de coronación, se procede a extender la tierra vegetal que se había acopiad de forma lateral cuando se ejecutaba el proceso de preparación y desbroce del cimiento.
Capa de forma	Es la capa intercalada entre la parte superior y capa de sub balasto del terraplén, pedraplén o fondo del desmonte en su caso.
Sub balasto	Es la capa superior de la plataforma sobre la cual se apoya el balasto, reuniendo ciertas características de capacidad de drenaje y portante.

Nota. Tomado de (EcuRed, 2023).

2.4.2. Terraplén sobre suelos blandos.

Los terraplenes construidos sobre capas de suelos blandos poseen la tendencia de desplazarse lateralmente debido a presiones horizontales, las cuales actúan dentro de los mismos; dichas presiones causan esfuerzos horizontales cortantes en la base del terraplén, los cuales deben resistir por la capa de suelo que lo soporta, pero si la capa de suelo no posee una resistencia adecuada, el resultado puede ser una falla (Montalvo, 2020).

Para el cálculo de la transmisión de esfuerzos provocados por el peso del terraplén a una profundidad determinada, se utilizó el criterio de Osterberg, (Braja_M_Das, 2010)donde muestra la sección transversal de un terraplén de altura H. Para esta condición de carga bidimensional, el aumento de la tensión vertical puede expresarse en la siguiente ecuación:

$$\Delta\boldsymbol{\sigma}z = \frac{qo}{\pi}\left[\left(\frac{\boldsymbol{B}_1 + \boldsymbol{B}_2}{\boldsymbol{B}_2}\right)(\propto_1 + \propto_2) - \frac{\boldsymbol{B}_1}{\boldsymbol{B}_2}(\propto_2)\right]$$

(Ecuación 15) Transmisión de esfuerzos

Donde $\mathbf{q_o}$ es el valor de capacidad de carga de acuerdo a la modelación de cargas de terraplén según Osterberg, (Braja_M_Das, 2010)se obtiene mediante el peso específico saturado del suelo con su altura, como lo demuestra en la (Ecuación 16) y dependiendo de las profundidades se puede obtener el esfuerzo efectivo ($\boldsymbol{\sigma'}$) de cada altura media del estrato (H) y peso específico saturado (γ), como se lo expresa en la (Ecuación 17)

$$\mathbf{q_o} = \gamma * H$$

(Ecuación 16) Valor de capacidad de carga

$$\boldsymbol{\sigma'_o} = (H_1 * \gamma_1)$$

(Ecuación 17) Esfuerzo efectivo

Donde los datos de las dimensiones del terraplén, $\mathbf{B_1}$ obtenido de la mitad de la corona y $\mathbf{B_2}$ siendo el ancho del talud del terraplén, como lo indica en la

(Figura 2). Se determina los valores de **z** (profundidad de análisis) con el perfil estratigráfico siendo la mitad del espesor de la arcilla con alta compresibilidad sujeta a análisis más los valores de las alturas de los estratos superiores.

Otra forma de obtener el valor de Influencia **(I´)** para carga de terraplenes, es la relación entre la dimensión **(B)** y la profundidad **(z),** como se demuestra en la (Ecuación 18), se realiza la relación de ambos valores y procedemos a ubicarlos en el ábaco del valor de Influencia **(I´)** para carga de terraplenes, y se proyecta hacia la izquierda, una perpendicular en la intersección de ambos puntos, el valor resultante será el que se usa en algunos cálculos, dependiendo del método aplicado.

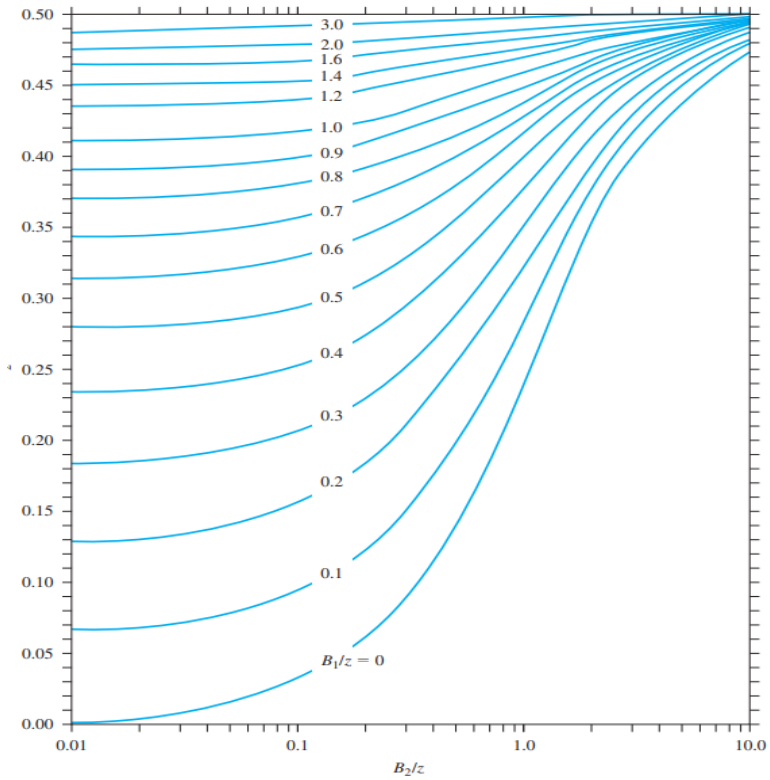
$$B_1/z$$

(Ecuación 18) Valor de Influencia B1

$$B_2/z$$

(Ecuación 19) Valor de Influencia B2

Figura 2. *Valor de influencias I' para carga de terraplenes*



Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

Figura 3. *Modelación de cargas de terraplén según Osterberg*

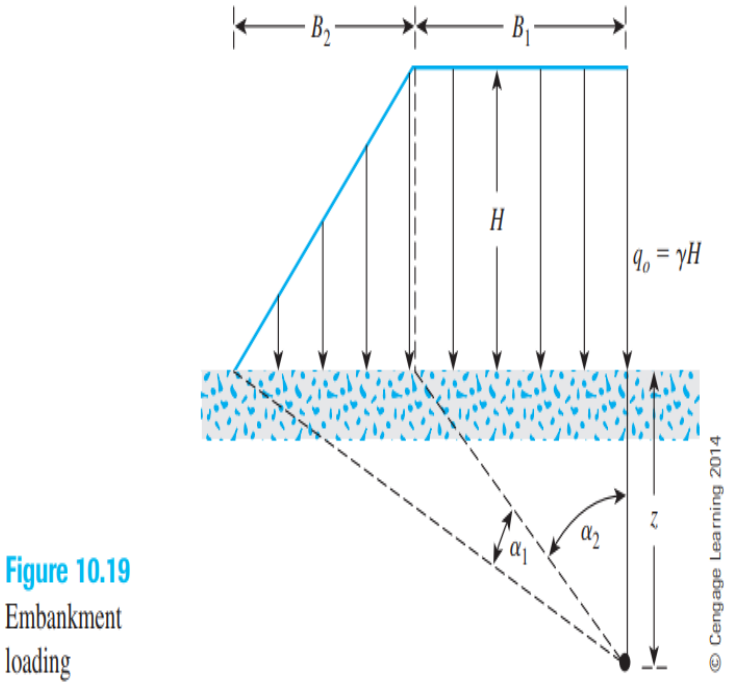


Figure 10.19
Embankment loading

Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

Para obtener los valores de los ángulos $\propto_1$ y $\propto_2$, se utiliza los criterios trigonométricos, en relación de la profundidad **z** y de los datos de los anchos B_1 y B_2, tal como se detalla en la (Figura 1)

$$\propto_1 (radianes) = \left[tan^{-1}\left(\frac{B_1 + B_2}{z}\right) - tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z}\right)\right]$$

(Ecuación 20) valores de los ángulos $\propto_1$

$$\propto_2 (radianes) = \left[tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z}\right)\right]$$

(Ecuación 21) valores de los ángulos $\propto_2$,

Además, también se puede obtener el valor del incremento de esfuerzos efectivos mediante la (Figura 2), que depende exclusivamente de el valor de capacidad de carga **(q_0)** y el valor de Influencia **(I´)**, se obtiene a partir de la relación

$$\mathbf{\Delta\sigma'_{(p)}} = q_0 * I'$$

(Ecuación 22) Valor del incremento de esfuerzos efectivos

2.5. GEOBLOQUES

Son bloques de poliestireno expandido tipo F de alta densidad, diseñados especialmente para aplicaciones geotécnicas, como: rellenos livianos sobre suelos blandos, disminución de presión lateral de las tierras sobre estructuras de contención, disminución de las cargas sobre diversas estructuras rígidas, disminución de asentamientos de rellenos utilizados como terraplenes de aproximación a puentes, reparación de las vías en zonas de ladera e inclusiones de amortiguamiento (Aislapor, 2020).

Su forma y tamaño son adaptables a las necesidades o requerimientos del cliente, ya que, posee una resistencia alta a la compresión y flexión, En aplicaciones geotécnicas se emplean bloques cuya densidad varía entre los 15 y 35 Kg/m3, aproximadamente el 1% del peso de los materiales convencionales, lo que permite distribuir las cargas vivas como el peso muerto, brindando una mayor eficiencia que si se utilizaran materiales convencionales para el mejoramiento del suelo (Aislapor, 2020).

2.5.1. Aplicaciones de geo bloques.

Sirven como material de relleno, ayudando a reducir las tensiones y brindando un control en los suelos, utilizado generalmente para terraplenes (puentes, carreteras, protección de tuberías, entre otros), reparaciones de vías en zonas de laderas, estructuras cerradas etc. (QUIROZ VÉLEZ, 2019). (i)Terraplenes livianos; (ii) Disminución de presión lateral del suelo sobre diversas estructuras de contención; (iii) Presión lateral; (iv) Disminución de presión lateral del suelo; (v) Reparación de vías en zonas de ladera.

2.6. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El suelo, en su estado natural, es un material trifásico que se constituye a partir de un esqueleto de partículas sólidas, el cual se rodea por espacios llenos de aire y agua; para poder describir las diversas características que posee un depósito de suelo, se analizan las relaciones gravimétricas y volumétricas, expresando las

mismas como una mezcla de agua, sólidos y aire, teniendo en cuenta las propiedades físicas. En la siguiente imagen, se puede visualizar las diferentes fases en las que se divide el suelo, a partir de la cual, se establece el total volumen de la muestra (V), expresada así (Abarca & Landín, 2020):

V = Vs + Vv = Vs + Vw + Va

(Ecuación 23) volumen de la muestra

En donde, (i) Vs es el volumen de sólidos; (ii) Vv es el volumen de vacíos; (iii) Vw es el volumen de agua y; (iv) Va es el volumen de aire, considerando que el peso del aire es depreciable, el peso total de dicha muestra de suelo (W), es (Abarca & Landín, 2020), (i) Ws es el peso de los sólidos de suelo y (ii) Ww el peso de agua:

$$W = Ws + Ww$$

(Ecuación 24) Peso total del suelo

2.6.1. Gravedad específica del suelo.

La gravedad específica del suelo (Gs), se conoce como la propiedad esencial y necesaria para definir diversas propiedades físicas de los suelos, definiéndose de la siguiente manera (Abarca & Landín, 2020):

$$Gs = \frac{\gamma s}{\gamma w}$$

(Ecuación 25) Gravedad específica del suelo

En donde, (i) Yw es el peso específico de agua y (ii) Pw es la densidad de agua

2.6.2. Contenido de la humedad.

Es conocida también como contenido de agua y se puede definir como la razón del peso de agua a peso de sólidos, en un determinado volumen de suelo (Abarca & Landín, 2020).

$$w = \frac{Ww}{Ws}$$

(Ecuación 26) Peso de agua a peso de sólidos

2.6.3. Peso unitario.

Es el peso de suelo por la unidad del volumen (Abarca & Landín, 2020).

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

(Ecuación 27) Peso de suelo por la unidad del volumen

2.6.4. Relación de vacíos.

La relación de los vacíos está definida como la razón de volumen de vacíos a volumen de los sólidos (Abarca & Landín, 2020).

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

(Ecuación 28) Relación de vacío

2.6.5. Grado de saturación.

El grado de la saturación está definido como la razón de volumen del agua al volumen de los vacíos (Abarca & Landín, 2020). Está expresado en porcentaje.

$$S = \frac{Vw}{Vv}$$

(Ecuación 29) Grado de saturación

Cuando no existen datos de laboratorio en el último estrato del perfil estratigráfico, se considera la siguiente tabla, que plantea datos de relación de vacíos **(eo),** contenido natural de humedad en estado saturado **(w)** y el peso unitario seco **(ɣ),** para cada tipo de suelo existente.

Tabla 6. ***Relación de vacíos, contenido de humedad y peso unitario seco para algunos tipos de suelo en estado natural***

TIPO DE SUELO	RELACION DE VACIOS, (e)	CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD EN ESTADO SATURADO (%)	PESO UNITARIO SECO, γd (Kn/m^3)
Arena uniforme floja	0,8	30	14,5
Arena uniforme densa	0,45	16	18
Arena limosa angular de grano flojo	0,65	25	16
Arena limosa angular de grano denso	0,4	15	19
Arcilla dura	0,6	21	17
Arcilla blanda	0,9-1,4	30-50	11,5-14,5
Loess	0,9	25	13,5
Arcilla orgánica suave	2,5-3,2	90-120	6-8
Cajón glacial	0,3	10	21

Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

2.7. DRENES VERTICALES

En relación a los conceptos esenciales sobre mecánica de suelos, la colocación de la carga externa en una capa poco permeable de suelo, provocará el exceso de presión de agua en los poros, teniendo como consecuencia, un proceso de consolidación donde el agua se expulsa del suelo, acompañado por un gradual incremento de esfuerzo efectivo y la minimización respectiva en el exceso de presión de los poros; el proceso de consolidación continuará hasta que el de presión de poros se disipe, siendo un procedimiento que dura dependiendo de sus características de consolidación de suelo y la ruta de drenaje; la idea que surge para instalar drenes verticales es la reducción de la longitud de la ruta de drenaje y minimización del tiempo de consolidado (Cimentada & Da Costa, 2020).

Los drenes verticales son un método utilizado desde los años 30 y su objetivo es la aceleración del proceso de consolidación del suelo, compuestos por columnas de área de 0.3 m aproximadamente o de material fibroso en forma de manguera plana; los drenes brindan una adecuada trayectoria para que el agua que se encuentra en los poros del suelo, tenga escape durante el procedimiento de consolidación, recorriendo una distancia corta en menor tiempo (Cimentada & Da Costa, 2020).

El drenaje vertical son lengüetas de plástico prefabricadas y adaptadas al drenaje del agua; teniendo un núcleo flexible hecho de polipropileno de una alta calidad con dimensiones de 2 cm de alto y 10 cm de ancho, logrando una extracción de agua de forma adecuada; su función principal es acelerar el procedimiento de consolidación del suelo saturado, empleando una precarga, reduciendo el proceso de asentamientos considerablemente y el tiempo de la construcción, haciendo un procedimiento más eficaz y ágil (Cimentada & Da Costa, 2020).

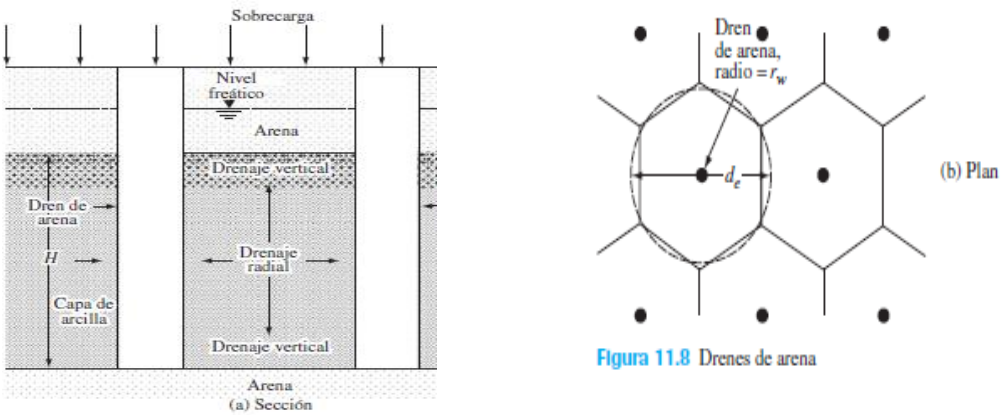
2.7.1. Tipos de drenes verticales.

2.7.1.1. Dren de arena.

Los drenes verticales son utilizados normalmente para la aceleración del asentamiento por consolidación del suelo de arcillas blandas, limos, entre otros materiales compresibles; logrando la instalación de una serie de drenes verticales hechos de arena de grado medio. El diámetro de dichos drenes no es inferior a 30 cm generalmente y son puestos en una cuadrícula, distanciándolos unos de otros de 2 a 3 m, siendo necesario estudiar cuidadosamente donde se coloca el espaciado de los drenes de arena y su tasa de consolidación, así mismo, la profundidad de los mismos, debe extenderse mediante el suelo compresible (Carrillo & Caro, 2020).

Para el cálculo del radio de los drenes de arena **(r_w)** es necesario**,** tener los valores de diámetro del dren de arena **(d_e)** y la zona de drenaje efectiva **(r_e),** como se expresa en la (Ecuación 30) y la (Figura 4).

Figura 4. *Drenes de Arena*



Nota. Tomado de Libro Braja Das, 4ta Edición

$$r_e = \frac{d_e}{2}$$

(Ecuación 30) Drenes de arena

El Grado de Consolidación Promedio, vertical y radial **($U_{v,r}$),** lo obtenemos con los datos del Grado de Consolidación Promedio vertical **(U_v)** y Grado de Consolidación Promedio radial **(U_r),** se consigue mediante tabla con dependencia del tiempo, como se muestra en la siguiente tabla:

$$U_{v,\,r} = 1 - (1 - U_r)(1 - U_v)$$

(Ecuación 31) Grado de Consolidación Promedio

Tabla 7. *Solución para drenaje radial.*

Grado de consolidación U_r (%)	**Factores de tiempo, Tr, para valores de n**				
	5	**10**	**15**	**20**	**25**
0	0	0	0	0	0
1	0.0012	0.0020	0.0025	0.0028	0.0031
2	0.0024	0.0040	0.0050	0.0057	0.0063
3	0.0036	0.0060	0.0075	0.0086	0.0094
4	0.0048	0.0081	0.0101	0.0115	0.0126
5	0.0060	0.0101	0.0126	0.0145	0.0159
6	0.0072	0.0122	0.0153	0.0174	0.0191
7	0.0085	0.0143	0.0179	0.0205	0.0225
8	0.0098	0.0165	0.0206	0.0235	0.0258
9	0.0110	0.0186	0.0232	0.0266	0.0292
10	0.0123	0.0208	0.0260	0.0297	0.0326
11	0.0136	0.0230	0.0287	0.0328	0.0360
12	0.0150	0.0252	0.0315	0.0360	0.0395
13	0.0163	0.0275	0.0343	0.0392	0.0431
14	0.0177	0.0298	0.0372	0.0425	0.0467
15	0.0190	0.0321	0.0401	0.0458	0.0503
16	0.0204	0.0344	0.0420	0.0491	0.0539
17	0.0218	0.0368	0.0459	0.0525	0.0576
18	0.0232	0.0392	0.0489	0.0559	0.0614
19	0.0247	0.0416	0.0519	0.0594	0.0652
20	0.0261	0.0440	0.0550	0.0629	0.0690
21	0.0276	0.0465	0.0581	0.0664	0.0729
22	0.0291	0.0490	0.0612	0.0700	0.0769
23	0.0306	0.0516	0.0644	0.0726	0.0808
24	0.0321	0.0541	0.0676	0.0773	0.0849
25	0.0337	0.0568	0.0709	0.0811	0.0890
26	0.0353	0.0591	0.0742	0.0848	0.0931
27	0.0368	0.0621	0.0776	0.0887	0.0973

28	0.0385	0.0648	0.0810	0.0926	0.1016
29	0.0401	0.0676	0.0844	0.0965	0.1059
30	0.0418	0.0704	0.0879	0.1005	0.1103
31	0.0434	0.0732	0.0914	0.1045	0.1148
32	0.0452	0.0761	0.0950	0.1087	0.1193
33	0.0469	0.0790	0.0987	0.1128	0.1239
34	0.0486	0.0820	0.1024	0.1171	0.1285
35	0.0504	0.0850	0.1062	0.1214	0.1332
36	0.0522	0.0881	0.1100	0.1257	0.1380
37	0.0541	0.0912	0.1139	0.1302	0.1429
38	0.0560	0.0943	0.1178	0.1347	0.1479
39	0.0579	0.0975	0.1218	0.1393	0.1529
40	0.0598	0.1008	0.1259	0.1439	0.1580
41	0.0618	0.1041	0.1300	0.1487	0.1632
42	0.0638	0.4075	0.1342	0.1535	0.1685
43	0.0658	0.1109	0.1385	0.1584	0.1739
44	0.0679	0.1144	0.1429	0.1634	0.1793
45	0.0700	0.1180	0.1473	0.1684	0.1849
46	0.0721	0.1216	0.1518	0.1736	0.1906
47	0.0743	0.1253	0.1564	0.1789	0.1964
48	0.0766	0.1290	0.1611	0.1842	0.2023
49	0.0788	0.1329	0.1659	0.1897	0.2083
50	0.0811	0.1368	0.1708	0.1953	0.2144
51	0.0835	0.1407	0.1758	0.2020	0.2206
52	0.0859	0.1448	0.1809	0.2068	0.2270
53	0.0884	0.1490	0.1860	0.2127	0.2335
54	0.0909	0.1532	0.1913	0.2188	0.2402
55	0.0935	0.1575	0.1968	0.2250	0.2470
56	0.0961	0.1620	0.2023	0.2313	0.2539
57	0.0988	0.1665	0.2080	0.2378	0.2610
58	0.1016	0.1712	0.2138	0.2444	0.2683
59	0.1044	0.1759	0.2197	0.2512	0.2758
60	0.1073	0.1808	0.2258	0.2582	0.2934
61	0.1102	0.1858	0.2320	0.2653	0.2912
62	0.1133	0.1909	0.2384	0.2726	0.2993
63	0.1164	0.1962	0.2450	0.2801	0.3075
64	0.1196	0.2016	0.2517	0.2878	0.3160
65	0.1229	0.2071	0.2587	0.2958	0.3247
66	0.1263	0.2128	0.2658	0.3039	0.3337
67	0.1298	0.2187	0.2732	0.3124	0.3429
68	0.1334	0.2248	0.2808	0.3210	0.3524
69	0.1371	0.2311	0.2886	0.3300	0.3623
70	0.1409	0.2375	0.2967	0.3392	0.3724
71	0.1449	0.224	0.3050	0.3488	0.3829
72	0.1490	0.2512	0.3134	0.3586	0.3937
73	0.1533	0.2583	0.3226	0.3689	0.4050
74	0.1577	0.2658	0.3319	0.3795	0.4167

75	0.1623	0.2735	0.3416	0.3906	0.4288
76	0.1671	0.2816	0.3517	0.4021	0.4414
77	0.1720	0.2900	0.3621	0.4141	0.4546
78	0.1773	0.2988	0.3731	0.4266	0.4683
79	0.1827	0.3079	0.3846	0.4397	0.4827
80	0.1884	0.3175	0.3966	0.4534	0.4978
81	0.1944	0.3277	0.4090	0.1679	0.5137
82	0.2007	0.3383	0.4225	0.4831	0.5304
83	0.2074	0.3496	0.4366	0.4922	0.5481
84	0.2146	0.3616	0.4516	0.5163	0.5668
85	0.2221	0.3743	0.4675	0.5345	0.5868
86	0.2302	0.3879	0.4845	0.5536	0.6081
87	0.2388	0.4025	0.5027	0.5748	0.6311
88	0.2482	0.4183	0.5225	0.5974	0.6558
89	0.2584	0.4355	0.5439	0.6219	0.6827
90	0.2696	0.4543	0.5674	0.6487	0.7122
91	0.2819	0.4751	0.5933	0.6784	0.7448
92	0.2957	0.4983	0.6224	0.7116	0.7812
93	0.3113	0.5247	0.6553	0.7492	0.8225
94	0.3293	0.5551	0.6932	0.7927	0.8702
95	0.3507	0.5910	0.7382	0.8440	0.9266
96	0.3768	0.6351	0.7932	0.9069	0.9956
97	0.4105	0.6918	0.8640	0.9879	1.0846
98	0.4580	0.7718	0.9640	1.1022	1.2100
99	0.5391	0.9086	1.1347	1.2974	1.4244

Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

Se relaciona el valor del incremento de esfuerzos con precarga ($\Delta\sigma'_{(p)}$), con el esfuerzo efectivo (σ'_o) como se expresa en la (Ecuación 32), así como también los valores del incremento de esfuerzos final ($\Delta\sigma'_{(f)}$) y del incremento de esfuerzos con precarga ($\Delta\sigma'_{(p)}$), expresado en la (Ecuación 33).

$$\frac{\Delta\sigma'(p)/}{\sigma'o}$$

(Ecuación 32) Drenaje radial

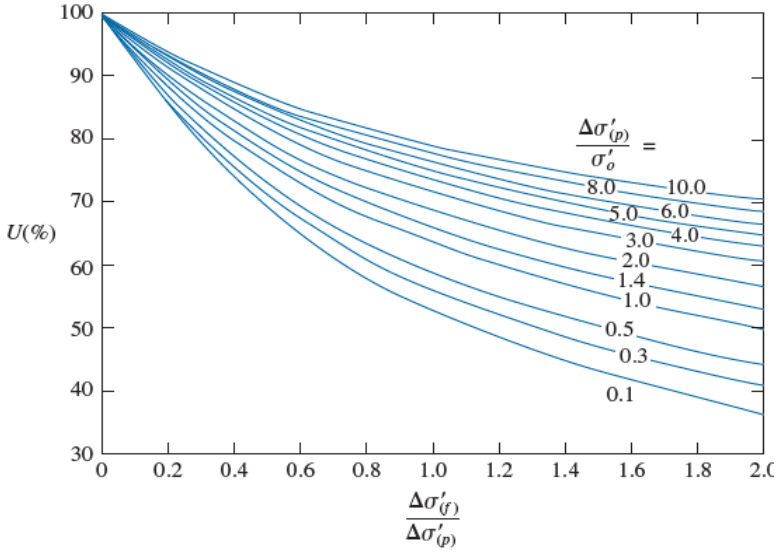
$$\frac{\Delta\sigma'(p)/}{\sigma'o}$$

(Ecuación 33) Drenaje radial

Con estos valores podemos encontrar mediante ábaco, el grado medio de consolidación promedio **(U%),** como lo explica **(Johnson 1970),** el valor de la

primera relación se encuentra en las líneas curveas y el valor de la segunda relación, en la línea horizontal inferior, se proyecta una perpendicular hacia la izquierda en la intersección de ambos valores, véase en la (Figura 5).

Figura 5. *Gráfica para hallar los valores de U%*



Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

La teoría para la consolidación de deformación igual debida sólo al drenaje radial (sin ninguna mancha) fue desarrollado por Barron (1948). (Braja_M_Das, 2010) La teoría se basa en la suposición de que no hay drenaje en la dirección vertical. De acuerdo con esta teoría, la ecuación:

$$Ur = 1 - exp\left(\frac{-8\,Tr}{m}\right)$$

(Ecuación 34) consolidación de deformación (Braja_M_Das, 2010)

$$m = \left(\frac{n^2}{n^2-1}\right) * \ln(n) - \left(\frac{3n^2-1}{4n^2}\right)$$

(Ecuación 35) consolidación de deformación

$$n = \left(\frac{de}{2rw}\right)$$

(Ecuación 36) consolidación de deformación

del Coeficiente de consolidación de Drenaje Radial (C_{vr})

$$Cvr = \frac{kh}{\left[\frac{\Delta e}{\Delta\sigma' (1 + e\ prom)}\right] * \gamma w}$$

(Ecuación 37) Coeficiente de consolidación de Drenaje Radial

Los valores del grado promedio de consolidación debido solo al drenaje vertical **(Uv)**, va a depender del factor del tiempo **(Tv)** se obtiene de la (Ecuación 31), de esta misma se puede despejar el valor del factor del tiempo, cuando el grado promedio de consolidación debido solo al drenaje vertical **(Uv)** es conocido, como se demuestra en la (Ecuación 32).

$$U_{\mathrm{v}} = \sqrt{\frac{4\,T_{\mathrm{v}}}{\Pi}}$$

(Ecuación 38) Grado promedio de consolidación

$$Tv = \frac{\pi}{4}\left[\frac{Uv\ (\%)}{100}\right]^2$$

(Ecuación 39) Valor del factor del tiempo

Para calcular el valor de ($\mathbf{N_D}$), donde encontramos una relación entre los valores del diámetro del dren de arena **(d_e)** y el diámetro equivalente **(d_c).** detallado en la siguiente ecuación:

$$\mathbf{ND} = \frac{de}{dc}$$

(Ecuación 40) Valor de $\mathbf{N_D}$

Para calcular el Factor de Tiempo Adimensional solo para Drenaje Vertical **(Tr),** que depende del Coeficiente de consolidación de Drenaje Radial **(C_{vr}),** el Tiempo de sobrecarga por área unitaria **(t2),** y el diámetro del dren de arena **(d_e),** resultando de la siguiente ecuación:

$$T_{\mathrm{r}} = \frac{C_{\mathrm{vr}} * t_2}{{d_{\mathrm{e}}}^2}$$

(Ecuación 41) Factor de Tiempo Adimensional

2.7.1.2. Construcción e instalación de drenes de arena.

Los agujeros que se requieren para realizar la instalación de drenes de arena en el suelo, se pueden hacer utilizando cualquier método económico con relación a las necesidades que se requieran en la construcción; el mandril o tubo para revestir el agujero y evitar un derrumbe debe ser abierto o cerrado en el fondo y que se pueda insertar a través de hinchado, vibración, chorro de agua o rotación; el suelo que ocupó el espacio originalmente, donde se abrió el agujero a través de perforación o utilizando ambos métodos, es desplazado hacia arriba lentamente (Yepes Piqueras, 2020).

Para construir drenes, se pueden utilizar tres técnicas, donde las dos primeras son muy comunes y el tercero se puede emplear en proyectos pequeños sin fondos, debido a los altos costos de la movilización, siendo estos (Yepes, 2020b): (i) Hincado con chorro de agua a presión alta; (ii) Desplazamiento de terreno natural; (iii) Perforación a través de inyección de agua.

En todos estos métodos, se hinca un tubo de acero en el suelo, para luego extraer cuando ya se ha vertido arena desde la parte superior, con el fin de rellenar el agujero; todas las técnicas necesitan de una calificada mano de obra, el diámetro del agujero varía entre 0.2 a 0.5 m generalmente (Ocampo & Vélez, 2020).

El hincado con el chorro de agua de alta presión se logra descargando agua por un extremo inferior del tubo de acero, con una velocidad de 50 l/s aproximadamente; cuando el agua golpea el fondo del agujero causa que el suelo se disgregue por la erosión; luego fluye hacia arriba, transportando diversos fragmentos del suelo a la superficie. A medida que aumenta la profundidad de dicho agujero, el tubo se hunde por su peso propio; dicho método posee la ventaja que la alteración del suelo es poca (Ocampo & Vélez, 2020).

En el método de desplazamiento, el extremo inferior del tubo se cierra, por ejemplo, cuando el tubo es forzado a penetrar el suelo, se desplaza hacia arriba y a los lados por la compresión; cuando el tubo alcanza una profundidad deseada, por la parte superior se introducen agua y arena, para posteriormente, retirar el tubo; la

tapa se abre y el agujero se llena de arena. Tiene la ventaja de autosuficiencia, debido que, no requiere grandes cantidades de agua ni un sistema de drenaje, sin embargo, presenta la desventaja de que altera de forma severa el suelo (Carrillo & Caro, 2020).

La perforación del agujero a través del agua es más costosa y lenta que los otros dos métodos; sin embargo, se demuestra que es utilizado en pequeños proyectos donde el dinero y tiempo requerido para movilizar el equipo, compensa el gasto y demora inherente a la técnica; en las perforaciones de agua, el agujero se profundiza con agua, para luego desviarse hacia un tanque donde se asientan diversas partículas de suelo desprendidas del agujero; teniendo en cuenta que, el tubo de acero sigue avanzando ligeramente (Carrillo & Caro, 2020).

2.7.1.3. Dren tipo mecha

También se conocen como drenes prefabricados, hechos usualmente de materiales con núcleo de plástico que se forran en un geotextil filtrante, donde se considera la fuerza de tensión; dichos drenes no necesitan de arena para la transmisión del fujo y sus formas son alargadas, cuyas dimensiones son de 10 cm de ancho y de 0.02 o 0.06 cm del espesor; estos drenes se insertan en el suelo, empleando una herramienta que empuja el elemento mediante una capa del suelo, haciendo que el suelo que se encuentra alrededor colapse (Cimentada & Da Costa, 2020).

Los beneficios que traen consigo este tipo de drenes, son: (i) Bajo costo; (ii) Rápida instalación; (iii) Continuidad asegurada de dren; (iv) Sitio limpio; (v) Equipo ligero de instalación; (vi) Alta permeabilidad; (vii) Insignificante alteración de suelo; (viii) Drenaje positivo.

Una característica fundamental que poseen los drenes prefabricados es la capacidad para permitir el flujo por unidad del área de la sección transversal; otra es la penetrabilidad de filtro rodeado al núcleo (Yepes Piqueras, 2020).

El filtro exterior del dren, tiene un espesor de 0.2 a 0.4 mm, teniendo una permeabilidad igual de alta que el suelo donde circula, de forma que no impide el

fujo hacia el núcleo; dicha camisa de dren conforma la superficie exterior, permitiendo que las partículas de arcilla atraviesen al interior del mismo y sean arrastradas por un caudal de descarga; la evacuación de las partículas ocurre siempre y cuando las velocidades sean moderadas, conduciendo a una estructura de suelo abierta y con una alta permeabilidad alrededor del dren (Cimentada & Da Costa, 2020).

2.7.1.4. Instalación de drenes tipo mecha o prefabricados

El equipo de instalación posee una gran variedad, así como los mismos drenes; los tipos comunes de drenes de banda, de 90 a 100 mm de ancho, generalmente se instalan a través de una lanza de 140 mm aproximadamente en una sección transversal; los aparejos están equipados con el Mandril cerrado o abierto, siendo capaces de ejercer fuerza por debajo, hasta más de 200 kN e hincar hasta 4 mechas de forma simultánea; las velocidades de instalación son de 0.3 a 0.6 m/s, las mechas de arena y tubos se instalan con métodos y equipos parecidos a los que se utilizan en los drenes de arena (Cimentada & Da Costa, 2019).

2.7.2. Diseño de drenes verticales

Los drenes facilitan el trayecto para que el agua que está en los poros, escape de la arcilla en un proceso de consolidado, de esta forma, recorre una distancia más corta de la necesaria sin ellos; permitiendo también el flujo dentro del suelo y que sea en dirección horizontal, siendo esta, de menor resistencia (Ocampo & Vélez, 2020).

El diseño de dichos drenes, está relacionado con la investigación obtenida en las propiedades del suelo, incluyendo resultados de diseños de cimentación, asentamientos, registros de pozos de agua perforados y daños que han sufrido en la estructura de forma previa; así mismo, se demuestra evidencia acerca de los comportamientos del suelo luego de haber ejecutado excavaciones. Compilando todos los datos, se contribuye al análisis de condiciones del suelo, estableciendo la viabilidad de uso del sistema (Ocampo & Vélez, 2020).

2.8. SIGMA/W

Sigma emplea una formulación que se basa en elementos finitos para ejecutar análisis de deformación y tensión de estructuras terrestres; su formulación completa permite el análisis de problemas simples y complejos en gran medida, puede realizar un análisis de deformación línea elástica simple o eficaz, involucrando interacciones entre la estructura, tensión y respuesta de presión del agua, considerando las estabilidades; los modelos numerosos de suelo, permiten representar la amplia gama de suelos o materiales de estructura; dichas características proporcionan el análisis de cualquier problema de deformación o tensión (Yepes Piqueras, 2020).

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo

El propósito de la investigación aplicada es generar conocimiento que pueda ser designado directamente en la sociedad o en los sectores productivos a mediano plazo, siendo una investigación de gran valor (Lozada, 2019).

Se utiliza el conocimiento de la investigación básica; de esta manera, la riqueza es causada por la diversificación y el progreso del departamento de producción. Por lo tanto, la Asociación de Investigación de Aplicación afecta indirectamente la mejora de la vida de la población y la creación de un trabajo.

3.1.2. Nivel

Este es un estudio muy importante, cuyo objetivo principal es obtener evidencia de la causalidad de los fenómenos (Franco D, 2018). Dichos estudios permiten a los investigadores: (i) Determinar qué variables son causales o independientes, o aquellas que serán manipuladas para tener un efecto. (ii) Saber qué variables son variables de efecto o dependientes, o aquellos factores que se medirán para comparar los cambios de efecto. (iii) Inferir las características de la variable independiente para predecir la variable dependiente.

Los métodos que se utilizarán en la presente investigación, son experimentos o simulacros de entornos de la vida real, recreando experiencias ya utilizadas.

3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.2.1. Población

Una población se refiere a una colección colectiva de individuos, objetos o medidas que, por un lado, tienen como objetivo estudiar ciertas características y, por otro, exhiben ciertas particularidades comunes que son observables a lo largo del tiempo en diversos lugares y momentos.

Orientándose al contenido antes mencionado, se concluye que, la población de la presente investigación, se conforma por las muestras adquiridas en relación al campo del material de la avenida Francisco de Orellana en Isidro Ayora.

3.2.2. Muestra

En palabras más técnicas, es un subconjunto que se toma de la población, por tal motivo, se recopiló información de varias perforaciones para obtener muestras de terreno nativo del sector de la avenida Francisco de Orellana, desde el paseo del parque vía nueva, hasta el redondel en la Avenida Isidro Ayora. Además, se obtuvo varios resultados de ensayos de consolidación realizados en muestras de diferentes profundidades de las perforaciones recopiladas. Después del análisis de los diferentes perfiles estratigráficos se seleccionó la perforación número cinco, para la evaluación del asentamiento por la imposición de la carga causada por el terraplén.

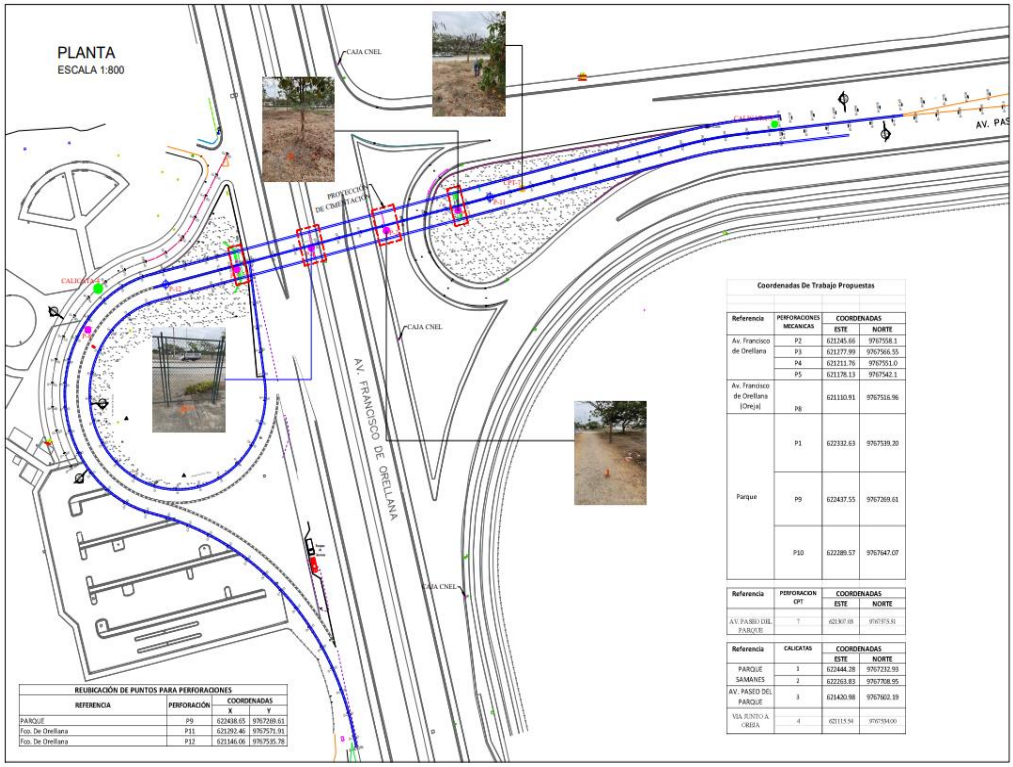
3.3. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO

3.3.1. Av. Francisco de Orellana desde paseo del parque vía Nueva (Suelo Inalterado)

La zona de estudio comprende a la vía de la Avenida Francisco de Orellana – en el parque de la ruta nueva, desembocando en el redondel de la vía Isidro Ayora en la ciudad de Guayaquil, cantón con el mismo nombre, provincia del Guayas (Figura 1). En esta área, se extrajeron muestras de dos calicatas a cielo abierto, en una extensión de vía de 5.3 Km; para después transportarlas al laboratorio, realizando los ensayos respectivamente.

Figura 5.

Mapa para ubicación



Nota. Ubicación Georreferenciada Estudio Samanes –Contratista Ing. Patricio Von Buchwald

3.4 METODOLOGÍA DEL OE.1: ANALIZAR LA MAGNITUD Y TIEMPO DE ASENTAMIENTO QUE GENERARÍA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS APROCHES CON UN TERRAPLÉN PARA EL ACCESO A UN PUENTE VEHICULAR SOBRE SUELOS BLANDOS, APLICANDO LOS CRITERIOS DE LA TEORÍA DE CASA GRANDE PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA VIGENTE.

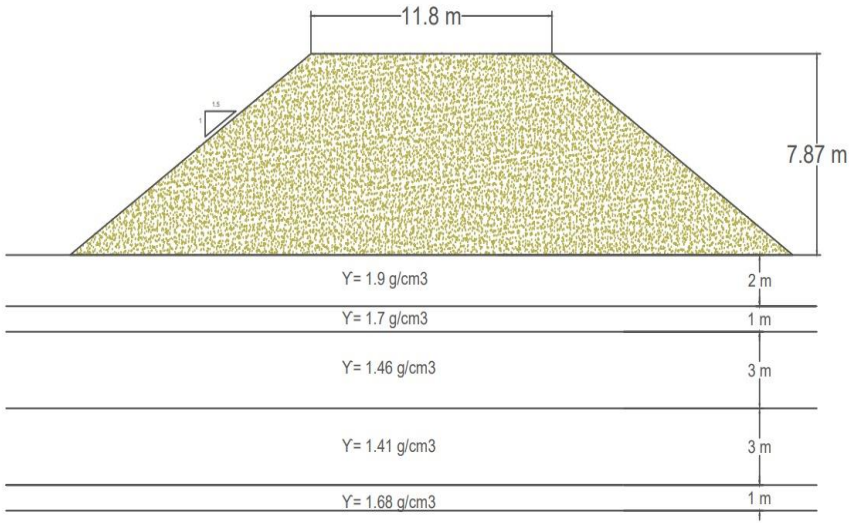
En el análisis de magnitud y tiempo de asentamiento de la construcción de los aproches con un terraplén para el acceso a un puente vehicular sobre suelos blandos, se seleccionó el proyecto ¨**Estudios y diseños de la solución vial integral de la**

av. Francisco de Orellana desde av. Francisco Orellana hasta av. Paseo del Parque – Vía Nueva desde av. Paseo del Parque hasta redondel av. Isidro Ayora¨ con ayuda de los datos de los ensayos de la perforación número cinco que exponen un perfil estratigráfico completo, a una profundidad de doce metros, siendo esta la de mayor profundidad de todas las perforaciones realizadas en dicho proyecto.

Se definió la sección del terraplén a analizar, siendo esta de once metros ochenta centímetros de corona y siete metros con ochenta y siente centímetros de altura como se muestra en la (Figura 6), para calcular el incremento de esfuerzos **(σ'_o)** que provoca la construcción del mismo, esto incluye el prediseño del terraplén, con ayuda de los datos de los ensayos de consolidación y del perfil estratigráfico completo que demuestra cada uno de los valores de las propiedades mecánicas del suelo, lo cual permite el análisis en cada estrato y logra presentar los datos de resultados obtenidos, de forma detallada.

Figura 6.

Dimensiones del terraplén



Además, con el análisis del perfil estratigráfico, se delimió tres estratos de arcillas blandas, para a esas arcillas y dependiendo de las profundidades se obtuvo el esfuerzo efectivo (**σ'**) de cada altura media del estrato (H) y peso específico saturado (γ), como se lo expresa en la (Ecuación 17)

$\boldsymbol{\sigma'_o}$= (H_1 * γ_1) (Ecuación 17)

Para obtener los valores de los ángulos $\propto_1 y \propto_2$, se utilizó los criterios trigonométricos, en relación de la profundidad **z** y de los datos de los anchos $B_1\ y\ B_2$, tal como se detalla en la (Figura 1)

$$\propto_1(radianes) = \left[tan^{-1}\left(\frac{B_1+B_2}{z}\right) - tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z}\right)\right] \quad \text{(Ecuación 20)}$$

$$\propto_2(radianes) = \left[tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z}\right)\right] \quad \text{(Ecuación 21)}$$

Con las dimensiones y el peso específico del material granular que conformó el terraplén; considerando que $\mathbf{B_1}$ es la mitad de la corona y $\mathbf{B_2}$ siendo el ancho del talud del terraplén y con el perfil estratigráfico se determinará los valores de **z,** que corresponde a la mitad del espesor de la arcilla con alta compresibilidad sujeta a análisis más los valores de las alturas de los estratos superiores. El incremento de esfuerzos para cada una de las profundidades se calculó con la (Ecuación 15):

$$\Delta\boldsymbol{\sigma}z = \frac{qo}{\pi}\left[\left(\frac{\boldsymbol{B_1+B_2}}{\boldsymbol{B_2}}\right)(\propto_1 + \propto_2) - \frac{\boldsymbol{B_1}}{\boldsymbol{B_2}}(\propto_2)\right] \quad \text{(Ecuación 15)}$$

Además, también se obtuvo el valor del incremento de esfuerzos efectivos mediante la (Figura 2), que depende exclusivamente de el valor de capacidad de carga **(q_0)** y el valor de Influencia **(I´)**, se obtiene a partir de la (Ecuación 29)

$\boldsymbol{\Delta\sigma'_{(p)}}$= q_0 * I′ (Ecuación 22)

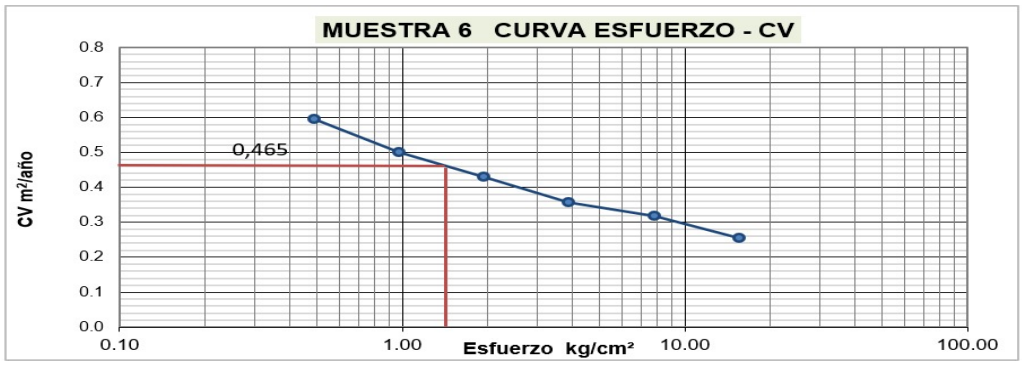
El asentamiento por consolidación primario unidimensional **(Sc)** en una arcilla normalmente consolidada**,** depende del índice de compresión **(Cc),** la relación de vacíos natural del suelo **(e_o)** obtenido del ensayo de consolidación del laboratorio**,** el esfuerzo vertical efectivo promedio de la capa de arcilla **(σ'_o)** a la profundidad de análisis (H) y el incremento de la transmisión de esfuerzo **($\Delta\sigma'_{(p)}$),** obtenido con el criterio de Osterberg.

$$\boldsymbol{Sc} = \frac{Cc * H}{1+e_o}\log\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{(p)}}{\sigma'_o} \quad \text{(Ecuación 23)}$$

Con el ensayo de consolidación, mediante gráfica de deformación vs logaritmo de tiempo, se obtuvo el valor del coeficiente de consolidación vertical **(Cv)** para cada ciclo de carga, los mismos que se grafican a continuación en la (Figura 7) del ensayo de consolidación,

Figura 7.

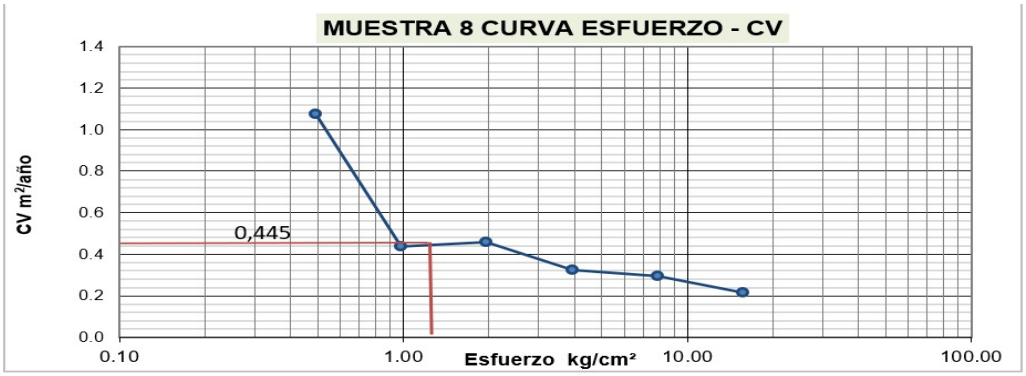
Informe de resultados



Nota. Ensayo de consolidación norma ASTM D-2435. PROF. 5-6m – Ing. Patricio Von Buchwald

Figura 8.

Informe de resultados



Nota. Ensayo de consolidación norma ASTM D-2435. PROF. 7-8m – Ing. Patricio Von Buchwald

Para el coeficiente de consolidación **(Cc)**, se encontró en los ensayos de consolidación de cada uno de los estratos del sitio a analizar, así como también los valores de índice de vacíos inicial **(e_o).** Se calculó el tiempo de asentamiento por el método de Casagrande y Fadun 1940, expuesto en la (Ecuación 14)

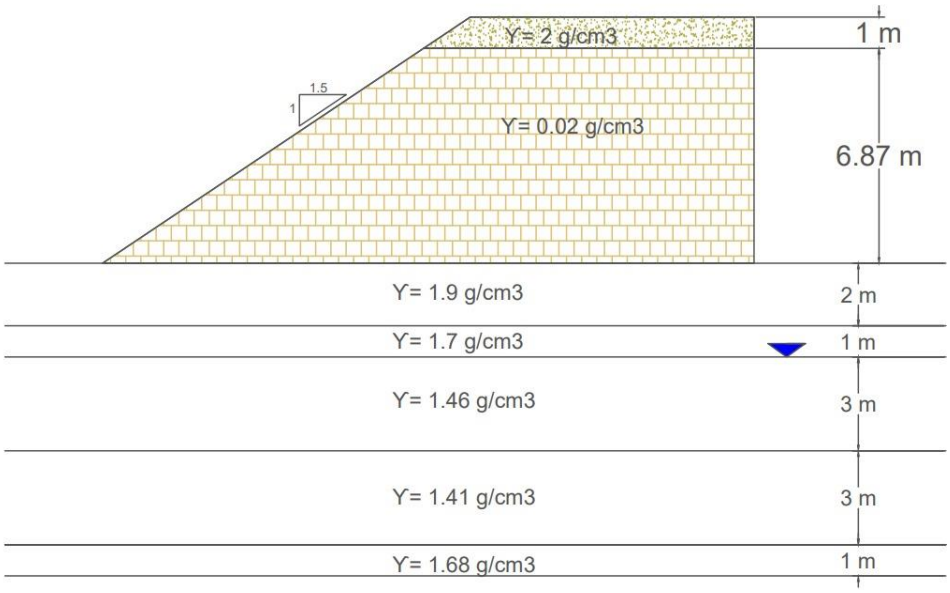
$$Tc = \frac{T_{95} * H^2}{Cv}$$ (Ecuación 14)

3.5 METODOLOGÍA DEL OE.2: ESTUDIAR EL ASENTAMIENTO REEMPLAZANDO EL MATERIAL DEL APROCHE DE UN TERRAPLÉN CON GEOBLOQUES, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE LA CARGA EN SUELOS BLANDOS, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN PRIMARIA.

Para esta metodología, el diseño del terraplén se consideró con una altura de seis metros ochenta y siete centímetros con un peso específico de cero punto cero cero dos g/cm³ y un espesor de un metro correspondiente a la carga de la carpeta asfáltica con un peso específico de dos g/cm³, se aplicará el método anterior con la variación del peso específico del terraplén, siendo el anterior un material pétreo, y éste un material de poliestireno expandido, tal y como se muestra en la (Figura 9).

Figura 9.

Dimensiones del terraplén

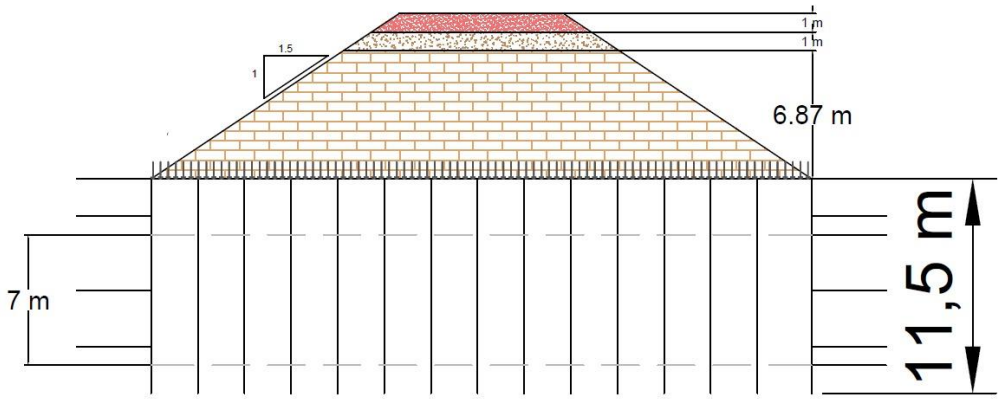


3.6 METODOLOGÍA DEL OE.3: EVALUAR LA MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS CON UNA CONSTRUCCIÓN DE APROCHES CON UN TERRAPLÉN APLICANDO PRECARGA Y DRENES DE ARENA., PARA DISMINUIR LA MAGNITUD

Para esta metodología se usó el diseño del terraplén con materiales de polietileno expandido como lo muestra la (Figura 10), se estableció el tiempo de consolidación a un año, el cual permitió el cálculo del grado de consolidación radial **(Ur)** y también se conoció el factor del tiempo **(Tv)** considerando un drenaje unidimensional, como se expresa en la (Ecuación 39) y (Ecuación 41).

Figura 10.

Dimensiones del terraplén



$$U_v = \sqrt{\frac{4\,T_v}{\pi}} * 100 \qquad \text{(Ecuación 39)}$$

$$Tv = \left[\frac{Cv*t}{H^2 dr}\right]^2 \qquad \text{(Ecuación 40)}$$

Para el diseño de los drenes, se asumió un valor de diámetro de la perforación del dren, el cual permite estimar el espaciamiento **(d)** entre los ejes el dren y con la (Ecuación 41), se obtuvo la zona de drenaje efectiva **(de)**, posterior a esto se calculó los valores de los factores **(n)** y **(m)** con la (Ecuación 35) y (Ecuación 36).

$$d = \frac{de}{1.05} \rightarrow de = d * 1.05 \qquad \text{(Ecuación 41)}$$

$$n = \left(\frac{de}{2rw}\right) \qquad \text{(Ecuación 35)}$$

$$m = \left(\frac{n^2}{n^2-1}\right) * \ln(n) - \left(\frac{3n^2-1}{4n^2}\right) \qquad \text{(Ecuación 36)}$$

Se calculó el Factor de Tiempo Adimensional solo para Drenaje Vertical **(Tr)**, usamos la (Ecuación 40); obteniendo el coeficiente de consolidación Radial **(Cr)** con la (Ecuación 42), se consideró la velocidad de consolidación **(Cv)** obtenida del ensayo de laboratorio (Cv= 0.4501)

$$T_{\mathrm{r}} = \frac{C_{\mathrm{vr}} * t_2}{{d_{\mathrm{e}}}^2} \qquad \text{(Ecuación 40)}$$

$$Cr = 1.6 * Cv \qquad \text{(Ecuación 42)}$$

El grado de consolidación radial **(Ur)** depende del Factor de Tiempo Radial **(Tr)** y el factor **(m),** tal como se expresa en la (Ecuación 34). Se calculó un Grado Promedio de Consolidación vertical y radial, con los datos anteriormente obtenidos, como se muestra en la (Ecuación 31).

$$Ur = 1 - exp\left(\frac{-8\,Tr}{m}\right) \qquad \text{(Ecuación 34)}$$

$$\mathrm{U_{v,\,r}} = 1 - (1 - \mathrm{U_r})(1 - \mathrm{U_v}) \qquad \text{(Ecuación 31)}$$

Se consideró el análisis de dos magnitudes de espaciamientos **(d),** de 1,5 m y 2,5 m, el cual se obtuvo los valores de 92% y 68% para el grado promedio de consolidación promedio vertical y radial, lo cual permitió realizar la relación del valor del incremento de esfuerzos con precarga **($\Delta\sigma'_{(p)}$)**, con el esfuerzo efectivo **(σ'_o)** como se expresa en la (Ecuación 32), así como también los valores del incremento de esfuerzos final **($\Delta\sigma'_{(f)}$)** y del incremento de esfuerzos con precarga **($\Delta\sigma'_{(p)}$),** expresado en la (Ecuación 33), obtenemos el valor de incremento de esfuerzos final **($\Delta\sigma'_{(f)}$)** mediante despeje de la (Ecuación 33). Mediante ábaco de la

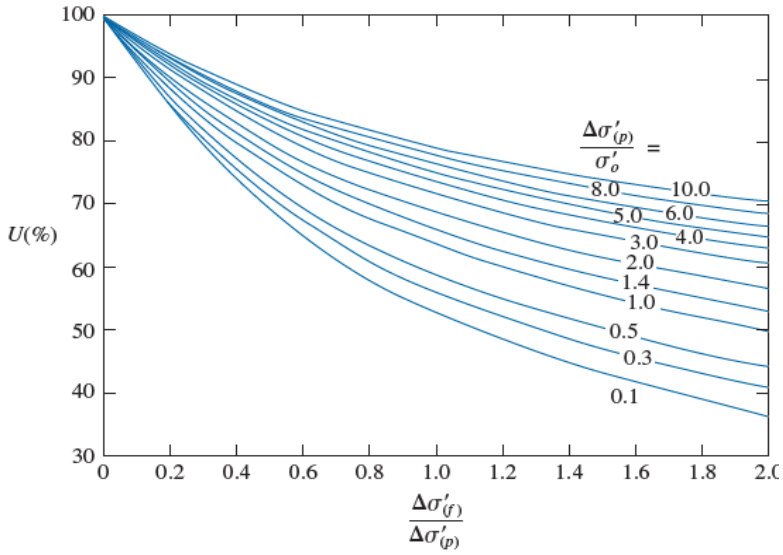
(Figura 17) obtenemos confirmamos el valor del incremento de esfuerzo final que necesita el terraplén para soportar la sobrecarga.

$$\frac{\Delta\sigma'(p)}{\sigma'o} \qquad \text{(Ecuación 32)}$$

$$\frac{\Delta\sigma'(f)}{\Delta\sigma'(p)} \rightarrow \Delta\sigma'(f) = \Delta\sigma' * \frac{\Delta\sigma'(f)}{\Delta\sigma'(p)} \qquad \text{(Ecuación 33)}$$

Figura 5

Gráfica para hallar los valores de U%



Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

La altura **(H)** necesaria para aplicar la sobrecarga, se definió mediante (Ecuación 43), que depende del esfuerzo final $\Delta\sigma'(f)$ y el peso específico del terraplén **(ɣ)**.

$$H = \frac{\Delta\sigma'(f)}{\sigma'o} \qquad \text{(Ecuación 43)}$$

3.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA 8.

Cuadro operacionalización de variables.

CUADRO DE OPERACIONES DE VARIABLE					
TIPO DE VARIABLE	**VARIBLE**	**DESCRIPCÓN DE LA VARIABLE**	**INDICADORES**	**UNIDAD DEL INDICADOR**	**INSTRUMENTO**
Variable Dependiente (Xi)	Xi: estado de conservación de la vía	Estas son las características del recubrimiento o el estado actual de protección evaluando su estado actual.	Estado en que se encuentra el suelo.	Adimensional	Mesas de campo, cámaras y métodos de evaluación química y de suelos.
	Xi: Calidad de la Superficie del Terraplén	A través de esto, puede asegurarse de si el terreno necesita mantenimiento o reconstrucción, está construido y cumple con sus especificaciones de diseño.	Índice de condición del suelo	Adimensional	
			Evaluación química	1-10	
			Valor del suelo	1-7	
	Yi: Propuesta de matriz de Compactación	Con base en los resultados de la metodología se propone una matriz de actividades de remediación y mantenimiento de suelos blandos.	Grado de daño del suelo	Porcentaje	
Variable Independiente (Yi)			Actividades de asentamiento del suelo	Adimensional	
	Yi: Condición del suelo por método	Son defectos que se producen en el terreno bajo la influencia del tráfico, el clima, defectos de construcción y pueden analizarse mediante diversos métodos.	Calificación del suelo	1-10	
			Calificación del terraplén propuesto	1-7	
	Yi: Índice de asentamiento en el suelo	Este método define el estado de abuso mediante el índice de degradación superficial (Is), que es un valor adimensional calculado como porcentaje de la longitud afectada.	Índice de asentamiento	Porcentaje – m^2	
			Índice de fijación	Porcentaje – m^2	

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS DEL OE.1: ANALIZAR LA MAGNITUD Y TIEMPO DE ASENTAMIENTO QUE GENERARÍA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS APROCHES CON UN TERRAPLÉN PARA EL ACCESO A UN PUENTE VEHICULAR SOBRE SUELOS BLANDOS, APLICANDO LOS CRITERIOS DE LA TEORÍA DE CASA GRANDE PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA VIGENTE.

Se definió la geometría del terraplén (Figura 6), en el cual, se encuentra de forma simétrica, se obtiene los siguientes valores de acuerdo al diseño del proyecto vial, y los parámetros mecánicos del perfil estratigráfico, y con los datos del ensayo de consolidación se tabulan los valores necesarios para el cálculo de magnitud y tiempo de asentamiento, detallados en la Tabla 8

Figura 6.

Dimensiones del terraplén

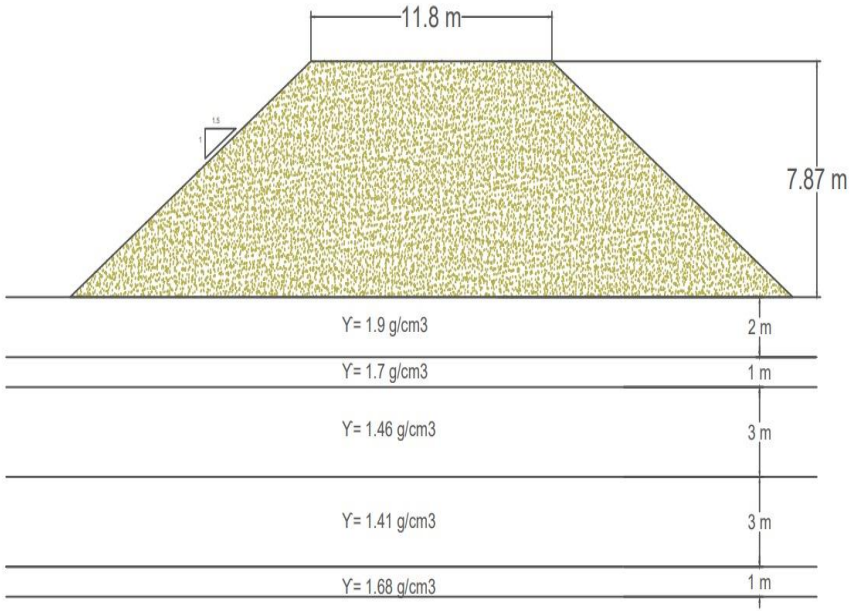


Tabla. 9

Datos del Perfil estratigráfico

DATOS PERFIL

NAF=	3			ϒ TERRAPLEN=	2	H terraplén=	7,87		
ESTRATO 1		ESTRATO 2		ESTRATO 3		ESTRATO 4		ESTRATO 5	
H1=	2	**H2=**	1	**H3=**	3	**H4=**	3	**H5=**	1
ϒ1=	1,9	**ϒ2=**	1,7	**ϒ3=**	1,46	**ϒ4=**	1,41	**ϒ5=**	1,68
				Cv=	0,465	**Cv=**	0,4453	**Cv=**	0,44
				Cc=	0,77	**Cc=**	1,02	**Cc=**	0,63
				eo=	2,3193	**eo=**	3,05	**eo=**	2,3193

Con los datos de la Tabla 8 obtuve: esfuerzos efectivos, incremento de esfuerzos, los asentamientos parciales a profundidades de: 4,5 m; 7.50 m y 10 m, de 37 cm, 34 cm y 7 cm, respectivamente; que totalizan un asentamiento de consolidación primaria de 78 cm para un esfuerzo de contacto de 15.74 T/m^2 provocado por el terraplén de material pétreo con peso específico de 2 T/m^3 de 7.87 m de altura; resultados que se evidencia en la Tabla 9.

Tabla. 10

Resultados del OE1

TABLA DE RESULTADOS

Z	σ'$_o$	Δσ	σ'f=	H (espesor)	Sc		tc	
4,5	6,19	14,97	21,16	3	0,37 m	37 cm	t50	21 años
7,5	7,495	13,45	20,95	3	0,34 m	34 cm	t90	92 años
10	8,45	12,05	20,50	1	0,07 m	7 cm	t95	123 años
		qo=	15.74 T/m2		**St=**	**78 cm**		

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS DEL OE.2: ESTUDIAR EL ASENTAMIENTO REEMPLAZANDO EL MATERIAL DEL APROCHE DE UN TERRAPLÉN CON GEOBLOQUES, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE LA CARGA EN SUELOS BLANDOS, PARA DISMINUIR LA MAGNITUD DE ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN PRIMARIA.

Se definió la geometría del terraplén (Figura 9), en el cual, se encuentra de forma simétrica, se obtiene los siguientes valores de acuerdo al diseño del proyecto vial,

y los parámetros mecánicos del perfil estratigráfico, y con los datos del ensayo de consolidación se tabulan los valores necesarios para el cálculo de magnitud y tiempo de asentamiento, detallados en la Tabla 10

Figura 9.

Dimensiones del terraplén

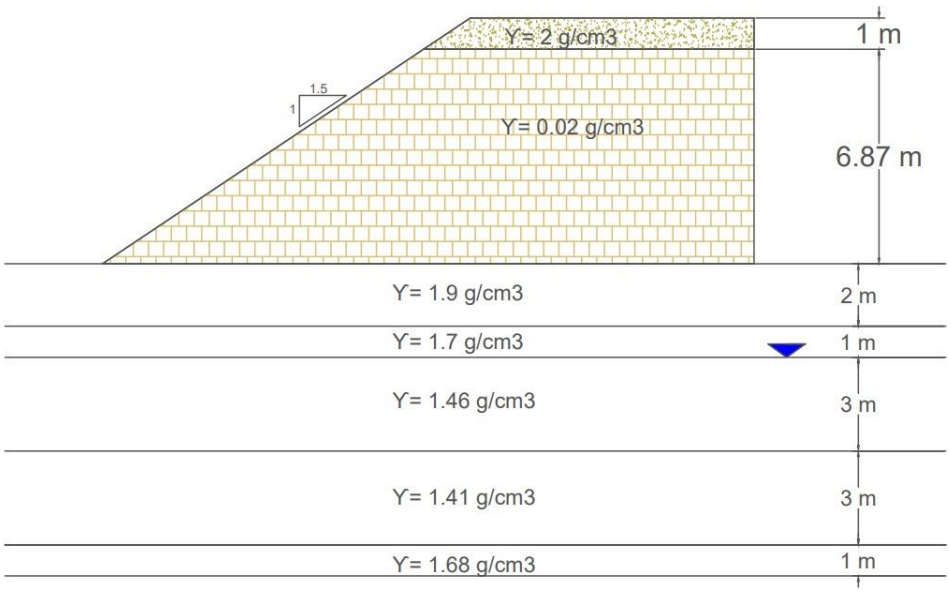


Tabla. 11

Datos del Perfil estratigráfico

DATOS PERFIL

NAF=	3	**ϒ TERRAPLEN=**	2	**ϒ GEOBLOQUE=**	0,02	H terraplen=	7,87		
ESTRATO 1		ESTRATO 2		ESTRATO 3		ESTRATO 4		ESTRATO 5	
H1=	2	**H2=**	1	**H3=**	3	**H4=**	3	**H5=**	1
ϒ1=	1,9	**ϒ2=**	1,7	**ϒ3=**	1,46	**ϒ4=**	1,41	**ϒ5=**	1,68
				Cv=	0,465	**Cv=**	0,4453	**Cv=**	0,44
				Cc=	0,77	**Cc=**	1,02	**Cc=**	0,63
				eo=	2,3193	**eo=**	3,05	**eo=**	2,3193

Con los datos de la Tabla 10 obtuve: esfuerzos efectivos, incremento de esfuerzos, los asentamientos parciales a profundidades de: 4,5 m; 7.50 m y 10 m, de 9 cm, 7 cm y 1 cm, respectivamente; que totalizan un asentamiento de consolidación primaria de 17 cm para un esfuerzo de contacto de 5.14 T/m^2 provocado por el terraplén conformado por el geo bloques con peso específico de 0.02 T/m^3 de 6.87 m de altura; y 1 m de estructura de pavimento con peso específico de 2 T/m^3, con resultados que se evidencia en la Tabla 11.

Tabla. 12

Resultados del OE2

TABLA DE RESULTADOS

Z	**σ'ₒ**	**Δσ**	**σ'f=**	**H (espesor)**	**Sc**		**Tiempo de asentamiento**	
4,5	6,19	2,03	8,22	3	0,09 m	9 cm	t50	21 años
7,5	7,495	1,83	9,32	3	0,07 m	7 cm	t90	92 años
10	8,45	1,64	10,09	1	0,01 m	1 cm	t95	123 años
					St=	**17 cm**		

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS DEL OE.3: EVALUAR LA MAGNITUD Y TIEMPOS DE ASENTAMIENTOS CON UNA CONSTRUCCIÓN DE APROCHES CON UN TERRAPLÉN APLICANDO PRECARGA Y DRENES DE ARENA., PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE ASENTAMIENTO

Se diseñó el terraplén con materiales de polietileno expandido como lo muestra la (Figura 10), se estableció el tiempo de consolidación a un año, el cual permitió el

cálculo del grado de consolidación radial **(Ur)** y también se conoció el factor del tiempo **(Tv)** considerando un drenaje unidimensional, para ello se realizaron los cálculos y se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 10.

Dimensiones del terraplén

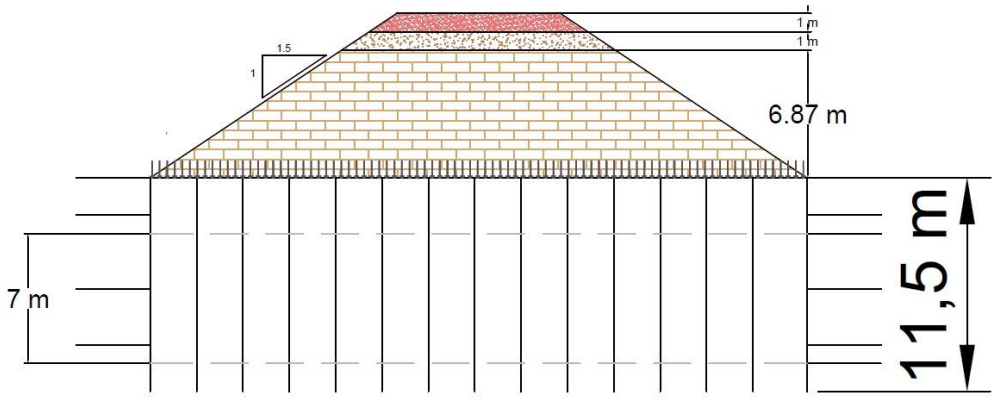


Tabla. 13

Resultados del OE3

DATOS			
Z	**σ'v**	**qo** (terraplen + geobloque)	**Δσp**
6.5	7.09 T/m²	2.14 T/m²	1.99 T/m²
6.5	7.09 T/m²	2.14 T/m²	1.99 T/m²

Se obtuvo los valores del drenaje vertical **(Uv)**, necesarios para con ello, tener los cálculos del drenaje radial **(Ur)** y obtener la relación del grado promedio de consolidación vertical y radial **($U_{v,r}$),** como se demuestra en la (Tabla 13) y (Tabla 14)

Tabla. 14

Resultados del OE3 – Drenaje Vertical.

DRENAJE VERTICAL				
Cv	**Hdr**	**t**	**Tv**	**Uv%**
0.4501	7.00 T/m²	1.00 T/m²	0.01 T/m²	0.1081
0.4501	7.00 T/m²	1.00 T/m²	0.01 T/m²	0.1081

Tabla. 15

Resultados del OE3 – Drenaje Radial.

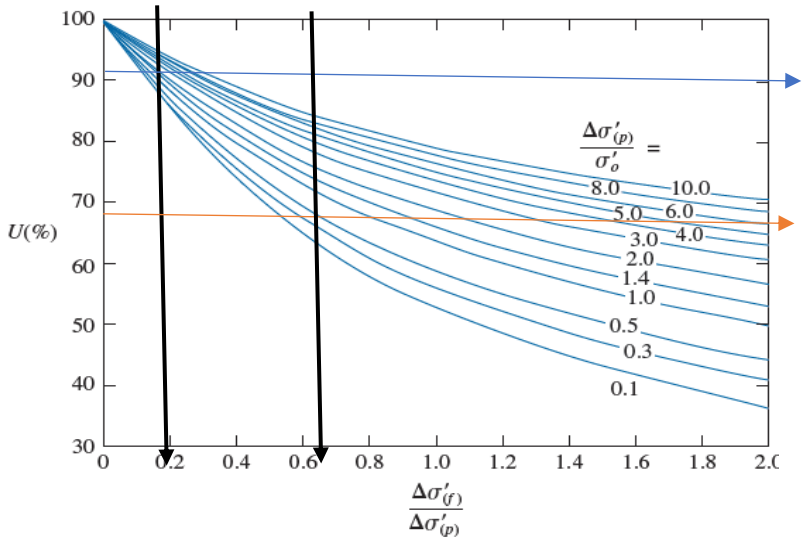
DRENAJE RADIAL

Cr	n	Dm	d	Hdr (de)	t	Tr	Ur%
0.4501	5.25 T/m²	0.30 T/m²	1.50 T/m²	1.575	1	0.29 T/m²	0.91 T/m²
0.4501	4.38 T/m²	0.30 T/m²	2.50 T/m²	2.625	1	0.10 T/m²	0.64 T/m²

Los datos requeridos para el uso del ábaco, son los del grado promedio de consolidación vertical y radial **($U_{v,r}$),** incremento de esfuerzos **($\Delta\sigma'$)** y esfuerzo efectivos **(σ'_o)**, como se muestra en la (Figura 5) **.** Con despeje de ecuaciones se obtuvo los valores de el incremento de esfuerzos final, necesarios para conocer con que valores trabaja el material para alcanzar el asentamiento de magnitud de 17 cm en un año, además también se calculó la altura necesaria para que el terraplen soporte la sobrecarga. Tal y como se detalla en la (tabla 14)

Figura 5

Gráfica para hallar los valores de U%



Nota. Tomado de Libro Braja Das, 8va Edición

Tabla. 16

Resultados del OE3 – Drenaje Radial.

Tabla de resultados

Uv,r	Δσp/σ'v	Δσf/Δσp	Δσf	H
92	0.28035374	0.12	0.23835675	0.119 m
68	0.28035374	0.57	1.13219455	0.566 m

4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El proyecto explora en profundidad la transición entre el aproche, la estructura del terraplén y su comportamiento desde diferentes perspectivas. En primer lugar, se realiza un exhaustivo estudio de fuentes bibliográficas para comprender las investigaciones realizadas hasta el momento. Así mismo, a través de una serie de observaciones del perfil estratigráfico se ha analizado la situación real en el estudio, análisis y diseño del aproche para el terraplén.

Luego, se realizó un modelado de elementos finitos para reproducir el comportamiento de varias transiciones previamente descubiertas y documentadas. El diseño también puede estimar qué factores influyen más en el comportamiento de cambio. Finalmente, sobre la base de los modelos resultantes, se explora en profundidad la influencia individual de cada determinante principal de la respuesta del modelo. Las principales conclusiones extraídas se detallan a continuación.

Entre la información recolectada, se pudo determinar diferentes datos, de los cuales, la empresa que se dedicó a estas mejoras concluyó con su diversa documentación, en la cual, detalla cada parte ejecutada durante el expediente que se complementó, demostrando el trabajo paso a paso (**Anexo2**).

Tabla *17.* *Tabla De Resultados*

ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION DE MATERIALES PÉTREOS								
Z	**σ′ₒ**	**Δσ**	**σ′f=**	**H (espesor)**	**Sc**		**Tiempo de asentamiento**	
4,5	6,19	14,97	21,16	3	0,37 m	37 cm	t50	21 años
7,5	7,495	13,45	20,95	3	0,34 m	34 cm	t90	92 años
10	8,45	12,05	20,50	1	0,07 m	7 cm	t95	123 años
					St=	**78 cm**		
ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN CON GEOBLOQUES								
Z	**σ′ₒ**	**Δσ**	**σ′f=**	**H (espesor)**	**Sc**		**Tiempo de asentamiento**	
4,5	6,19	2,03	8,22	3	0,09 m	9 cm	t50	21 años
7,5	7,495	1,83	9,32	3	0,07 m	7 cm	t90	92 años
10	8,45	1,64	10,09	1	0,01 m	1 cm	t95	123 años
					St=	**17 cm**		
ASENAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN CON PRECARGA Y DRENES DE ARENA								
Z	**σ'v**	**qo** **(terraplen + geobloque)**	**Δσp**	**Uv,r**	**Δσp/σ'v**	**Δσf/Δσp**	**Δσf**	**H**
6.5	7.09 T/m²	2.14 T/m²	1.99 T/m²	92	0.28035374	0.12	0.23835675	0.119 m
6.5	7.09 T/m²	2.14 T/m²	1.99 T/m²	68	0.28035374	0.57	1.13219455	0.566 m

CONCLUSIONES

- Se pudo observar que efectivamente la altura del terraplén incide directamente en la magnitud de los asentamientos primarios significativamente. Siendo este problema más evidente aun en materiales orgánicos.

- En referencia al objetivo específico 1, se obtuvo tiempo de asentamiento de 123 años y 78 cm de magnitud, se concluye que debido al tipo de material arcillosos blandos que se encuentra en el subsuelo, hace que el proyecto sea inviable; sin embargo, era indispensable seguir analizando otras alternativas, porque los cálculos no cumplieron con los parámetros de asentamientos permisible.

- Al realizar el diseño del terraplén con geo bloques se consiguió la reducción del peso del terraplén junto con la aceleración del proceso de consolidación, obteniendo un asentamiento de 17 cm a un tiempo de 126 años lo q convierten a este proyecto, ejecutable.

- Al realizar el diseño del terraplén con geo bloques y drenes de arena, del asentamiento obtenido con geobloques que es de 17 cm consideramos un tiempo de 1 año para dicha consolidación, en este caso se analizó cada uno de los esfuerzos necesarios para que la consolidación se cumpla, adicionándole un valor de precarga y calculando su altura, cumpliendo con los parámetros permisibles de asentamiento de acuerdo a la norma NEC15.

RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar no como un gasto, sino más bien como una inversión la ejecución de estudios completos de suelo a fin de poder caracterizar de mejor forma los parámetros geotécnicos utilizados en el cálculo, ya sea de capacidad de capacidad de carga o asentamiento

- Es necesario también, instrumentar los proyectos (placas de asentamientos), es decir instalar los instrumentos de medición durante la construcción del terraplén para obtener valores reales de deformación y asentamientos por consolidación en forma directa. Para una investigación más completa, se recomienda el análisis geotécnico de cimentaciones sometidas a cargas sísmicas, incluido el modelado constitutivo de segundo orden y el análisis dinámico de la historia del suelo.

- El uso de geo materiales sintéticos (geo bloques), es más eficiente en el análisis de asentamientos en arcillas blandas a muy blandas, por tanto, su uso se debe considerar a pesar del costo del material, sin embargo, el beneficio que se obtiene se convierte en una inversión a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Abarca, J., & Landín, Á. (2023). *Comparación de estimaciones de asentamientos de un terraplén en el cantón Durán por diferentes métodos*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Aislapor. (2023). *Geobloques*.

Alarcón, J., Jiménez, M., Benítez, R., Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista Ingeniería de Construcción*, *35*(1), 5–20. https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005

ANIC. (2021, April 14). *Asentamientos: Un riesgo para las estructuras.* https://www.anic.com.mx/post/asentamientos-en-suelos

Carrillo, R., & Caro, E. (2018). *Diseño y aplicación de un modelo reducido de mechas drenantes modificadas y bandeja de retención de agua adaptada para acelerar la consolidación de suelos blandos* [Universidad Católica de Colombia]. https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1199/1de6.ACHcap1.pdf?sequence=2

Cimentada, A., & Da Costa, A. (2019). *Análisis experimental en modelo reducido de la consolidación radial y deformación de un suelo blando mejorado con columnas de grava* [Universidad de Cantabria]. https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1199/1de6.ACHcap1.pdf?sequence=2

Conarsac. (2023, March 1). *Terraplenes: qué materiales se emplean en su construcción* | *CONARSAC*. https://conarsac.com/blog/terraplenes/

Ecured. (2023). *Zonas del terraplén*. https://www.ecured.cu/Terrapl%C3%A9n

Enciclopedia Concepto. (n.d.). *Definición de Suelo*. Retrieved May 16, 2023, from https://concepto.de/suelo/

Franco, M. (2018). *Investigación Causal*. Universidad Nacional del Este.

Geopolymer Tech. (2023). *Estabilización de suelos | Soluciones de geopolímeros*. https://www.geopolymertech.com/es/estabilizacion-del-suelo/

Geosec. (2023). *Asentamiento del Terreno - Geosec*. https://www.geosec.es/mejora-de-terreno/asentamiento-del-terreno/

IDC. (2022). *Asentamientos en suelos*. https://ingeniero-de-caminos.com/asentamientos-en-suelos/

Inarquia. (2023). *El Asentamiento del Terreno en el Sector de la Construcción | Inarquia*. https://inarquia.es/asentamiento-terreno-sector-construccion/

Jácome-Macías, G. A., & Ortiz-Hernández, E. H. (2022). Estabilización de un suelo de subrasante de carretera con el sistema Consolid. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249.*, *5*(10 Ed. esp.), 2–13. https://doi.org/10.46296/IG.V5I10EDESPAG.0061

Lozada, J. (2019). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CIENCIAMÉRICA, N° 3*.

Montalvo, R. (2020). *CONSTRUCCION DE TERRAPLENES SOBRE CAPAS DE SUELOS BLANDOS*.

Ocampo, L., & Vélez, D. (2019). *Evaluación del método drenes verticales para el mejoramiento de un suelo arcilloso de baja compresibilidad aplicando precarga*. Universidad Pontificia Bolivariana.

Proroad Global. (2023). *Estabilización de suelos*. https://www.proroadglobal.com/estabilizacion-de-suelos/#:~:text=Los%20suelos%20id%C3%B3neos%20para%20la,para%20este%20tipo%20de%20soluci%C3%B3n

Quiroz, J. (2019). *Análisis del uso de geobloques*. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UEES_9c1b0a33e97768d4630fe276c82450ba

Revista Constructivo. (n.d.). *Mecanica de suelos en ingenieria civi*. Retrieved May 16, 2023, from https://constructivo.com/noticia/que-es-la-mecanica-de-suelos-en-ingenieria-civil-1659926617

Rivera, J., Aguirre, A., Mejía, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente. *Sena*. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530/3417

Rondón, J., & Torrado, L. (2022). *TIPO Y SECUENCIA DE LOS ASENTAMIENTOS*. https://www.ingeassas.com/diapositivas/asentamientos.pdf

Rosero, J. (2021). *ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL BLOQUE "G" DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR, EMPLEANDO EL SOFTWARE MIDAS GTS NX*. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20493/1/UPS%20-%20TTS384.pdf

Yepes, V. (2020a). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. *Colección Manual de Referencia*, *2ª edición*, 480. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/149852/TOC_0328_09_02.pdf?seque

Yepes, V. (2020b). *Drenes verticales como técnica de mejora de terrenos*. https://victoryepes.blogs.upv.es/2020/08/09/drenes-verticales-como-tecnica-de-mejora-de-terrenos/

ANEXOS

ANEXO II.

ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

A continuación, se muestran los datos obtenidos para la etapa del ensayo P-5 de consolidación M6, con una carga al final.

Figura 11.

Ensayo de Consolidación Prof. 5-6 m

INFORME #: EDVO-P3/C06 — FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforacion: P-5 — FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 16 de Enero de 2022

Muestra : M6

Tipo de Muestra: INALTERADA

Profundidad:		NORTE:	9767542.08
5.00 - 6.00		ESTE:	621178.13

CARGA (REGISTRO DE ENSAYO)

PERIODO	CARGA ESFUERZO 1.00 0.5 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 2.00 1.0 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 4.00 2.0 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 8.00 4 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 16.00 8 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 32.00 16 kg/cm²	
	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"
0	11:06:00	0.0000	11:08:00	0.0894	11:06:00	0.1503	11:06:00	0.2109	11:06:00	0.2814	11:06:00	0.3490
5 seg	11:06:05	0.0094	11:06:05	0.0953	11:06:05	0.1555	11:06:05	0.2156	11:06:05	0.2877	11:06:05	0.3548
15	11:06:15	0.0110	11:06:15	0.0962	11:06:15	0.1564	11:06:15	0.2166	11:06:15	0.2890	11:06:15	0.3560
30	11:06:30	0.0130	11:06:30	0.0972	11:06:30	0.1575	11:06:30	0.2183	11:06:30	0.2905	11:06:30	0.3582
45	11:06:45	0.0142	11:06:45	0.0981	11:06:45	0.1583	11:06:45	0.2194	11:06:45	0.2915	11:06:45	0.3598
1 minuto	11:07:00	0.0153	11:07:00	0.0987	11:07:00	0.1591	11:07:00	0.2199	11:07:00	0.2925	11:07:00	0.3578
1.5	11:07:30	0.0172	11:07:30	0.0999	11:07:30	0.1604	11:07:30	0.2220	11:07:30	0.2940	11:07:30	0.3592
2	11:08:00	0.0187	11:08:00	0.1008	11:08:00	0.1614	11:08:00	0.2230	11:08:00	0.2953	11:08:00	0.3606
3	11:09:00	0.0216	11:09:00	0.1025	11:09:00	0.1633	11:09:00	0.2255	11:09:00	0.2976	11:09:00	0.3627
5	11:11:00	0.0257	11:11:00	0.1050	11:11:00	0.1661	11:11:00	0.2290	11:11:00	0.3013	11:11:00	0.3661
7	11:13:00	0.0283	11:13:00	0.1065	11:13:00	0.1685	11:13:00	0.2319	11:13:00	0.3043	11:13:00	0.3685
10	11:16:00	0.0340	11:16:00	0.1114	11:16:00	0.1716	11:16:00	0.2357	11:16:00	0.3079	11:16:00	0.3731
15	11:21:00	0.0401	11:21:00	0.1155	11:21:00	0.1758	11:21:00	0.2408	11:21:00	0.3135	11:21:00	0.3776
20	11:26:00	0.0449	11:26:00	0.1192	11:26:00	0.1791	11:26:00	0.2449	11:26:00	0.3178	11:26:00	0.3814
30	11:36:00	0.0531	11:36:00	0.1243	11:36:00	0.1842	11:36:00	0.2514	11:36:00	0.3239	11:36:00	0.3867
45	11:51:00	0.0641	11:51:00	0.1287	11:51:00	0.1900	11:51:00	0.2581	11:51:00	0.3317	11:51:00	0.3930
1 hora	12:06:00	0.0710	12:06:00	0.1330	12:06:00	0.1943	12:06:00	0.2637	12:06:00	0.3382	12:06:00	0.3970
1.5 h	12:36:00	0.0775	12:36:00	0.1378	12:36:00	0.1986	12:36:00	0.2680	12:36:00	0.3391	12:36:00	0.4018
2 h	13:06:00	0.0809	13:06:00	0.1398	13:06:00	0.2013	13:06:00	0.2710	13:06:00	0.3417	13:06:00	0.4041
3 h	14:06:00	0.0842	14:06:00	0.1423	14:06:00	0.2040	14:06:00	0.2737	14:06:00	0.3444	14:06:00	0.4067
4 h	15:06:00	0.0855	15:06:00	0.1445	15:06:00	0.2063	15:06:00	0.2762	15:06:00	0.3455	15:06:00	0.4089
6 h	17:06:00	0.0870	17:06:00	0.1468	17:06:00	0.2083	17:06:00	0.2778	17:06:00	0.3464	17:06:00	0.4115
9 h	20:06:00	0.0885	20:06:00	0.1486	20:06:00	0.2091	20:06:00	0.2795	20:06:00	0.3480	20:06:00	0.4125
12 h	23:06:00	0.0888	23:06:00	0.1492	23:06:00	0.2098	23:06:00	0.2805	23:06:00	0.3489	23:06:00	0.4130
24 h	11:06:00	0.0894	11:06:00	0.1503	11:06:00	0.2109	11:06:00	0.2814	11:06:00	0.3490	11:06:00	0.4137

DESCARGA (REGISTRO DE ENSAYO)

PERIODO	CARGA ESFUERZO 16.00 8 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 8.00 4 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 4.00 2 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 2.00 1 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 1.00 0.5 kg/cm²	
	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"
0	9:45:00	0.4137	10:45:00	0.4067	12:15:00	0.3948	14:15:00	0.3803	17:00:00	0.3639
15 minuto	10:00:00	0.4078	11:00:00	0.3995	12:30:00	0.3883	14:30:00	0.3745	17:15:00	0.3598
30	10:15:00	0.4071	11:15:00	0.3972	12:45:00	0.3856	14:45:00	0.3719	17:30:00	0.3573
45	10:30:00	0.4068	11:30:00	0.3960	13:00:00	0.3840	15:00:00	0.3700	17:45:00	0.3551
1 hora	10:45:00	0.4067	11:45:00	0.3953	13:15:00	0.3827	15:15:00	0.3686	18:00:00	0.3533
1.15'			12:00:00	0.3949	13:30:00	0.3817	15:30:00	0.3674	18:15:00	0.3514
1.30'			12:15:00	0.3948	13:45:00	0.3810	15:45:00	0.3665	18:30:00	0.3502
1.45'					14:00:00	0.3804	16:00:00	0.3657	18:45:00	0.3490
2 hora					14:15:00	0.3803	16:15:00	0.3650	19:00:00	0.3480
2.15'							16:30:00	0.3644	19:15:00	0.3472
2.30'							16:45:00	0.3640	19:30:00	0.3466
2.45'							17:00:00	0.3639	19:45:00	0.3462
3 hora									20:00:00	0.3460

CALCULOS Y RESULTADOS

$\Delta\sigma$ = ◉ NORMALMENTE CONSOLIDADO

CONTENIDO DE HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO		DESPUES DEL ENSAYO	
W_h + anillo =	252.70 gr	W_h + recipiente =	75.87 gr
anillo =	177.96 gr	W_s + recipiente =	56.49 gr
W_h =	74.74 gr	recipiente =	19.21 gr
W_s =	37.28 gr	W_h =	56.66 gr
		Peso Agua W_w =	19.38 gr
P. Agua W_w =	37.46 gr	Peso seco W_s =	37.28 gr
$w = \frac{W_w}{W_s}$	100.48%	$w = \frac{W_w}{W_s}$	51.98%
γh=	1.5377	γh=	1.9657

GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)	2.55

RESULTADOS

Relación de vacios inicial	e_o =	2.3193
Presión vertical similar a la del sitio	σ_{vo} =	0.709 Kg/cm²
Presión de Preconsolidación	σ_{VM} =	0.709 Kg/cm²
Relación de vacios	e_{VM} =	1.7571
Presión efectiva final	σ_{vf} =	
Coeficiente de Compresibilidad	C_C =	0.77
Coef. - Descompresión	C_S =	0.18
$CR = Cc / (1+e_o)$		0.2309
$SR = Cs / (1+e_o)$		0.0540
Asentamiento	s=	
Asentamiento	Ss=	
Asentamiento	Total=	

INFORME #:	EDVO-P3/C06	**FECHA DE EMISION:**	24 de Enero de 2022
Perforacion:	P-5	**FECHA RECEPCION DE MUESTRA:**	16 de Enero de 2022
Muestra:	M6	**Profundidad:**	5.00 - 6.00
Tipo de Muestra:	INALTERADA	**COORD.** NORTE:	9767542.08
		ESTE:	621178.13

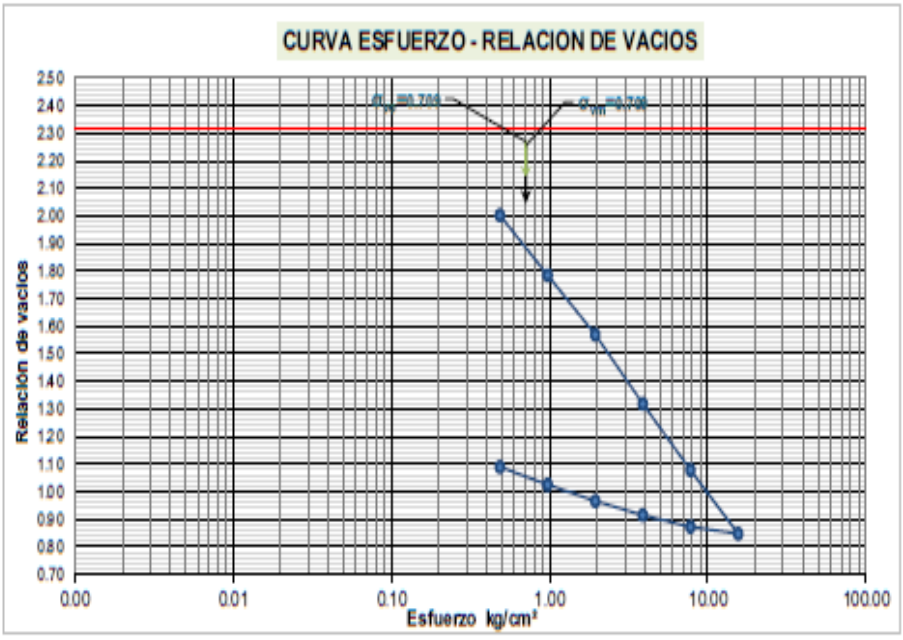
ENSAYO DE CONSOLIDACION (REGISTRO DE ENSAYO)

PESO ESPECÍFICO:		CÁLCULOS			
W_h =	74.74 gr	GRAVEDAD ESPECÍFICA =	2.55 gr/cm³	W_f =	51.98 %
W_s =	37.28 gr			V_t =	48.60 cm³
W_w =	37.46 gr	$V_S = \frac{W_S}{G_S} = \frac{37.28}{2.55}$	14.64 cm³	V_a =	14.64 cm³
V_w =	37.46 cm³			V_p =	33.96 cm³
A_0 =	20.51 cm²	HUMEDAD INICIAL W_i =	100.48 %	ALTURA =	2.37 cm

NOMENCLATURA		FORMULA	RESULTADO	
RELACIÓN DE VACIOS	e_0	V_p/V_s	2.31932	
SATURACION INICIAL	S	$(V_w/V_p)x100$	110.30 %	
ALTURA DEL SOLIDO	H_s	V_s/A_0	0.71 cm	0.28 pulg
ALTURA DE POROS	H_p	V_p/A_0	1.66 cm	0.65 pulg
ALTURA DE MUESTRA	H_T	H_s+H_p	2.37 cm	0.93 pulg

CARGA					
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Dh / H_s pulg / pulg	$e = e_0 - Dh / H_s$
1	1.00	0.488	0.0894	0.3180	2.0013
2	2.00	0.975	0.1503	0.5347	1.7846
3	4.00	1.950	0.2109	0.7503	1.5691
4	8.00	3.901	0.2814	1.0011	1.3183
5	16.00	7.802	0.3490	1.2415	1.0778
6	32.00	15.603	0.4137	1.4717	0.8476

DESCARGA					
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Dh / H_s pulg / pulg	$e = e_0 - Dh / H_s$
5	16.00	7.802	0.4067	1.4468	0.8725
4	8.00	3.901	0.3948	1.4045	0.9149
3	4.00	1.950	0.3803	1.3529	0.9664
2	2.00	0.975	0.3639	1.2945	1.0248
1	1.00	0.488	0.3460	1.2309	1.0885



INFORME #: EDVO-P3/C06

FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforacion: P-5

Muestra : M5

Tipo de Muestra: INALTERADA

FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 16 de Enero de 2022

Profundidad:	CODIGO:	NORTE:	9767542.08
5.00 - 6.00		ESTE:	621178.13

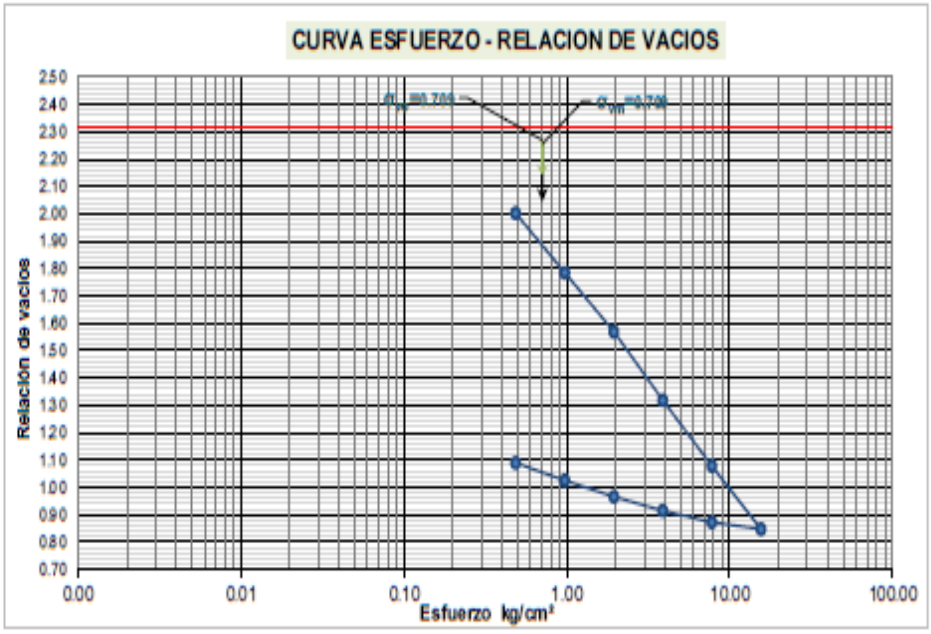
ENSAYO DE CONSOLIDACION (REGISTRO DE ENSAYO)

PESO ESPECÍFICO:		CÁLCULOS			
W_h =	74.74 gr	GRAVEDAD ESPECÍFICA =	2.55 gr/cm³	W_f =	51.98 %
W_s =	37.28 gr			V_t =	48.60 cm³
W_w =	37.46 gr	$V_S = \frac{W_S}{G_S} = \frac{37.28}{2.55}$	14.64 cm³	V_s =	14.64 cm³
V_w =	37.46 cm³			V_p =	33.96 cm³
A_0 =	20.51 cm²	HUMEDAD INICIAL W_i =	100.48 %	ALTURA =	2.37 cm

NOMENCLATURA		FORMULA	RESULTADO	
RELACIÓN DE VACIOS	e_o	V_p/V_s	2.31932	
SATURACION INICIAL	S	$(V_w/V_p)x100$	110.30 %	
ALTURA DEL SOLIDO	H_s	V_s/A_0	0.71 cm	0.28 pulg
ALTURA DE POROS	H_p	V_p/A_0	1.66 cm	0.65 pulg
ALTURA DE MUESTRA	H_T	H_s+H_p	2.37 cm	0.93 pulg

CARGA					
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Dh / H_s pulg / pulg	$e = e_o - Dh / H_s$
1	1.00	0.488	0.0894	0.3180	2.0013
2	2.00	0.975	0.1503	0.5347	1.7846
3	4.00	1.950	0.2109	0.7503	1.5691
4	8.00	3.901	0.2814	1.0011	1.3183
5	16.00	7.802	0.3490	1.2415	1.0778
6	32.00	15.603	0.4137	1.4717	0.8476

DESCARGA					
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Dh / H_s pulg / pulg	$e = e_o - Dh / H_s$
5	16.00	7.802	0.4067	1.4468	0.8725
4	8.00	3.901	0.3948	1.4045	0.9149
3	4.00	1.950	0.3803	1.3529	0.9664
2	2.00	0.975	0.3639	1.2945	1.0248
1	1.00	0.488	0.3460	1.2309	1.0885



INFORME #: EDVO-P3/C06

FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforación: P-5

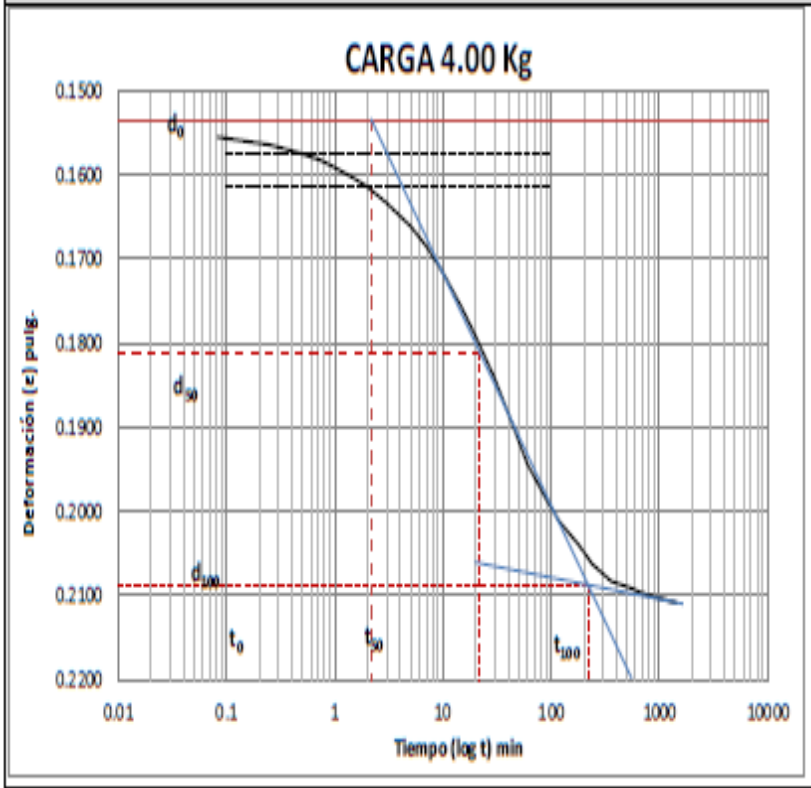
Muestra: M6

Tipo de Muestra: INALTERADA

FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 16 de Enero de 2022

Profundidad:		NORTE:	9767542.08
5.00 - 6.00	COORD.	ESTE	621178.13

GRAFICAS TIEMPO VS. DEFORMACIÓN



d_0 = 0.1536 pulg

d_{50} = 0.1812 pulg

d_{100} = 0.2088 pulg

t_0 = 4.09E-06 Años

t_{50} = 4.19E-05 Años

t_{100} = 4.15E-04 Años

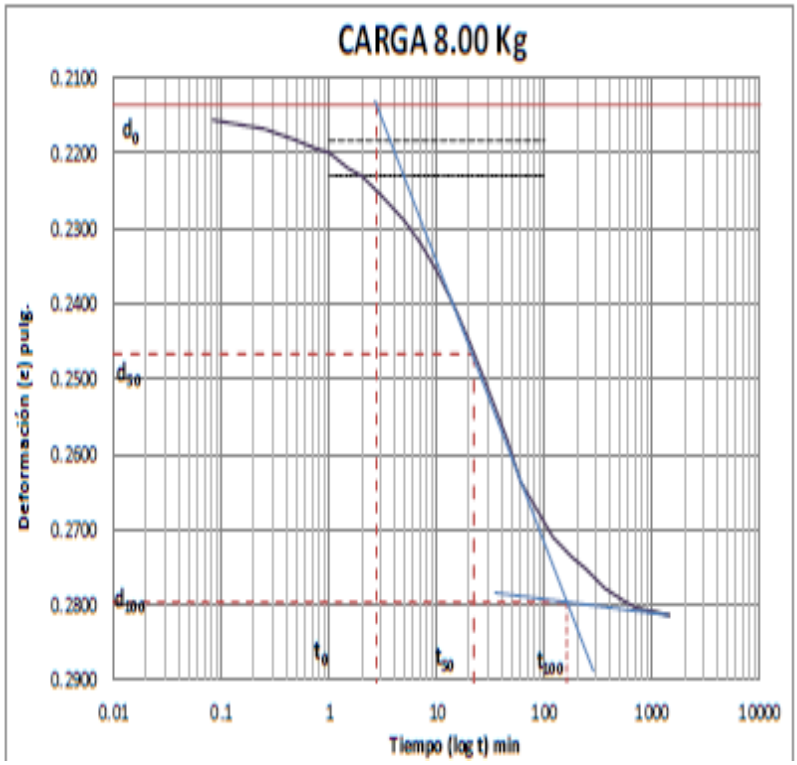
ep = 1.57646

C'q = 0.00505

Sp= 0.9113 cm

h_w = 0.0095 m

Cv = 0.43 m²/años



d_0 = 0.2136 pulg

d_{50} = 0.2467 pulg

d_{100} = 0.2797 pulg

t_0 = 5.23E-06 Años

t_{50} = 4.19E-05 Años

t_{100} = 3.07E-04 Años

ep = 1.32433

C'q = 0.00458

Sp= 0.8265 cm

h_w = 0.00872 m

Cv = 0.36 m²/años

INFORME #: EDVO-P3/C06

FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforacion: P-5

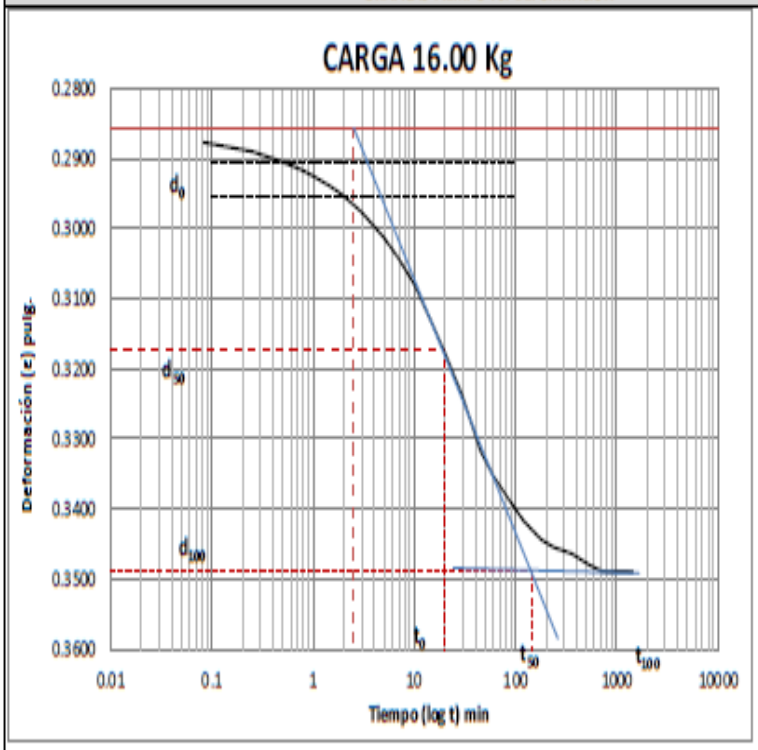
Muestra: M5

Tipo de Muestra: INALTERADA

FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 18 de Enero de 2022

Profundidad:		NORTE:	9767542.08
5.00 - 6.00		ESTE:	621178.13

GRAFICAS TIEMPO VS. DEFORMACIÓN

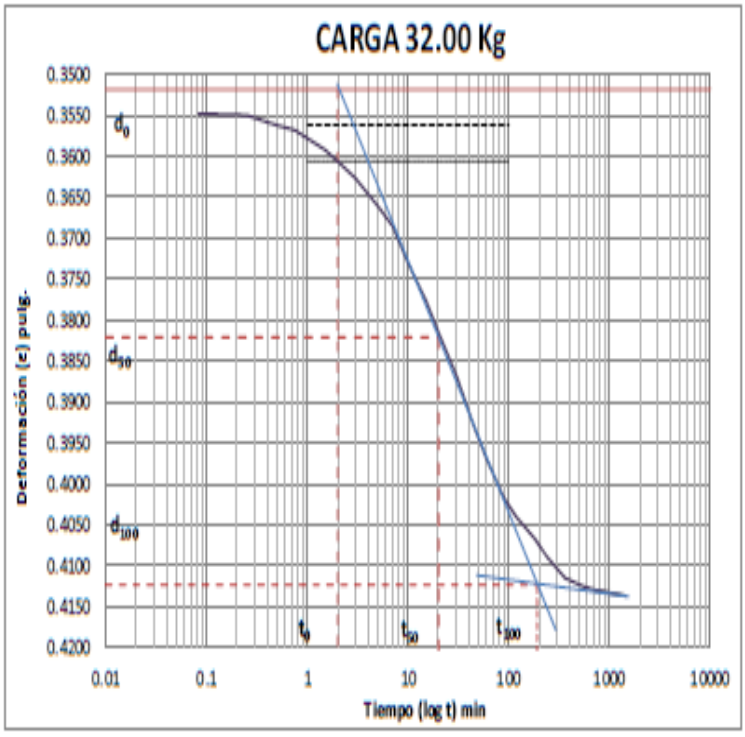


d_0 = 0.2857 pulg
d_{50} = 0.3173 pulg
d_{100} = 0.3488 pulg

t_0 = 4.76E-06 Años
t_{50} = 3.81E-05 Años
t_{100} = 2.73E-04 Años

ep = 1.07846
C'q = 0.00057
Ss= 0.1027 cm

h_{50} = 0.0078 m
Cv = 0.32 m²/años



d_0 = 0.3518 pulg
d_{50} = 0.3821 pulg
d_{100} = 0.4124 pulg

t_0 = 3.81E-06 Años
t_{50} = 3.81E-05 Años
t_{100} = 3.62E-04 Años

ep = 0.85234
C'q = 0.00447
Ss= 0.8066 cm

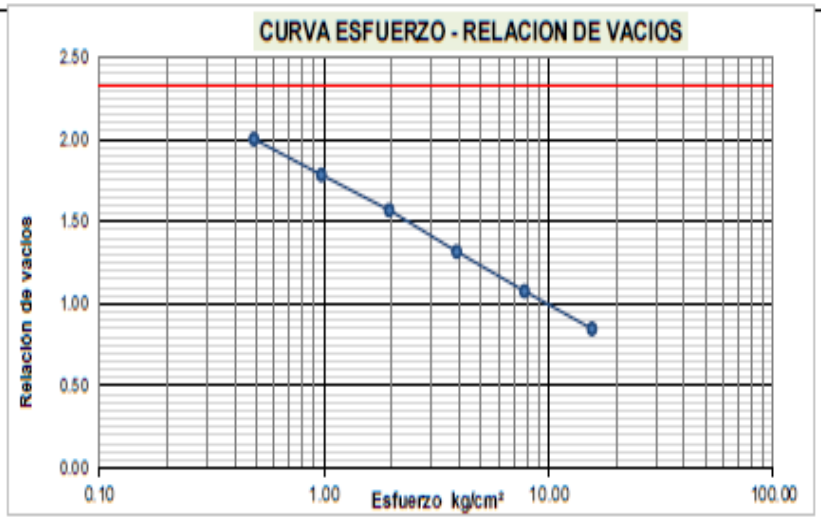
h_{50} = 0.007 m
Cv = 0.25 m²/años

DEL PARQUE HASTA REDONDEL AV. ISABEL LA CATÓLICA

INFORME #:	EDVO-P3/C06	**FECHA DE EMISION:**	24 de Enero de 2022
Perforacion:	P-5	**FECHA RECEPCION DE MUESTRA:**	16 de Enero de 2022
Muestra :	M6		
Tipo de Muestra:	INALTERADA		

Profundidad:	cota:	NORTE:	9767542.08
5.00 - 6.00		ESTE:	621178.13

CARGA				
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm^2 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Cv
1	1.00	0.488	0.0894	0.5949
2	2.00	0.975	0.1503	0.5007
3	4.00	1.950	0.2109	0.4291
4	8.00	3.901	0.2814	0.3576
5	16.00	7.802	0.3490	0.3166
6	32.00	15.603	0.4137	0.2535



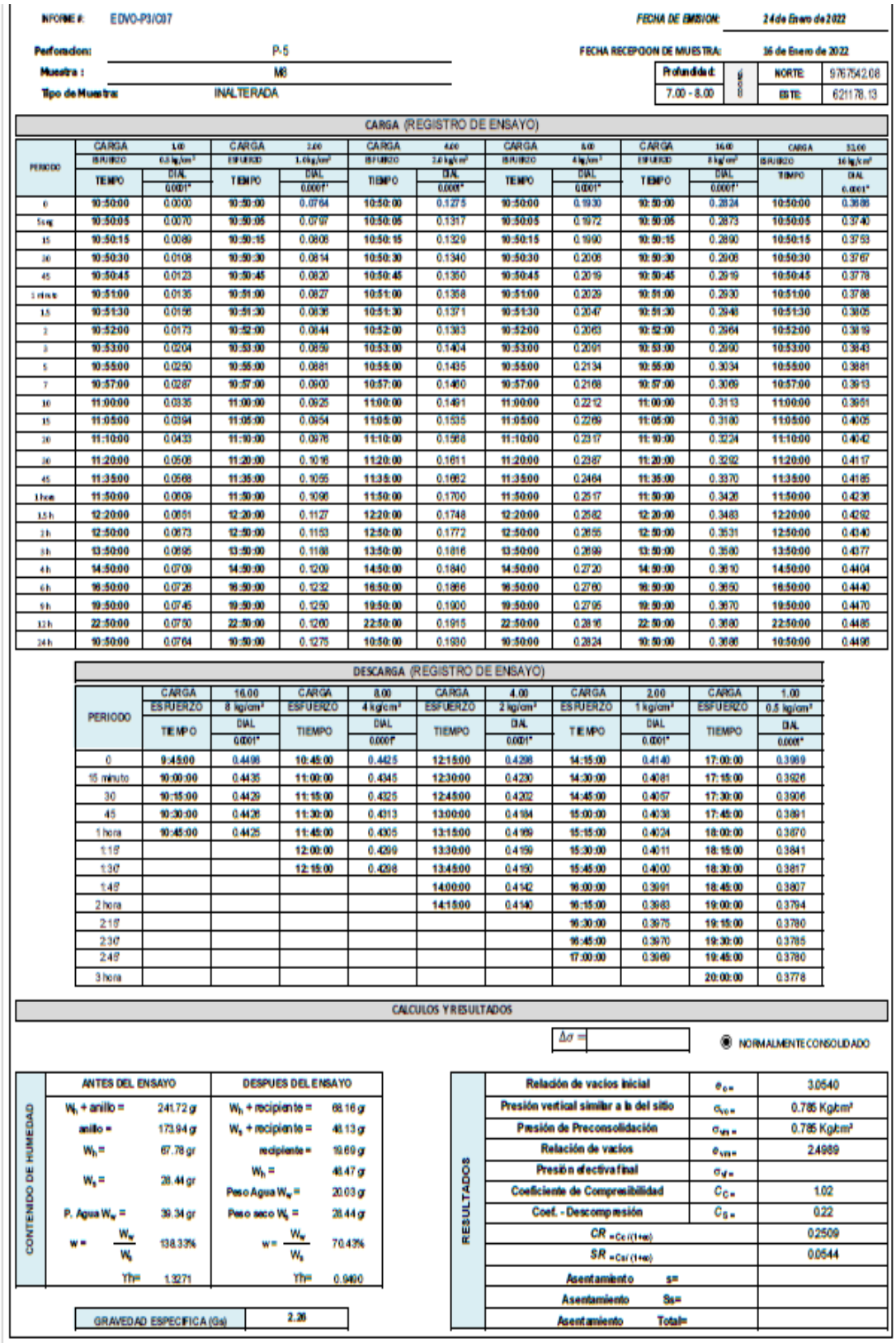
Datos	
t_{90}=	0.848
H=	3.00 m
CV=	

t_{90}	
	año
	meses

Nota. Elaboración Ing. Patricio Bochwald

Figura 12.

Ensayo de Consolidación Prof. 7-8 m



INFORME #: EDVO-P3/C07 — FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforacion: P-5 — FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 16 de Enero de 2022

Muestra : M8

Tipo de Muestra: INALTERADA

Profundidad:	NORTE:	9767542.08
7.00 - 8.00	ESTE:	621178.13

CARGA (REGISTRO DE ENSAYO)

PERIODO	CARGA ESFUERZO 0.5 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 1.0 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 2.0 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 4 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 8 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 16 kg/cm²	
	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"
0	10:50:00	0.0000	10:50:00	0.0764	10:50:00	0.1275	10:50:00	0.1930	10:50:00	0.2824	10:50:00	0.3686
5 seg	10:50:05	0.0070	10:50:05	0.0797	10:50:05	0.1317	10:50:05	0.1972	10:50:05	0.2873	10:50:05	0.3740
15	10:50:15	0.0089	10:50:15	0.0808	10:50:15	0.1329	10:50:15	0.1990	10:50:15	0.2890	10:50:15	0.3753
30	10:50:30	0.0108	10:50:30	0.0814	10:50:30	0.1340	10:50:30	0.2008	10:50:30	0.2908	10:50:30	0.3767
45	10:50:45	0.0123	10:50:45	0.0820	10:50:45	0.1350	10:50:45	0.2019	10:50:45	0.2919	10:50:45	0.3778
1 minuto	10:51:00	0.0135	10:51:00	0.0827	10:51:00	0.1358	10:51:00	0.2029	10:51:00	0.2930	10:51:00	0.3788
1.5	10:51:30	0.0156	10:51:30	0.0838	10:51:30	0.1371	10:51:30	0.2047	10:51:30	0.2948	10:51:30	0.3805
2	10:52:00	0.0173	10:52:00	0.0844	10:52:00	0.1383	10:52:00	0.2063	10:52:00	0.2964	10:52:00	0.3819
3	10:53:00	0.0204	10:53:00	0.0859	10:53:00	0.1404	10:53:00	0.2091	10:53:00	0.2990	10:53:00	0.3843
5	10:55:00	0.0250	10:55:00	0.0881	10:55:00	0.1435	10:55:00	0.2134	10:55:00	0.3034	10:55:00	0.3881
7	10:57:00	0.0287	10:57:00	0.0900	10:57:00	0.1460	10:57:00	0.2168	10:57:00	0.3069	10:57:00	0.3913
10	11:00:00	0.0335	11:00:00	0.0925	11:00:00	0.1491	11:00:00	0.2212	11:00:00	0.3113	11:00:00	0.3951
15	11:05:00	0.0394	11:05:00	0.0954	11:05:00	0.1535	11:05:00	0.2269	11:05:00	0.3180	11:05:00	0.4005
20	11:10:00	0.0433	11:10:00	0.0978	11:10:00	0.1568	11:10:00	0.2317	11:10:00	0.3224	11:10:00	0.4042
30	11:20:00	0.0508	11:20:00	0.1016	11:20:00	0.1611	11:20:00	0.2387	11:20:00	0.3292	11:20:00	0.4117
45	11:35:00	0.0568	11:35:00	0.1055	11:35:00	0.1662	11:35:00	0.2464	11:35:00	0.3370	11:35:00	0.4185
1 hora	11:50:00	0.0609	11:50:00	0.1096	11:50:00	0.1700	11:50:00	0.2517	11:50:00	0.3426	11:50:00	0.4230
1.5 h	12:20:00	0.0651	12:20:00	0.1127	12:20:00	0.1748	12:20:00	0.2582	12:20:00	0.3483	12:20:00	0.4292
2 h	12:50:00	0.0673	12:50:00	0.1153	12:50:00	0.1772	12:50:00	0.2655	12:50:00	0.3531	12:50:00	0.4340
3 h	13:50:00	0.0695	13:50:00	0.1188	13:50:00	0.1816	13:50:00	0.2699	13:50:00	0.3580	13:50:00	0.4377
4 h	14:50:00	0.0709	14:50:00	0.1209	14:50:00	0.1840	14:50:00	0.2720	14:50:00	0.3610	14:50:00	0.4404
6 h	16:50:00	0.0726	16:50:00	0.1232	16:50:00	0.1866	16:50:00	0.2760	16:50:00	0.3650	16:50:00	0.4440
9 h	19:50:00	0.0745	19:50:00	0.1250	19:50:00	0.1900	19:50:00	0.2795	19:50:00	0.3670	19:50:00	0.4470
12 h	22:50:00	0.0750	22:50:00	0.1260	22:50:00	0.1915	22:50:00	0.2816	22:50:00	0.3680	22:50:00	0.4485
24 h	10:50:00	0.0764	10:50:00	0.1275	10:50:00	0.1930	10:50:00	0.2824	10:50:00	0.3686	10:50:00	0.4498

DESCARGA (REGISTRO DE ENSAYO)

PERIODO	CARGA ESFUERZO 16.00 8 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 8.00 4 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 4.00 2 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 2.00 1 kg/cm²		CARGA ESFUERZO 1.00 0.5 kg/cm²	
	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"	TIEMPO	DIAL 0.0001"
0	9:45:00	0.4496	10:45:00	0.4425	12:15:00	0.4298	14:15:00	0.4140	17:00:00	0.3989
15 minuto	10:00:00	0.4435	11:00:00	0.4345	12:30:00	0.4220	14:30:00	0.4081	17:15:00	0.3926
30	10:15:00	0.4429	11:15:00	0.4325	12:45:00	0.4202	14:45:00	0.4057	17:30:00	0.3906
45	10:30:00	0.4426	11:30:00	0.4313	13:00:00	0.4184	15:00:00	0.4038	17:45:00	0.3891
1 hora	10:45:00	0.4425	11:45:00	0.4305	13:15:00	0.4169	15:15:00	0.4024	18:00:00	0.3870
1.15			12:00:00	0.4299	13:30:00	0.4159	15:30:00	0.4011	18:15:00	0.3841
1.30			12:15:00	0.4298	13:45:00	0.4150	15:45:00	0.4000	18:30:00	0.3817
1.45					14:00:00	0.4142	16:00:00	0.3991	18:45:00	0.3807
2 hora					14:15:00	0.4140	16:15:00	0.3983	19:00:00	0.3794
2.15							16:30:00	0.3975	19:15:00	0.3780
2.30							16:45:00	0.3970	19:30:00	0.3785
2.45							17:00:00	0.3969	19:45:00	0.3780
3 hora									20:00:00	0.3778

CALCULOS Y RESULTADOS

$\Delta\sigma$ =

NORMALMENTE CONSOLIDADO

CONTENIDO DE HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO		DESPUES DEL ENSAYO	
W_h + anillo =	241.72 gr	W_h + recipiente =	88.16 gr
anillo =	173.94 gr	W_s + recipiente =	48.13 gr
W_h =	67.78 gr	recipiente =	19.69 gr
W_s =	28.44 gr	W_h =	48.47 gr
		Peso Agua W_w =	20.03 gr
P. Agua W_w =	39.34 gr	Peso seco W_s =	28.44 gr
$w = \frac{W_w}{W_s}$	138.33%	$w = \frac{W_w}{W_s}$	70.43%
γh=	1.3271	γh=	0.9490

GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)	2.26

RESULTADOS

Relación de vacios inicial	e_o =	3.0540
Presión vertical similar a la del sitio	σ_{vo} =	0.785 Kg/cm²
Presión de Preconsolidación	σ_{vm} =	0.785 Kg/cm²
Relación de vacios	e_{vm} =	2.4989
Presión efectiva final	σ_{vf} =	
Coeficiente de Compresibilidad	C_c =	1.02
Coef. - Descompresión	C_s =	0.22
$CR = Cc/(1+e_o)$		0.2509
$SR = Cs/(1+e_o)$		0.0544
Asentamiento s=		
Asentamiento Ss=		
Asentamiento Total=		

INFORME #:	EDVO-P3/C07	**FECHA DE EMISION:**	24 de Enero de 2022
Perforacion:	P-5	**FECHA RECEPCION DE MUESTRA:**	16 de Enero de 2022
Muestra:	M8		
Tipo de Muestra:	INALTERADA		

Profundidad:		NORTE:	9767542.08
7.00 - 8.00	coordenadas	ESTE:	621178.13

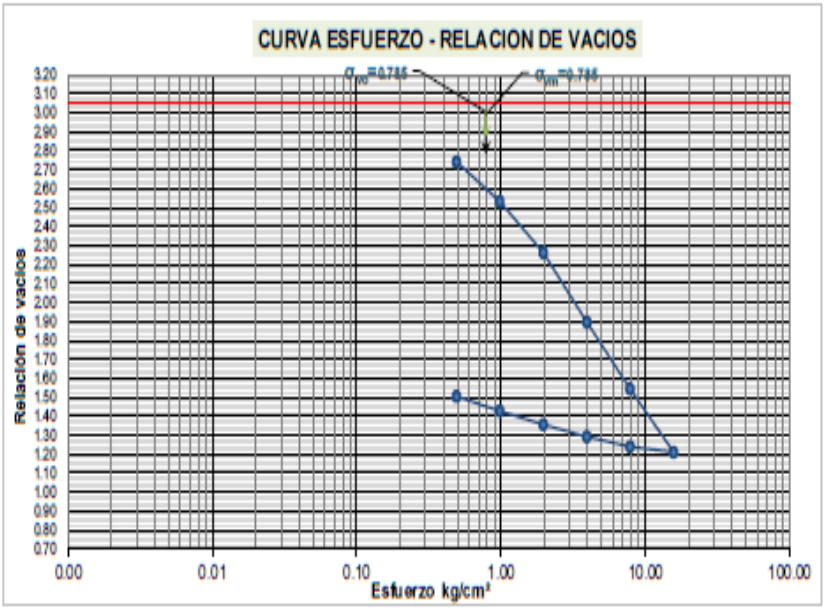
ENSAYO DE CONSOLIDACION (REGISTRO DE ENSAYO)

PESO ESPECÍFICO:		CÁLCULOS			
W_h =	67.78 gr	GRAVEDAD ESPECÍFICA =	2.26 gr/cm³	W_f =	70.43 %
W_s =	28.44 gr			V_t =	51.07 cm³
W_w =	39.34 gr	$V_S = \frac{W_S}{G_S} = \frac{28.44}{2.26}$	12.60 cm³	V_a =	12.60 cm³
V_w =	39.34 cm³			V_p =	38.48 cm³
A_0 =	20.35 cm²	HUMEDAD INICIAL W_i =	138.33 %	ALTURA =	2.51 cm

NOMENCLATURA		FORMULA	RESULTADO	
RELACIÓN DE VACIOS	e_o	V_p/V_s	3.05398	
SATURACION INICIAL	S	$(V_w/V_p)x100$	102.25 %	
ALTURA DEL SÓLIDO	H_s	V_s/A_0	0.62 cm	0.24 pulg
ALTURA DE POROS	H_p	V_p/A_0	1.89 cm	0.74 pulg
ALTURA DE MUESTRA	H_T	H_s+H_p	2.51 cm	0.99 pulg

CARGA					
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Dh / H_s pulg / pulg	$e = e_o - Dh / H_s$
1	1.00	0.491	0.0764	0.3134	2.7406
2	2.00	0.983	0.1275	0.5231	2.5309
3	4.00	1.966	0.1930	0.7918	2.2622
4	8.00	3.932	0.2824	1.1585	1.8955
5	16.00	7.863	0.3686	1.5122	1.5418
6	32.00	15.726	0.4496	1.8445	1.2095

DESCARGA					
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Dh / H_s pulg / pulg	$e = e_o - Dh / H_s$
5	16.00	7.863	0.4425	1.8153	1.2387
4	8.00	3.932	0.4298	1.7632	1.2908
3	4.00	1.966	0.4140	1.6984	1.3556
2	2.00	0.983	0.3969	1.6283	1.4257
1	1.00	0.491	0.3778	1.5499	1.5041



INFORME #: EDVO-P3/C07

FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforacion: P-5

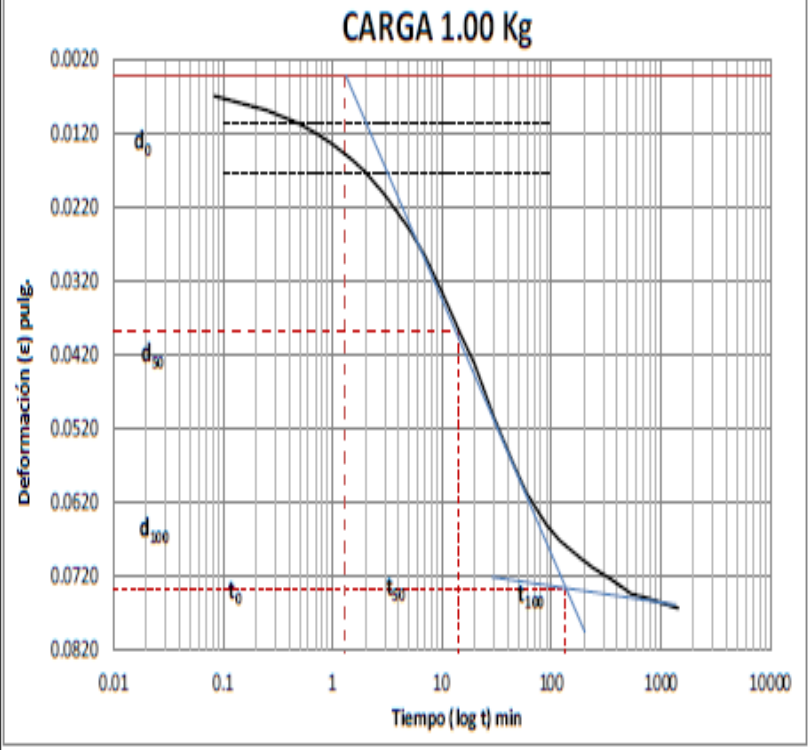
Muestra: M8

Tipo de Muestra: INALTERADA

FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 16 de Enero de 2022

Profundidad:		NORTE:	9767542.08
7.00 - 8.00	COORDS.	ESTE:	621178.13

GRAFICAS TIEMPO VS. DEFORMACIÓN

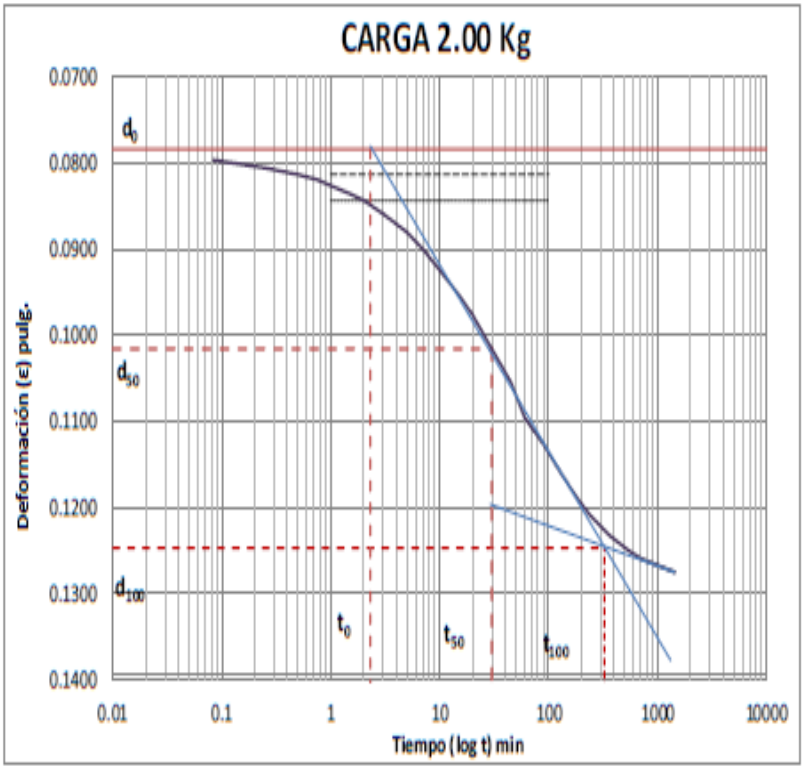


d_0 = 0.0043 pulg
d_{50} = 0.0390 pulg
d_{100} = 0.0737 pulg

t_0 = 2.47E-06 Años
t_{50} = 2.66E-05 Años
t_{100} = 2.57E-04 Años

ep = 2.75150
C'α = 0.00509
Ss= 0.9186 cm

h_{50} = 0.0121 m
Cv = 1.07 m²/años



d_0 = 0.0784 pulg
d_{50} = 0.1016 pulg
d_{100} = 0.1247 pulg

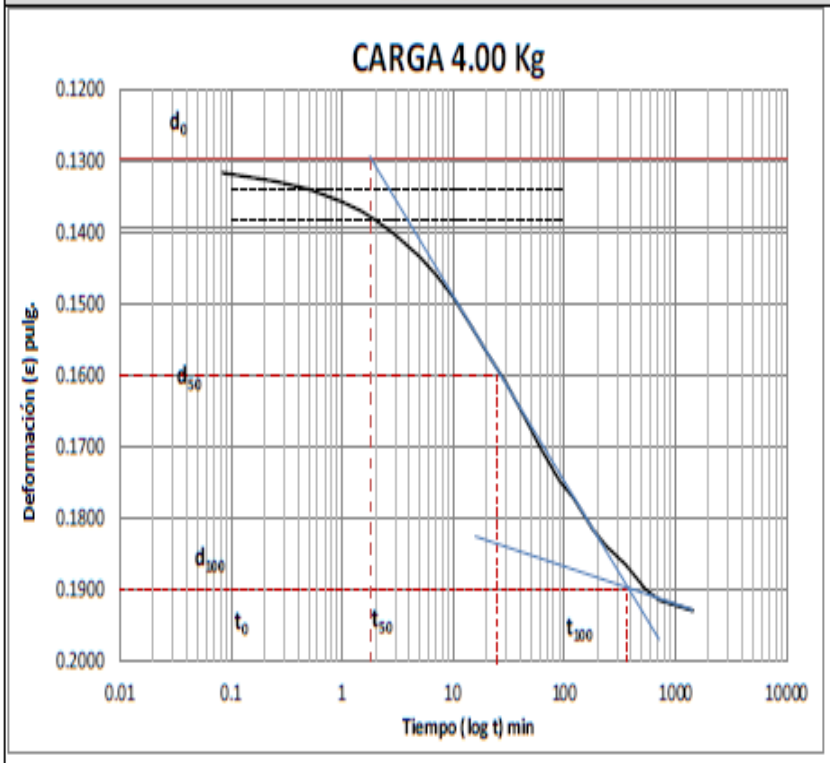
t_0 = 4.38E-06 Años
t_{50} = 5.71E-05 Años
t_{100} = 6.17E-04 Años

ep = 2.54244
C'α = 0.00577
Ss= 1.0423 cm

h_{50} = 0.0113 m
Cv = 0.44 m²/años

INFORME #:	EDVO-P3/C07	**FECHA DE EMISION:**	24 de Enero de 2022		
Perforacion:	P-5	**FECHA RECEPCION DE MUESTRA:**	16 de Enero de 2022		
Muestra :	M8	**Profundidad:**	COORD.	**NORTE:**	9767542.08
Tipo de Muestra:	INALTERADA	7.00 - 8.00		**ESTE:**	621178.13

GRAFICAS TIEMPO VS. DEFORMACIÓN

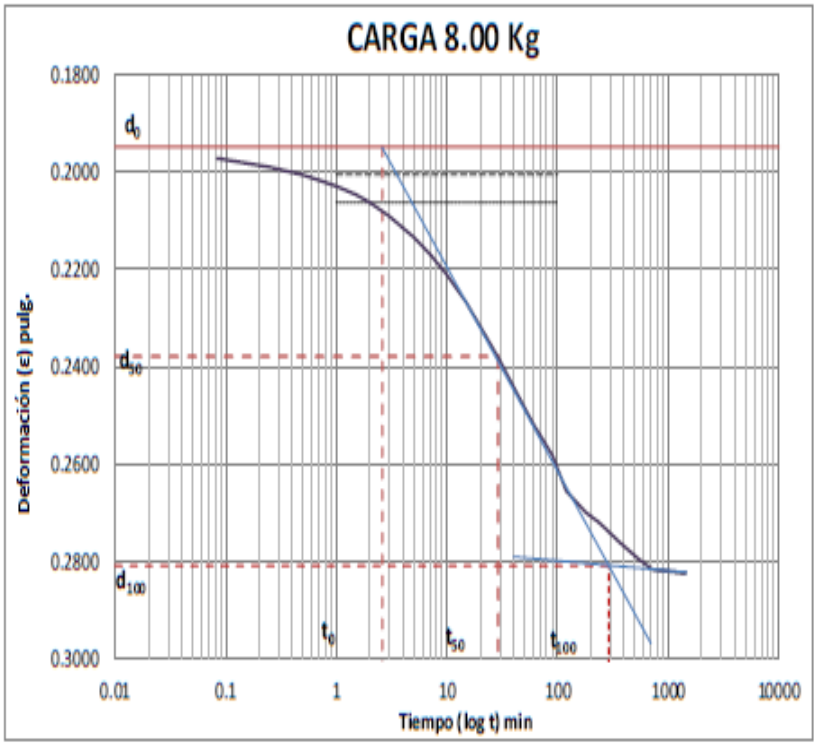


d_0 = 0.1297 pulg
d_{50} = 0.1599 pulg
d_{100} = 0.1902 pulg

t_0 = 3.42E-06 Años
t_{50} = 4.76E-05 Años
t_{100} = 7.04E-04 Años

ep = 2.27375
C'α = 0.00624
Ss= 1.1278 cm

h_{50} = 0.0105 m
Cv = 0.46 m²/años



d_0 = 0.1949 pulg
d_{50} = 0.2379 pulg
d_{100} = 0.2809 pulg

t_0 = 4.95E-06 Años
t_{50} = 5.52E-05 Años
t_{100} = 5.50E-04 Años

ep = 1.90161
C'α = 0.00376
Ss= 0.6786 cm

h_{50} = 0.00953 m
Cv = 0.32 m²/años

INFORME #: EDVO-P3/C07

FECHA DE EMISION: 24 de Enero de 2022

Perforacion: P-5

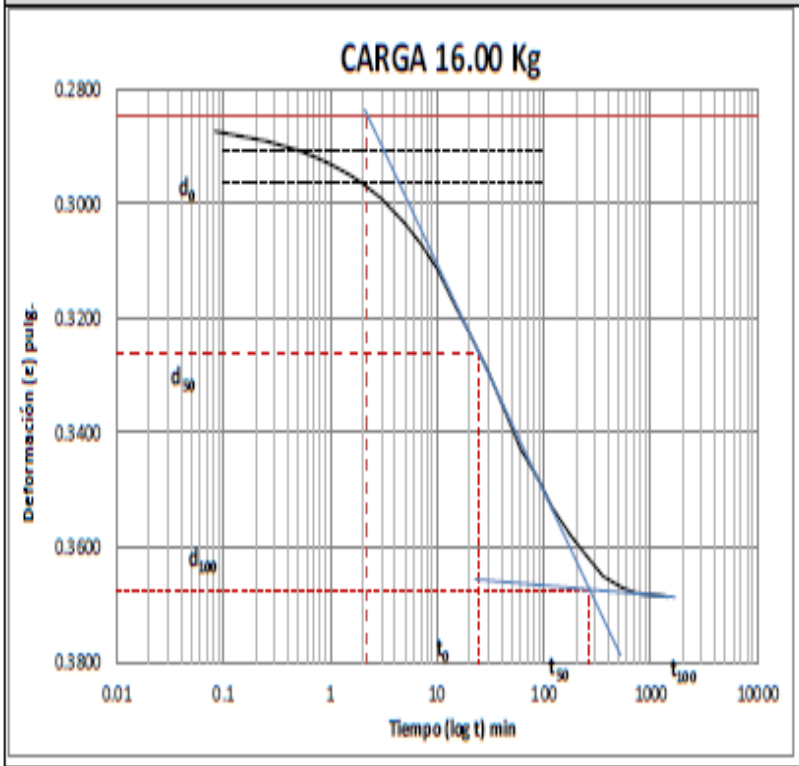
Muestra : M8

Tipo de Muestra: INALTERADA

FECHA RECEPCION DE MUESTRA: 16 de Enero de 2022

Profundidad:		NORTE:	9767542.08
7.00 - 8.00		ESTE	621178.13

GRAFICAS TIEMPO VS. DEFORMACIÓN

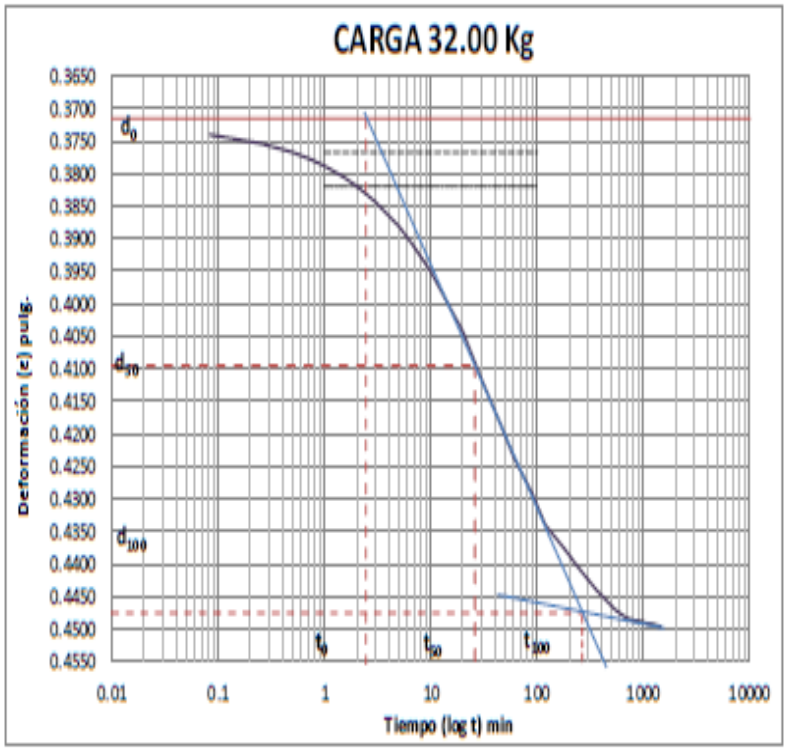


d_0 = 0.2848 pulg
d_{50} = 0.3261 pulg
d_{100} = 0.3675 pulg

t_0 = 4.19E-06 Años
t_{50} = 4.76E-05 Años
t_{100} = 5.01E-04 Años

ep = 1.54646
C'q = 0.00321
Ss= 0.5800 cm

h_{50} = 0.0084 m
Cv = 0.29 m²/años



d_0 = 0.3715 pulg
d_{50} = 0.4095 pulg
d_{100} = 0.4475 pulg

t_0 = 4.66E-06 Años
t_{50} = 4.95E-05 Años
t_{100} = 5.05E-04 Años

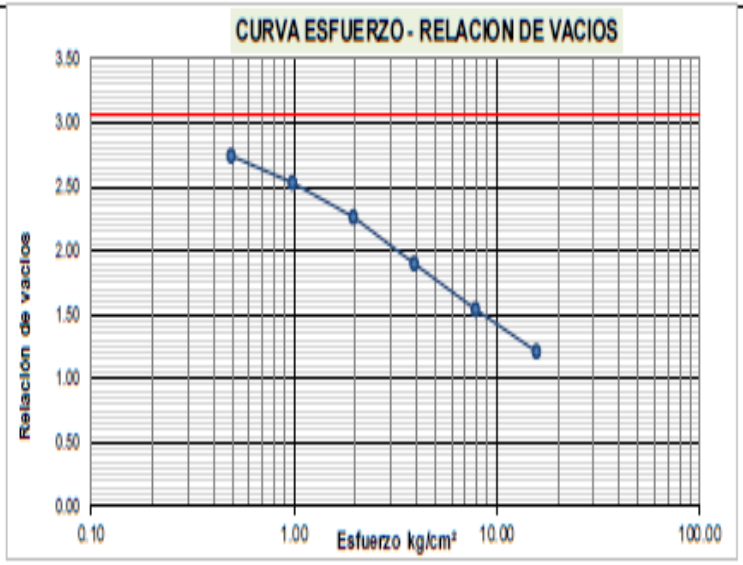
ep = 1.21802
C'q = 0.00676
Ss= 1.2207 cm

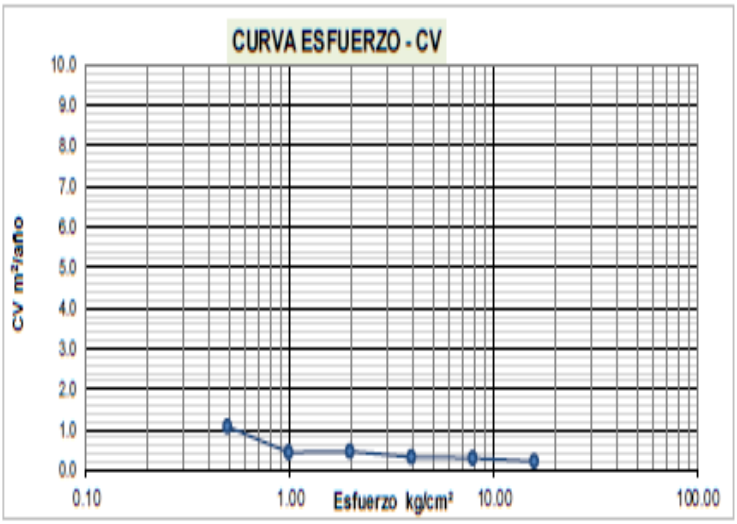
h_{50} = 0.00735 m
Cv = 0.22 m²/años

INFORME #:	EDVO-P3/C07	FECHA DE EMISION:	24 de Enero de 2022
Perforacion:	P-5	FECHA RECEPCION DE MUESTRA:	16 de Enero de 2022
Muestra :	M8		
Tipo de Muestra:	INALTERADA		

Profundidad:	COORDS.	NORTE:	9767542.08
7.00 - 8.00		ESTE:	621178.13

CARGA				
CICLO No.	CARGA Kg	PRESIÓN K / cm² 1:10	LECTURA DE DIAL Dh	Cv
1	1.00	0.491	0.0764	1.0747
2	2.00	0.983	0.1275	0.4376
3	4.00	1.966	0.1930	0.4583
4	8.00	3.932	0.2824	0.3242
5	16.00	7.863	0.3686	0.2928
6	32.00	15.726	0.4496	0.2151





Datos	
T_{90}=	0.848
H=	3.00 m
CV=	

t_{90}	
	año
	meses

Nota. Elaboración Ing. Patricio Bochwald

HOJA DE PERFIL ESTRATIGRÁFICA

Informe Nº:	EDVO-P5	Perforacion #:	P5	Fecha de Emision:	18 de Enero de 2022	Simbología	
Nivel Freático:	3.00 m	Cota:		Profundidad (m):	12.00	Wp= Limite Plástico	IP= Índice Plástico
Inicio de Perforacion:	16 de Enero de 2022	Coordenadas: Norte:	9767542.08	Equipo:	Martillo de Seguridad Cuerda y Polea	Wl= Limite Líquido	IL= Índice de Liquidez
Fin de Perforacion:	16 de Enero de 2022	Este:	821178.13				

Arcilla · Arena · Limo · Grava · Relleno

PROF. (m)	NIVEL FREATICO	MUESTRA #	MUESTRA PROF.	SPT			N	GRAFICA N DE SPT (0 20 40 60 80 100)	DESCRIPCIÓN	ESTRATIGRAFIA	SUCS	W %	Wl %	Wp %	IP %	ÍNDICES GR	ÍNDICES IL	GRANULOMETRÍA # 4 %	GRANULOMETRÍA # 40%	GRANULOMETRÍA # 200%	GRANULOMETRÍA D_{60}	GRANULOMETRÍA Limo	GRANULOMETRÍA Arcilla	VALORES ESTIMADO POR EL SPT / COMPRESION SIMPLE γ Ton/m³	VALORES ESTIMADO POR EL SPT / COMPRESION SIMPLE q_u Kg/cm²	VALORES ESTIMADO POR EL SPT / COMPRESION SIMPLE ε %	ENSAYO TORVANE kg/cm²	EXPANSION PROBABLE Ton/m²	CORRECCION DEL SPT N_{60}	CORRECCION DEL SPT $(N_1)_{60}$	CLASIFICACION NEC DE ACUERDO AL NUMERO DE GOLPES N DEL SPT	VALORES ESTIMADO POR EL SPT θ °	VALORES ESTIMADO POR SPT / COMPRESION SIMPLE C Kg/cm²
			0.00 - 0.12	ASFALTO					ASFALTO																									
1.0		1	0.12 - 1.00	32	32	43	75		GRAVA LIMOSA CON PRESENCIA DE ARENA, HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD MUY DENSA		GM	12.54	54	30	24	-1.73	-0.73	59.81	29.33	19.21				1.97				3.39	56	89	C		
2.0		2	1.00 - 2.00	14	28	32	60		GRAVA LIMOSA CON PRESENCIA DE ARENA, HUMEDAD BAJA DE COMPACIDAD MUY DENSA		GM	14.10	53	33	20	-1.9	-0.9	48.00	26.77	17.02				1.95				3.18	45	62	C		
3.0		3	2.00 - 3.00	12	8	14	22		ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO, HUMEDAD MEDIA DE CONSISTENCIA MUY COMPACTA		CH	35.81	86	32	54	-0.9	0.1	100	100	98.98				1.76				3.53	17		D		
4.0		4	3.00 - 4.00	TUBO SHELBY					ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO DE CONSISTENCIA MUY BLANDA A BLANDA		CH	78.90	120	42	78	-0.53	0.47	100	100	99.81				1.54	0.47	7.64		2.24			E		
5.0		5	4.00 - 5.00	TUBO SHELBY							CH	97.19	93	39	54	0.08	1.08	100	100	99.64				1.43	0.20	8.43		0.78			E		
6.0		6	5.00 - 6.00	TUBO SHELBY							CH	93.18	87	38	49	0.13	1.13	100	100	97.10				1.45	0.10	9.94		0.77			E		
7.0		7	6.00 - 7.00	TUBO SHELBY							CH	93.72	108	43	65	-0.22	0.78	100	100	93.45				1.45	0.16	9.16		1.17			E		
8.0		8	7.00 - 8.00	TUBO SHELBY					ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO CON PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA DE CONSISTENCIA MUY BLANDA		CH	153.10	219	73	146	-0.45	0.55	100	100	88.99				1.31	0.14	9.69		2.39			E		
9.0		9	8.00 - 9.00	TUBO SHELBY							CH	115.61	114	43	71	0.02	1.02	100.0	100.0	93.92				1.47	0.26	10.28		0.74			E		
10.0		10	9.00 - 10.00	TUBO SHELBY					ARCILLA COLOR GRIS VERDOSA CON PRESENCIA DE ARENA FINA, DE CONSITENCIA MEDIANAMENTE COMPACTA		CH	99.45	80	29	51	0.38	1.38	96.72	89.91	87.98				1.73	0.93	8.01		0.56			D		
11.0		11	10.00 - 11.00	28	44	50	94		LUTITA CONSOLIDADA, DE CONSISTENCIA DURA		CH	51.32	98	40	58	-0.80	0.20	100	97.61	96.87				1.97				2.98	94		C		
12.0		12	11.00 - 12.00	35	50		50				CH	25.23	72	34	38	-1.23	-0.23	71.35	32.3	28.22				1.97				3.50	RECHAZO		C		
13.0																																	
14.0																																	
15.0																																	
16.0																																	
17.0																																	
18.0																																	

Gráfico — H · IP · WL (0 20 40 60 80 100 120)

Nota. Elaboración Ing. Patricio Bochwald