

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**UNIVERSIDAD PERUANA
DEL CENTRO**



UPeCEN

Tesis:

**“ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS
ORGÁNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLÉN
ENTRE LOS KM. 90+000 – 95+000 DE LA CARRETERA
CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS”**

Para obtener el título profesional de

INGENIERO CIVIL

Presentado por el bachiller:

CARDENAS BONILLA, Javier Clementino

Asesores:

Dr. José Luis León Untiveros

Ing. Raúl Curasma Ramos

HUANCAYO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO
(EX UMBRA IN SOLEM)
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN N° 0011-FI-EPIC-UPECEN-2024

Huancayo, 15 de julio de 2024

VISTO:

El Informe de opinión **FAVORABLE** emitido por el Ing. Raúl Curasma Ramos en su condición de Asesor Temático, y del Dr. José Luis León Untiveros en su condición de Asesor Metodológico, del Trabajo de Investigación, tipo Tesis, titulado **“ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACION DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 – 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS”**, desarrollado por don **JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**.

CONSIDERANDO:

1. Que, don **JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**, con código de matrícula N° 2014100116 y DNI 19848068; perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería - UPeCEN, está desarrollando las actividades académicas necesarias al proceso de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil, Modalidad Sustentación de Tesis.
2. En uso a las atribuciones que el Reglamento de la Facultad de Ingeniería y el Estatuto de la Universidad Peruana Del Centro le confiere al Decano de la Facultad de Ingeniería.

SE DICTAMINA:

1. Declarar **EXPEDITO** a don **JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA** para la sustentación del Trabajo de Investigación, tipo Tesis, titulada **“ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACION DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 – 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS”**.
2. Designar al Dr. José Luis León Untiveros, Dra. Emilia Untiveros Peñaloza de León y al Ing. Raúl Curasma Ramos como integrantes del Jurado Evaluador.
3. Designar la fecha, hora y modalidad para la sustentación del Trabajo de Investigación en mención, de acuerdo a lo siguiente:

Fecha : 21 de julio de 2024

Hora : 09:30 p.m.

Modalidad: Sustentación Virtual

Regístrese, comuníquese, publíquese y archívese



Dr. José Luis León Untiveros
UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO

JOSÉ LUIS LEÓN UNTIVEROS
DNI: 20071012



UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO
(EX UMBRA IN SOLEM)
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancayo, siendo las 09:45 p.m. del día 21 de julio de 2024, en el Aula Virtual uu3zoey de la plataforma Classroom (Google Meet), dominio de la Universidad Peruana del Centro – UPeCEN, estando presentes y conectados los Miembros del Jurado Evaluador conformado por:

Presidente	: Dra. Emilia Untiveros Peñaloza de León
Secretario	: Dr. José Luis León Untiveros
Vocal	: Ing. Raúl Curasma Ramos

Con la lectura de la RESOLUCIÓN DECANAL N° 010-2024/FI-UPeCEN de fecha 19 de julio de 2024, leída por el Secretario Docente, se procedió a la sustentación de la Tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGÁNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 – 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS”**, presentada por el señor **JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**, identificado con Código de matrícula 2014100116 y DNI 19848068.

Concluida la Sustentación y luego de la correspondiente deliberación del Jurado Evaluador, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR MAYORÍA

Siendo las 11:00 p.m. se dio por concluido el Acto de Sustentación Virtual, haciendo conocer el resultado obtenido al interesado, procediéndose conforme lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos, así como lo previsto por el Protocolo para la Sustentación Virtual Temporal y Excepcional para la obtención de Grados y Títulos, remitiéndose la documentación en la forma prevista a las áreas correspondientes según protocolo.

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE

PRESIDENTE
DRA. EMILIA UNTIVEROS PEÑALOZA

SECRETARIO
DR. JOSÉ LUIS LEÓN UNTIVEROS

VOCAL
ING. RAÚL CURASMA RAMOS

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



Tesis:

**ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGÁNICOS PARA LA
CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLÉN ENTRE LOS KM. 90+000 – 95+000 DE LA
CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

Para obtener el título profesional de

Ingeniero Civil

Presentado por el bachiller:

JAVIER CLEMENTINO CÁRDENAS BONILLA

Asesor: Dr. Ing. José Luis León Untiveros,

Ing. Raúl Curasma Ramos

Huancayo

2024

MIEMBROS DEL JURADO

Dra. Emilia Untiveros Peñaloza De León

PRESIDENTE

Dr. José Luis León Untiveros

SECRETARIO

Ing. Raúl Curasma Ramos

VOCAL

ASESORES DE TESIS

Dr. José Luís León Untiveros
ASESOR METODOLÓGICO

Ing. Raúl Curasma Ramos
ASESOR TEMÁTICO

DEDICATORIA

A mis santos padres, Clemente y Juana, hermanos, a mi familia y todos los amigos que me motivaron y dieron todo su apoyo, así como a los ingenieros que me brindaron sus experiencias y conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, a Dios por cada día de vida, y darme la oportunidad de seguir y cumplir mis metas.

A mi asesor Dr. Ing. José Luis León Untiveros, por la predisposición de su tiempo para la orientación en el desarrollo de la presente investigación.

Agradezco a mis padres que desde el cielo me dieron fuerza, su aliento y a mis hermanos que siempre me apoyaron para cumplir con mis sueños.

A todos los ingenieros que me brindaron sus conocimientos y experiencias, así como en la recolección de datos, evaluaciones en campo y motivaciones para alcanzar este objetivo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACION	ii
CONTRAPORTADA	iv
HOJA DE JURADOS	v
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
resumen	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	4
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	4
1.3 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	5
1.4 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	5
1.5 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	6

1.6 OBJETIVOS	6
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.7 HIPÓTESIS	7
1.7.1 HIPÓTESIS GENERAL	7
1.7.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	7
 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	 9
2.1 MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL	10
2.2.2 A NIVEL LOCAL.....	11
2.3 BASES TEÓRICAS.....	13
2.3.1 CONSOLIDACIÓN DE SUELOS.....	13
2.3.2 TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.....	15
2.3.3 VARIABLES DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....	16
2.3.4 PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL	18
2.3.5 CÁLCULO DEL ASENTAMIENTO ÚLTIMO	24
2.3.6 MÉTODO NUMERICO CON ELEMENTOS FINITOS	26
2.3.7 MODELACIÓN CON ELEMENTOS FINITOS.....	26
2.3.8 VALIDACIÓN DEL MODELO	28
2.3.9 CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO.....	30
2.3.10 RESULTADOS NUMÉRICOS.....	32
2.3.11 PEDRAPLÉN	32
 CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	 35

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	35
3.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO	35
3.3 TAMAÑO DE MUESTRA	36
3.4 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TEMA	37
4.1. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	37
4.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	38
4.3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	39
4.4. EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS	41
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	91
5.1 ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADO	91
5.2 PRUEBAS DE HIPÓTESIS	97
5.2.1 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL	97
5.2.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.....	97
5.2.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.....	100
5.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	103
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Calicatas excavadas en la zona de construcción del pedraplén	42
Tabla 2	Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos	43
Tabla 3	Parámetros físicos del suelo de fundación del pedraplén	44
Tabla 4	Angulo de fricción y cohesión de las calicatas aperturadas en la zona de construcción del pedraplén y terraplén	45
Tabla 5	Esfuerzos generados con la construcción de la primera capa del pedraplén	47
Tabla 6	Esfuerzos generados en el suelo de fundación con la construcción de la segunda capa del pedraplén	48
Tabla 7	Esfuerzos generados en el suelo de fundación con la construcción de la zona de transición entre el pedraplén y terraplén.....	49
Tabla 8	Esfuerzos generados en el suelo de fundación por la construcción de la primera capa del terraplén	50
Tabla 9	Esfuerzos generados en el suelo de fundación generados por la construcción de la segunda capa del terraplén	51
Tabla 10	Esfuerzos generados en el suelo de fundación por la construcción de la tercera capa del terraplén	52
Tabla 11	Esfuerzos generados en el suelo de fundación por la conformación de la Sub base, Base y carpeta asfáltica.....	53
Tabla 12	Variación de f_1 con m' y n'	56
Tabla 13	Variación de f_2 con m' y n'	57
Tabla 14	Variación de i_f con d_f/B , b/l y u	57
Tabla 15	Modulo de deformación de suelos (E_s)	58
Tabla 16	Cálculo del asentamiento instantáneo calicata N° 01	59
Tabla 17	Cálculo de Asentamiento instantáneo calicata N° 02	59
Tabla 18	Cálculo del Asentamiento Instantaneo Calicata N° 03	60
Tabla 19	Cálculo del Asentamiento Instantáneo Calicata N° 04	61
Tabla 20	Cálculo del Asentamiento por Consolidación primaria Calicata N° 01	66
Tabla 21	Cálculo del Asentamiento por Consolidación Primaria Calicata N° 02	67
Tabla 22	Cálculo del Asentamiento por Consolidación Primaria Calicata N° 03	67

Tabla 23	Cálculo del Asentamiento por Consolidación Primaria Calicata N° 04	68
Tabla 24	Cálculo del Asentamiento por Consolidación Secundaria Calicata N° 01	69
Tabla 25	Cálculo del Asentamiento por Consolidación Secundaria Calicata N° 02	69
Tabla 26	Cálculo del Asentamiento por CONSOLIDACIÓN Secundaria Calicata N° 03	70
Tabla 27	Cálculo del Asentamiento por Consolidación Secundaria Calicata N° 04	70
Tabla 28	Resumen del Asentamiento total Calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04.....	71
Tabla 29	Parámetros Geotécnico de los materiales utilizados en el software Phase 2d	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Gráfico del proceso de consolidación primaria y secundaria.....	14
Figura 2	Asentamiento en función del tiempo debido a una carga aplicada	15
Figura 3	Consolidómetro utilizado en el procesamiento de las muestras de campo	19
Figura 4	Curva de deformación vs logaritmo del tiempo	20
Figura 5	Relación de vacíos vs Esfuerzo vertical efectivo (semilogaritmo) a) Resultados de la prueba de consolidación b) Idealización	21
Figura 6	Procedimientos gráficos para determinar el coeficiente de consolidación: a) Método de la raíz cuadrada del tiempo b) Método de logaritmo de tiempo	24
Figura 7	Simulación del Pedraplén y terraplén mediante el software Phase 2d.....	27
Figura 8	Geometría de la estructura compuesta por el pedraplén y terraplén sobre suelos blandos	29
Figura 9	Datos geotécnicos de entrada del software Phase 2d (Rocsience)	30
Figura 10	Discretización y formación de la malla de elementos finitos con el software Phase 2d.....	31
Figura 11	Simulación del asentamiento a partir del método con elementos finitos	32
Figura 12	Conformación del pedraplén en el Km. 94+700 de la carretera Canta - Huayllay donde predominan suelos blandos	34
Figura 13	Ubicación de la zona de estudio	37
Figura 14	Morfología que presenta la zona de construcción del pedraplén caracterizado por presentar superficies onduladas donde se han desarrollado suelos de origen palustre.	38
Figura 15	Vista de los depósitos de origen lacustre, conformado por arcillas limosas de mediana a alta plasticidad saturados por la presencia de agua subterránea.....	40
Figura 16	Vista de la extracción de muestras inalteradas para la realización de ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos.	42
Figura 17	Variables necesarias para el cálculo de incremento de esfuerzos debajo de un terraplén	46
Figura 18	Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la primera capa del pedraplén.....	47

Figura 19	Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la segunda capa del pedraplén	48
Figura 20	Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la transición entre el pedraplén y terraplén	49
Figura 21	Representación Gráfico de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la primera capa del terraplén	50
Figura 22	Representación Gráfico de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la segunda capa del terraplén.....	51
Figura 23	Representación Gráfico de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la tercera capa del terraplén.....	52
Figura 24	Representación Gráfico de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la estructura del pavimento.....	53
Figura 25	Representación del asentamiento elástico de cimentaciones rígidas y flexibles	55
Figura 26	Representación del asentamiento instantáneo de las calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04.....	62
Figura 27	Representación del asentamiento por consolidación primaria	63
Figura 28	Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de la calicata N° 01	64
Figura 29	Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de la calicata N° 02	65
Figura 30	Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de la calicata N° 03	65
Figura 31	Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional obtenida de la calicata N° 04	66
Figura 32	Resumen del asentamiento por consolidación primaria de las calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04	68
Figura 33	Resumen del asentamiento por consolidación secundaria de las calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04.....	70
Figura 34	Resumen del asentamiento total de las calicatas N° 01, 02, 03, 04	71

Figura 35 Modelo geotécnico para la determinación del comportamiento de los suelos que conforman la zona de cimentación	73
Figura 36 Geometría del modelo geotécnico que será analizado por elementos finitos ..	74
Figura 37 Proceso constructivo de conformación de la estructura del pedraplén y terraplén	75
Figura 38 Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la primera capa del pedraplén de 1.80 m de altura	77
Figura 39 Esfuerzos generados a diferentes profundidades generados por la construcción de la segunda capa del pedraplén de 3.60 m de altura	78
Figura 40 Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la capa de transición entre el pedraplén y el terraplén	79
Figura 41 Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la primera capa del terraplén.....	80
Figura 42 Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la segunda capa del terraplén.....	81
Figura 43 Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la construcción de la tercera capa del terraplén	82
Figura 44 Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la Sub Base, Base y carpeta asfáltica.	83
Figura 45 Deformaciones totales del suelo de fundación con la conformación de la primera capa del pedraplén de 1.80 m. de altura.....	84
Figura 46 Deformaciones totales del suelo de fundación con la conformación de la segunda capa del pedraplén	85
Figura 47 Deformaciones en el suelo de fundación provocados por la conformación de la capa de transición entre el pedraplén y terraplén.....	86
Figura 48 Deformaciones del suelo de fundación provocado por la construcción de la primera capa del terraplén.....	87
Figura 49 Deformaciones totales en el suelo de fundación por la conformación de la segunda capa del terraplén.....	88
Figura 50 Deformaciones del suelo de fundación provocado por la conformación de la tercera capa del terraplén	89

Figura 51	Deformaciones totales en el suelo de fundación ocasionado por la conformación de la estructura del pavimento (Sub Base, Base y carpeta asfáltica).....	90
Figura 52	Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la primera capa del pedraplén	92
Figura 53	Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de las dos capas del pedraplén	92
Figura 54	Comparación del esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la zona de transición entre el pedraplén y terraplén.....	93
Figura 55	Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la primera capa del terraplén.....	93
Figura 56	Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la segunda capa del terraplén	94
Figura 57	Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la tercera capa del terraplén	94
Figura 58	Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la Sub Base, Base y carpeta asfáltica	95
Figura 59	Monitoreo topográfico de los asentamientos provocados por la construcción del pedraplén, terraplén, Sub Base, Base y carpeta asfáltica.....	96
Figura 60	Áreas bajo la curva normal para la prueba de hipótesis 1	99
Figura 61	Zona de aceptación y rechazo para la prueba de hipótesis 1	100
Figura 62	Áreas bajo la curva normal para la prueba de hipótesis 2	102
Figura 63	Zona de aceptación y de rechazo para la prueba de hipótesis 2.....	103
Figura 64	comparación de los asentamientos totales obtenidos mediante análisis numérico, elementos finitos y Monitoreo topográfico.....	105
Figura 65	Resultados de la curva esfuerzo - deformación en las diferentes etapas (stages) de la conformación de la estructura del pedraplén y terraplén	105
Figura 66	Equipos de consolidación unidimensional utilizado en la obtención de la curva de compresibilidad.....	112
Figura 67	Equipos que conforman el laboratorio de la empresa GEOLABP INGENIEROS EIRL.....	113

Figura 68 Realización de los ensayos para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas.....	114
Figura 69 Vista de la realización del contenido de humedad	115
Figura 70: Vista de la conformación del pedraplén en la zona de elaboración de la tesis Km. 93+100 Carretera Canta - Huayllay	116
Figura 71: Vista de la conformación del pedraplén en la zona que comprende el área donde se ha elaborado la presente tesis Km. 93+100 Carretera Canta - Huayllay	117
Figura 72: Vista de la conformación de la zona de transición y terraplén en la zona de elaboración de la tesis Km. 93+600 Carretera Canta - Huayllay.....	118
Figura 73: Vista de la conformación de la zona de transición de entre el pedraplén y terraplén con materiales seleccionados en la progresiva Km. 94+200 Carretera Canta - Huayllay.....	119
Figura 74: Vista del proceso constructivo de colocación del geotextil para la conformación de la zona de transición de la estructura del terraplén en la vía Canta - Huayllay	120
Figura 75: Vista del proceso constructivo de conformación de la Base del pavimento en la via Canta - Huayllay	121

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 PANEL FOTOGRÁFICO.....	111
Anexo 2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	122

RESUMEN

Los suelos finos cohesivos han significado todo un reto para la geotecnia, ya que presentan características y propiedades físicas y mecánicas variadas y complejas, con respecto a otros tipos de suelos, como los suelos friccionantes. Sus principales inconvenientes radican en su baja resistencia al corte y su alta compresibilidad. además, combinado con la presencia de agua ocasiona grandes deformaciones o asentamientos en periodos de tiempo, originando procesos de consolidación primaria y secundaria que se producen en los suelos finos plásticos, los cuales pueden ocasionar afectaciones a las estructuras proyectadas como la construcción de pedraplenes y terraplenes.

La presente tesis tiene el objetivo principal de realizar un análisis sobre su comportamiento de consolidación de los suelos finos compresibles para las diferentes etapas de construcción de una estructura compuesta por un pedraplén y terraplén, mediante un análisis por el Método de Elementos Finitos (MEF) y contrastarlo con el método analítico de consolidación unidimensional basado en la teórica de Terzaghi y el monitoreo topográfico sobre el terraplén construido entre los Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

En la elaboración de la presente tesis se utilizó el modelo geotécnico de Mhor Coulomb que esta implementado en el software Phase 2D (Rocscience). Los datos utilizados son basados en las verificaciones de campo y resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos. Además, explicamos y describimos los procedimientos para realizar un adecuado análisis numérico y el modelo geotécnico sobre esfuerzos generados y asentamientos de suelos arcillosos compresibles.

ABSTRACT

Fine cohesive soils have been a challenge for geotechnics, since they present varied and complex physical and mechanical characteristics and properties, compared to other types of soils, such as frictional soils. Its main drawbacks lie in its low shear resistance and high compressibility. Furthermore, combined with the presence of water, it causes large deformations or settlements over periods of time, caused by primary and secondary consolidation processes that occur in fine plastic soils, which can cause damage to the planned structures such as the construction of causeways. and embankments.

The main objective of this thesis is to carry out an analysis of the consolidation behavior of fine compressible soils for the different stages of construction of a structure composed of a causeway and embankment, through an analysis by the Finite Element Method (FEM) and contrast it with the analytical method of one-dimensional consolidation based on Terzaghi's theory and field topographic monitoring of an embankment built between Km. 90+000 - 95+000 of the Canta - Huayllay highway, which presents a predominance of compressible soils that extend along the road.

For the clay, the Mohr Coulomb constitutive model was used, which is implemented in the Phase 2D software (Rocscience). The data used is based on field data and the results of soil mechanics laboratory tests and correlations from different authors. In addition, we explain and describe the procedures to carry out an adequate numerical analysis and the geotechnical model on settlements of compressible clay materials.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Como en todas partes del mundo incluyendo al Perú, un problema general en la ingeniería de la mecánica de suelos son las pérdidas económicas y materiales asociados a la deformación y asentamiento de los suelos, especialmente cuando se trata de suelos arcillosos orgánicos compresibles, generando enormes impactos negativos en el ámbito económico y social, esto debido a los daños que se puedan generar en la infraestructura vial e incluso el colapsamiento de la vía.

En la carretera Canta – Huayllay se han presentado varios daños durante el proceso constructivo; estos daños incluyen asentamientos, ondulamientos, ahuellamientos y hasta colapsos en tramos próximos al centro poblado de Canta donde hay edificaciones con importantes pérdidas económicas para sus propietarios y para las instituciones encargadas de realizar el mejoramiento de la vía e instituciones públicas. En su mayoría estos problemas están directamente relacionados con la falta de predicción sobre el comportamiento del suelo o de la relación suelo - estructura. Así indicamos que, los daños relacionados con el comportamiento del suelo blando se deben principalmente a excesivos asentamientos diferenciales y totales, así como la presencia de suelos orgánicos altamente compresibles y niveles de agua subterránea.

En la actualidad existen métodos para controlar las deformaciones y asentamientos en suelos blandos, donde el tipo de tratamiento como: uso de geosintéticos, pedraplenes, terraplenes, estabilización de suelos está relacionada a los costos de ejecución de cada

alternativa debido a que utilizan materiales distintos y equipos especiales para los tratamientos a emplear; por tanto, todo ello conlleva a analizar el comportamiento de los suelos frente a la aplicación de cargas para dar solución a estos problemas. Y optimizar los procesos de tratamiento mediante la predicción del comportamiento de los suelos, haciendo uso de herramientas informáticas como programas (Praxis, Phase 2d).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Se podría analizar la consolidación de suelos orgánicos para la construcción de pedraplenes entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, mediante la aplicación de elementos finitos?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo es la deformación de los suelos orgánicos que se produce en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, mediante elementos finitos?
- ¿Cómo es la distribución de los esfuerzos en los suelos orgánicos para la construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 - 95+000, de la carretera Canta – Huayllay, mediante elementos finitos?
- ¿Cómo se correlacionan las deformaciones con los esfuerzos producidos en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 - 95+000, de la carretera Canta – Huayllay, mediante elementos finitos?

- ¿Cómo influyen los parámetros geotécnicos de los suelos orgánicos en la construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 - 95+000, de la carretera Canta – Huayllay mediante elementos finitos?

1.3 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El presente Proyecto de investigación propone analizar el proceso de consolidación a nivel de la subrasante de las estructuras durante las fases de construcción del pedraplén, este caso es exclusivamente para la construcción de la vía entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000, para tal efecto se requiere conocer y predecir el comportamiento de los suelos compresibles frente a la aplicación de cargas externas como es el peso del pedraplén y las cargas ejercidas por el tráfico vehicular, en consecuencia, lo que se busca es realizar un estudio detallado sobre los factores que influyen para determinar el comportamiento de los suelos orgánicos y evitar daños a la vía y sectores adyacentes.

1.4 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El criterio de conocer el comportamiento de los suelos orgánicos en trabajos de construcción de pedraplenes se basa también en el aspecto económico ya que en dicha propuesta se consideran varios factores Así que, optimicen los costos de construcción, asimismo es imprescindible resaltar que, al realizar la construcción de pedraplenes sin un previo conocimiento de las condiciones de los suelos podría generar agrietamientos ya sentamientos excesivos en la vía, por tal motivo es fundamental indicar que la buena elección de estos elementos generara un resultado favorable a la economía.

1.5 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En la ejecución del proyecto de construcción de la carretera Canta – Huayllay, se ha encontrado zonas inestables tales como: zonas bajas saturadas, zonas inundables, suelos compresibles, nivel freático, etc., éstas se han mejorado eliminado parte del material inestable y restituyéndolo con la conformación de un pedraplén y terraplén de espesor variable. Que cumpla con la función de romper la capilaridad y de disipar los esfuerzos generados por el tránsito sobre el terreno natural, por lo que consideramos muy importante en poder predecir el comportamiento de los suelos compresibles, mediante el uso de softwares y resultados de laboratorio de mecánica de suelos.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la consolidación de suelos orgánicos para la construcción de pedraplenes entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, mediante la aplicación de elementos finitos.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular la deformación de los suelos orgánicos en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, mediante elementos finitos.

- Determinar los esfuerzos que se producen en los suelos orgánicos para la construcción del pedraplén, entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, mediante elementos finitos.
- Analizar la relación entre las deformaciones y los esfuerzos generados en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, mediante elementos finitos - Pasco.
- Determinar la influencia de los parámetros geotécnicos de los suelos orgánicos en la construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay utilizando elementos finitos - Pasco.

1.7 HIPÓTESIS

1.7.1 HIPÓTESIS GENERAL

Con la aplicación de elementos finitos se puede predecir la consolidación de suelos orgánicos para la construcción de pedraplenes entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

1.7.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Mediante Elementos finitos, se puede analizar la deformación durante en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

- Mediante elementos finitos se puede analizar los esfuerzos producidos en los suelos orgánicos para la construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, cuyas coordenadas son: 348999.38 E / 8780596.51N 349027.64 E/ 8780659.14N y una altitud promedio de 4550 m.s.n.m
- Mediante la aplicación de elementos finitos, se puede analizar la relación entre las deformaciones y esfuerzos en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, cuyas coordenadas son: 348999.38 E / 8780596.51N 349027.64 E/ 8780659.14N y una altitud promedio de 4550 m.s.n.m
- Mediante elementos finitos se podrá analizar la influencia de los parámetros geotécnicos de los suelos orgánicos en la construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – Km. 95+000 de la Carretera Canta – Huayllay, cuyas coordenadas son: 348999.38 E / 8780596.51N 349027.64 E/ 8780659.14N y una altitud promedio de 4550 m.s.n.m

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

En el Perú desde hace algunos años se ha venido utilizando el Método de los Elementos Finitos (**MEF**¹), para conocer el comportamiento de los materiales sólidos, y de complejas formas y expuestos a diferentes sollicitaciones de cargas. Este método viene siendo aplicado a un gran número de problemas de la ingeniería (Oñate y Botello, 1995), reduciéndose cada vez más la incertidumbre del saber el comportamiento de distintas formas y distribuciones de materiales (Suelo, roca, etc). A través del cual se pueden analizar las variables más significativas de los procesos que se quieren estudiar, así como poder cuantificar la interacción con los diferentes mecanismos.

Estos análisis permiten disminuir el número de ensayos de laboratorio; lo que conduce a disminuir los costos y tiempos de los proyectos relacionados a la ingeniería.

Por otro lado, dentro del campo de la geotecnia, es frecuente que el ingeniero se vea obligado a usar las diferentes técnicas empíricas, haciendo que su criterio y experiencia jueguen un papel primordial en el diseño y tratamiento de las estructuras.

Así mismo, su aplicación en el diseño de pedraplenes y terraplenes, como es el caso de la presente tesis, contribuirá a tener mayores parámetros que determinen el tiempo y funcionamiento de las obras entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

¹ MEF: Método de Elementos Finitos, es. wikipedia.org.
(https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos#Introducci%C3%B3n)

2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1 A NIVEL INTERNACIONAL

Zamora Beyk, (2014), En el trabajo de investigación realizado y denominado “Optimización de tratamientos de suelos blandos bajo terraplenes”, ejecuto evaluaciones sobre los métodos de precarga, drenes verticales y columnas de grava en suelos blandos. Estableciendo sus ventajas y desventajas de cada método. Con la investigación realizada pudo concluir que, por el método de precarga, se puede evitar la consolidación primaria y reducir la consolidación secundaria en el proceso de construcción de los terraplenes, y se reafirma en que, el método es efectivo y económico; sin embargo, el proceso de consolidación demanda mayor tiempo.

Ricardo Schiava (2018) en la tesis de doctorado y titulado como “Modelación Y Análisis Computacional de Suelos Parcialmente Saturados”, indica que la investigación de la formación y evolución del plano de corte y su influencia sobre la obtención del esfuerzo de falla se realizó a través de la malla en los elementos finitos. Los resultados indican que el análisis de la teoría analítica sobrestima los valores determinados en el método de elementos finitos. En la simulación de la falla de taludes, por efecto de la infiltración de agua, el autor comprueba la capacidad del modelo para predecir este tipo de roturas, indicando además que, los algoritmos numéricos desarrollados para la implementación computacional del modelo constituyen herramientas muy útiles en el análisis de diferentes situaciones de carácter geotécnico.

Velandia Torres y Veloza Velandia (2016) en el trabajo de tesis desarrollado y titulado como “Análisis Del Comportamiento Del Suelo De Cimentación De Edificaciones Pequeñas, Sometidas A Incrementos De Esfuerzos Generados Por Construcciones Vecinas De Mayor Tamaño”, cuyo objetivo fue de la Analizar el comportamiento del suelo y la cimentación de una edificación de dos niveles, bajo ampliaciones de esfuerzos ocasionados por la construcción de proyectos de mayores dimensiones en un área próxima, concluyen que la diferencia entre los cálculos manuales para asentamientos por consolidación primaria y los determinados por el software PLAXIS 2D, se debe al modelo matemático que utiliza el software, El programa informático requiere mayores variables y parámetros de los suelos existentes, La discretización de la malla de elementos finitos genera muchos más puntos de análisis para determinar las deformaciones del suelo. Mientras que, en el cálculo analítico o manual, utiliza expresiones matemáticas específicas con pocas variables para describir el comportamiento del suelo.

2.2.2 A NIVEL LOCAL

Flores (2021), realizo la tesis “Análisis Del Comportamiento de los Suelos Blandos Aplicando La Técnica de Inclusiones rígidas por los métodos numéricos y Analítico” que tiene como objetivo general: Analizar y comparar los asentamientos diferenciales y las tensiones verticales de los suelos blandos aplicada la técnica de inclusiones rígidas, concluye que, por el método analítico obtiene un valor de desplazamiento único, Sin embargo, el modelo matemático obtenido por el programa Plaxis, calculó estos desplazamientos sobre puntos críticos de análisis sobre los cuales calcula el máximo desplazamiento ocurrido en

cada uno de las inclusiones rígidas y que son representados mediante tonalidades de color mediante el programa Plaxis.

Poves Espinoza (2017), en su trabajo de tesis denominada “Influencia De Las Columnas De Grava Compactada En El Asentamiento De Suelos Blandos, Sector De Palian”, cuyo objetivo fue de la de determinar la influencia de las columnas de grava compactada en el asentamiento por consolidación primaria de suelos blandos del sector de Palian, concluye que los parámetros físicos y mecánicos como son: El contenido de humedad ($w=21.27\%$), peso específico seco ($\gamma_d=1.68 \text{ g/cm}^3$), límites de Atterberg ($LL=33.61\%$, $LP=18.03\%$ y $IP=15.58\%$), análisis granulométrico por tamizado, ensayo de corte directo ($c=0.28 \text{ kg/cm}^2$ y $\Phi=12.22^\circ$) y ensayo de consolidación ($P_c=2.20 \text{ kg/cm}^2$), son muy importantes y necesarios para determinar el asentamiento por consolidación primaria. Siendo el parámetro más determinante para el cálculo del asentamiento por consolidación primaria.

Navarro Chancan (2019), en cuyo trabajo de tesis denominado “Comparación Del Módulo De Elasticidad En Arcillas Normalmente Consolidadas En Estado Natural y Estado Remoldeado Mediante Ensayo De Consolidación Unidimensional”, cuyo objetivo principal fue de la de obtener y comparar las variaciones del Módulo de Elasticidad en estado natural y remoldeado de 4 arcillas normalmente consolidadas, concluyendo en que la comparación que se hizo entre el estado natural y estado remoldeado, muestran en general que las cargas que se les aplicó no producen variaciones importantes del Módulo de Elasticidad (E), en general dependen del grado de consolidación de las muestras.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 CONSOLIDACIÓN DE SUELOS

Cuando un suelo saturado es sometido a cargas, la presión de los poros se incrementa. Este incremento denominado exceso de presión de poro (μ), se disipa de los límites del estrato de suelo con el paso del tiempo, traduciéndose en un asentamiento de consolidación. Este proceso está en función del tiempo y de la permeabilidad del suelo, la longitud del camino de drenaje, la compresibilidad del suelo, entre otros (Helwany, 2007).

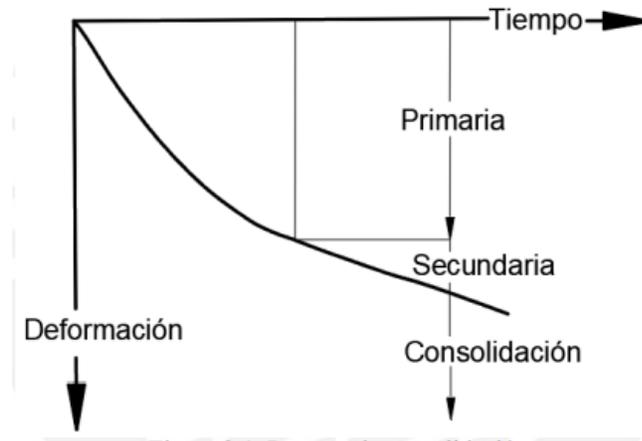
Con lo indicado anteriormente, podemos decir que la consolidación se aplica a todos los suelos; Sin embargo, es más prescindible su evaluación en suelos cuya permeabilidad es baja (arcillas y limos) debido a que, en este tipo de suelos se producen de manera rezagada con el paso del tiempo influenciando en provocar daños a la infraestructura.

Este fenómeno de consolidación tiene dos períodos principales:

- Consolidación primaria. La consolidación primaria, en esta etapa el exceso de presión de poros se traslada gradualmente en esfuerzo efectivo por la expulsión de esta, debido a un aumento de carga. Esta expulsión forma una modificación en el volumen que depende del tiempo, y en ciertas ocasiones este proceso requiere de años para ser terminado.
- La consolidación secundaria, se produce posteriormente a la disipación total del exceso de presión del agua intersticial, es decir, cuando el proceso de consolidación primaria finaliza; En esta etapa, el suelo se adecúa a sus condiciones finales a través de un reacomodo de las partículas, ello no corresponde a un modelo elástico.

Figura 1

Gráfico del proceso de consolidación primaria y secundaria

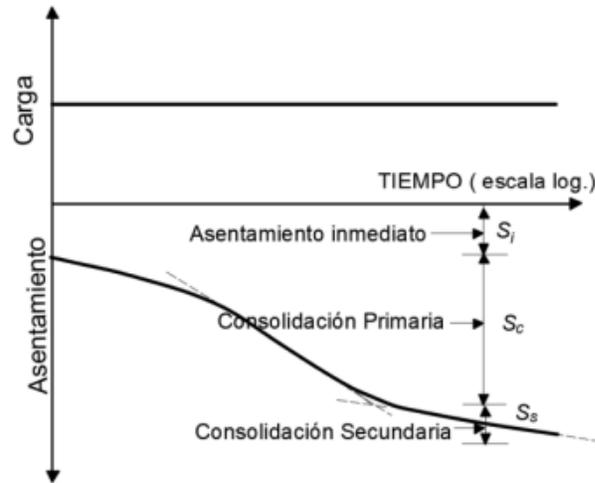


Nota: Imagen elaborada por el autor de la tesis

Para nuestro caso, la presente tesis presenta el proceso de construcción secuencial de la estructura compuesta por pedraplén y terraplén, lo cual implica una precarga que se aplicará sobre el suelo. Con esta precarga se formarán asientos inmediatos que ayudarán a realizar predicciones sobre el comportamiento de los suelos orgánicos que conforman la subrasante. En la imagen 3, se presenta el gráfico de asentamiento versus tiempo, observándose un asentamiento inmediato debido a una carga. Además, es apreciable la diferencia entre los asentamientos por consolidación primaria y secundaria, teniendo este último un menor valor. Siendo común en las arcillas, ya que el reacomodo de partículas genera poco asentamiento. No obstante, en otra variedad de suelos como la turba, esta consolidación puede tomar mayor importancia.

Figura 2

Asentamiento en función del tiempo debido a una carga aplicada



Nota: Imagen elaborada por el autor de la tesis

2.3.2 TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

Para obtener estimaciones aproximadas de los asentamientos por consolidación, es necesario conocer que tanto el flujo de agua (debido a la disminución del exceso de presión de poros) como las deformaciones se dan solo en la dirección vertical. Suponiéndose que no hay esfuerzo lateral (Helwany, 2007). En 1925, Karl Von Terzaghi, introduce la mecánica de suelos y con ello la teoría de consolidación, la cual ajusta el comportamiento hidráulico y mecánico de los suelos saturados para crear el alivio de los poros durante su deformación. Según Feng & Yin (2019) la consolidación de los suelos arcillosos está directamente influenciada por el suelo compresible, mientras que en la teoría de Terzaghi la relación esfuerzo – deformación de los suelos es lineal, el cual significa que la compresibilidad del suelo es una constante, sin embargo, la compresibilidad de los suelos blandos está directamente relacionado con los esfuerzos efectivos iniciales y finales a lo largo de la profundidad.

A continuación, presentamos las siguientes suposiciones en la derivación de la ecuación de consolidación unidimensional de Terzaghi:

1. La arcilla está completamente saturada y es homogénea.
2. La compresibilidad del agua y el suelo son insignificantes.
3. Las deformaciones son infinitesimales.
4. La compresión aplicada será unidimensional.
5. El flujo será unidimensional.
6. El flujo de agua obedece a la ley de Darcy ($v = ki$), donde k es la permeabilidad del suelo e i es el gradiente hidráulico.
7. La relación de vacíos depende solo del esfuerzo efectivo.
8. Las deformaciones unitarias son pequeñas.
9. Se asumen valores constantes para la permeabilidad vertical (k_v) y el módulo edométrico (E_m) durante el proceso de consolidación.

Usando estas suposiciones y tomando en cuenta que la razón de cambio de volumen de un elemento cubico es igual a la diferencia entre la razón de flujo de salida y la razón de entrada de agua ($\partial V/\partial t = q_{out} - q_{in}$), se puede derivar la siguiente ecuación básica para la consolidación unidimensional.

2.3.3 VARIABLES DE LOS ELEMENTOS FINITOS

El uso del método de elementos finitos para un análisis cuantitativo de un terraplén construido sobre arcillas blandas nos accede obtener resultados de predicción del terraplén de prueba.

$$C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.1)$$

Donde C_v , es el coeficiente de consolidación dado por:

$$C = \frac{k}{mv \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

La solución de (2.1) debe satisfacer ciertas condiciones iniciales y de contorno, y estas son:

Condición de contorno en la parte superior del horizonte de arcilla: $z = 0$, $u = 0$ para $0 < t < \infty$.

Condición de contorno en la capa inferior del horizonte de arcilla $z = 2H_{dr}$, $u = 0$ para $0 < t < \infty$.

Condiciones iniciales: $t = 0$, $u = u_0$ para $0 \leq z \leq 2H_{dr}$

Para una distribución uniforme de exceso de presión de poros con profundidad y utilizando serie de Fourier, la solución exacta de la ecuación (2.1) es la siguiente:

$$u = \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{2u_0}{M} \sin \frac{Mz}{H_{dr}} \right) \exp(-M^2 T_v) \quad (2.3)$$

En el cual $M = (\pi/2) \cdot (2m + 1)$; $m = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$; u_0 es el exceso de presión de poros inicial y, T_v es un número adimensional denominado factor de tiempo, definido como:

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_{dr}^2} \quad (2.4)$$

Ahora se define el grado de consolidación con profundidad z y tiempo t como:

$$U_z = \frac{u_0 - u}{u_0} = 1 - \frac{u}{u_0} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{2u_0}{M} \sin \frac{Mz}{H_{dr}} \right) \exp(-M^2 T_v) \quad (2.5)$$

Donde:

U_z = exceso de presión intersticial en el tiempo.

De mayor interés es el grado general de consolidación en un horizonte de arcilla que el grado de consolidación en un punto dentro del horizonte. Por ello, se define el grado medio de consolidación para toda la potencia de la arcilla en cualquier tiempo (t) a partir de la ecuación (2.5) de la siguiente forma:

$$U = 1 - \frac{\left(\frac{1}{2H}\right) \int_0^{2H} u \, dz}{u_0} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2Tv) \quad (2.6)$$

Además, es significativo señalar que esta ecuación supone que la distribución de poros inicial es homogénea en todo el espesor del horizonte de arcilla. Por último, resaltamos que cuando $t = 0$, el exceso de presión de poros es igual al exceso inicial.

Por lo tanto, cuando $U = 0$ para todo el horizonte no ha causado ninguna consolidación, pero cuando $t \rightarrow \infty$, $U \rightarrow 1$ (o 100%); es decir, la consolidación está completa al 100% para todo el horizonte.

2.3.4 PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

El ensayo de consolidación unidimensional American Society for Testing and Materials, (ASTM D2435-03)² fue sugerido por primera vez por Terzaghi en 1925. Con este ensayo podemos lograr las características de consolidación de un suelo y, consecuentemente, conocer el comportamiento de este. Este ensayo se lleva a cabo en un consolidómetro, también conocido como edómetro. La siguiente figura muestra el diagrama esquemático de la prueba.

² ASTM D2435-03: American Society for Testing and Materials, DESIGNACION: D2435-03: Métodos de Prueba Estándar para Propiedades de Consolidación Unidimensional de Suelos Usando, (pdfcoffee.com, 2024)

Figura 3

Consolidómetro utilizado en el procesamiento de las muestras de campo

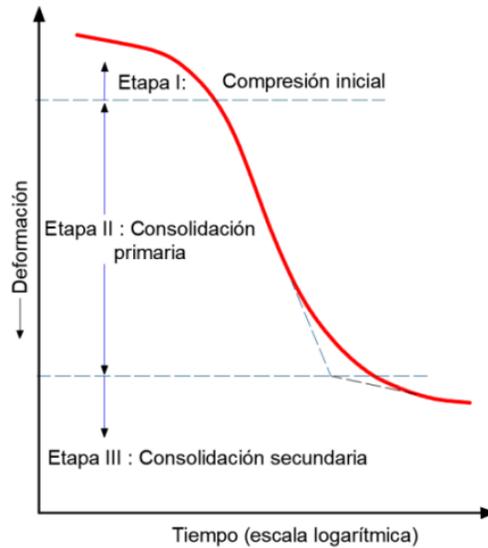


Nota. Tomada del laboratorio GEOLABP INGENIEROS E.I.R.L.

La muestra de arcilla debe ser inalterada y de alta calidad para que muestre la mayor exactitud posible de las propiedades que presenta el suelo en el campo. También es importante mantener la muestra y conservar el contenido de humedad durante su almacenamiento para obtener resultados más confiables (Lobet Rodríguez et al., 2015). En un ensayo convencional la muestra cilíndrica de suelo que mide 75 mm de diámetro y aproximadamente 15 mm de espesor es encerrada en un anillo de metal y es sometida a cargas estáticas escalonadas. Cada etapa de carga dura 24 horas, durante las cuales se registran los cambios de espesor. Al final de la etapa de carga final, se retiran las cargas también de forma escalonada y se deja que la muestra se hinche. La Imagen 3 muestra resultados del ensayo de consolidación mediante una curva de asentamiento versus el tiempo (logarítmica) obtenido de una etapa de carga.

Figura 4

Curva de deformación vs logaritmo del tiempo



Nota. Extraída del libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Das, 2013)

En la figura 4 es apreciable ver los tres tipos de deformaciones diferenciados por períodos. Cada periodo representa un comportamiento del suelo.

La etapa I o de compresión inicial es ocasionada por la respuesta elástica del suelo a las cargas aplicadas.

La etapa II o de consolidación primaria es ocasionada por la disipación del exceso de presión de poros generados por la carga aplicada.

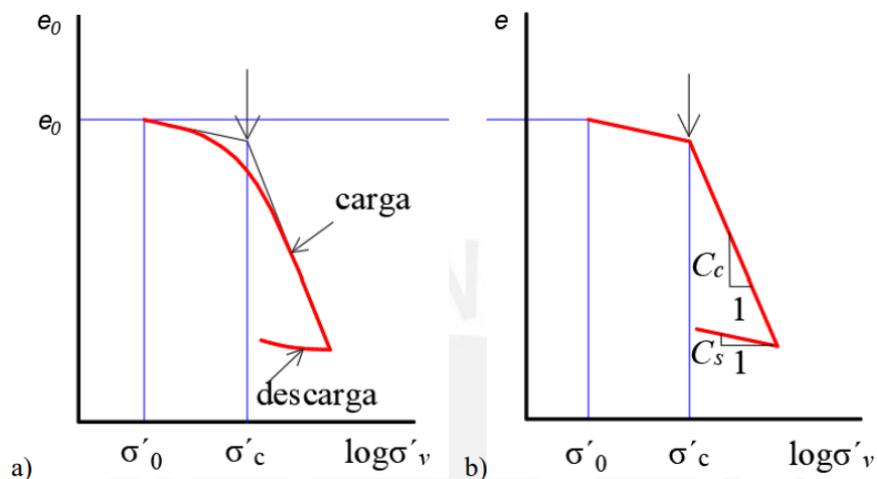
Mientras que la etapa III o de consolidación secundaria, es ocasionada por el comportamiento de deformación siendo dependiente del tiempo y de las partículas del suelo. Este período no está relacionado con la disipación del exceso de presión de poros. Después de obtener las gráficas de deformación en función del tiempo será importante estudiar la variación en la relación de vacíos (e) de la muestra. Se puede obtener curva de relación de vacíos versus

esfuerzo efectivo ($\sigma'v$), mediante los cambios de espesor o potencia al final de cada carga de la prueba de consolidación unidimensional.

La figura 4 muestra la curva $e - \log \sigma'V$. Para entender la imagen 5, es importante determinar el esfuerzo de preconsolidación $\sigma'c$, considerado como el máximo esfuerzo; al cual se ha sometido el horizonte de arcilla a lo largo de su historia tensional. Además, Una arcilla normalmente consolidada (**NC**) es definido como una arcilla que tiene un esfuerzo efectivo vertical ($\sigma'0$) in situ igual a su presión de preconsolidación. Una arcilla sobreconsolidada (**OC**) queda definida como una arcilla que tiene un esfuerzo efectivo vertical presente menor al de su esfuerzo de preconsolidación ($\sigma'c$). Con todos estos conceptos, se muestra la Figura 5, en la cual se puede observar los esfuerzos de preconsolidación, esfuerzos verticales y la relación de vacíos.

Figura 5

Relación de vacíos vs Esfuerzo vertical efectivo (semilogaritmo) a) Resultados de la prueba de consolidación b) Idealización



Nota. Extraída del libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Das, 2013)

De la imagen 5 se puede obtener los parámetros de consolidación como el índice de compresión (C_c) y el índice de hinchamiento (C_s). Ambos se encuentran en las pendientes de las rectas de carga y descarga respectivamente.

Skempton (1944) dio la correlación de expresiones empíricas para arcillas inalteradas:

$$C_c = 0.009 [LL - 10] \quad (2.7)$$

Para arcillas remoldeadas:

$$C_c = 0.007 [LL - 10] \quad (2.8)$$

Además, Nagaj & Murty (1985) refieren la siguiente expresión para el índice de compresión:

$$C_c = 0.2343 \left[\frac{LL(\%)}{100} \right] G_s \quad (2.9)$$

Donde:

LL = Limite líquido.

De la misma forma, para el índice de hinchamiento C_s es determinado mediante pruebas de laboratorio, siendo un porcentaje menor al índice de compresión.

$$C_s = \frac{1}{5} C_c \quad (2.10)$$

El coeficiente de consolidación (C_v) es un parámetro muy importante para los cálculos de la tasa de consolidación. Este coeficiente puede determinarse a partir de las variaciones en la potencia registrados contra el tiempo durante una fase de carga en la prueba del odómetro. Hay dos métodos gráficos muy usados para obtener el coeficiente de consolidación. El primero es el método de la raíz cuadrada del tiempo sugerido por Taylor (1942) y el segundo es el método del logaritmo de tiempo propuesto por Casagrande y Fadum (1940).

Para el método de la raíz cuadrada del tiempo, se usa una gráfica de deformación versus la raíz cuadrada del tiempo (Ver imagen 6a). En ella se proyecta una línea AB a través de la

línea recta inicial de la curva. Otra línea AC se delinea de tal manera que $OC = 1.15OB$. La abscisa del punto D, da la raíz cuadrada del tiempo para el 90% de consolidación $\sqrt{t_{90}}$. Para el 90% de consolidación, $T_{90} = 0.848$. Por lo tanto, se puede conseguir la siguiente ecuación:

$$T_{90} = 0.848 = \frac{c_v t_{90}}{H_{dr}^2} \quad (2.11)$$

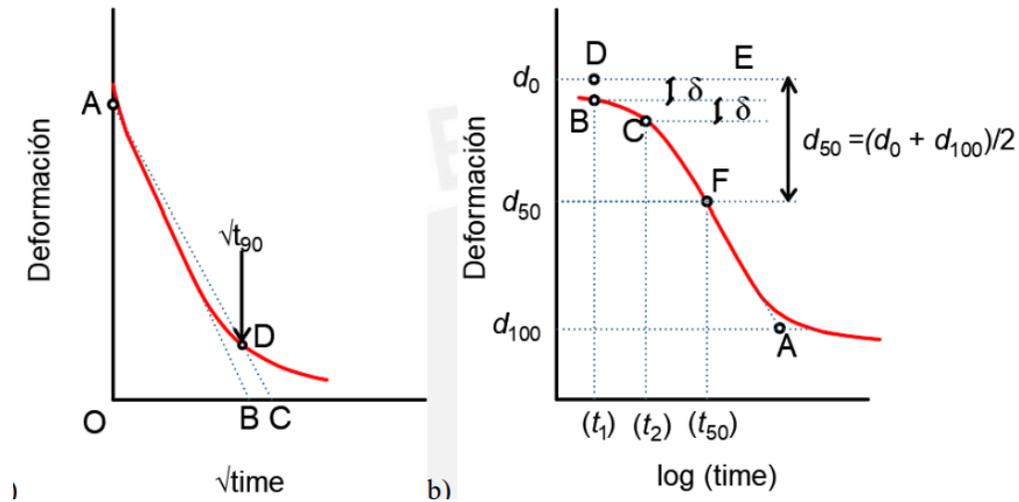
Mientras que, para el método de logaritmo de tiempo de Casagrande y Fadum, se usa una Gráfico de deformación versus el logaritmo del tiempo (b). El método log-tiempo considera extender las líneas rectas de las porciones de consolidación primaria y secundaria. Las extensiones se intersecarán en el punto A.

La ordenada del punto A representa a D_{100} que es la deformación al 100% de la consolidación. Luego, se elige los tiempos t_1 y t_2 en la parte curva de tal manera que $t_2 = 4t_1$. La diferencia vertical entre los puntos B y C es igual a δ . A continuación, se traza una línea horizontal DE a una distancia vertical BD igual a δ . DE intercepta con el eje y en D_0 que es la deformación correspondiente al 0%. Para finalizar, se calcula el D_{50} como el promedio de D_0 y D_{100} . La ordenada en el punto F representa la deformación en el 50% de consolidación primaria y su eje en las abscisas representa el tiempo correspondiente t_{50} . Con ello conseguimos que, para un t_{50} de grado promedio de consolidación, el $T_v = T_{50} = 0.197$. consecuentemente, la fórmula es la siguiente.

$$T_{50} = 0.197 = \frac{c_v t_{50}}{H_{dr}^2} \quad (2.12)$$

Figura 6

Procedimientos gráficos para determinar el coeficiente de consolidación: a) Método de la raíz cuadrada del tiempo b) Método de logaritmo de tiempo



Nota. Extraída del libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Das, 2013)

2.3.5 CÁLCULO DEL ASENTAMIENTO ÚLTIMO

Con los datos obtenidos durante el análisis de la curva de consolidación, se pueden obtener los asentamientos probables ocasionados por la consolidación primaria. Resaltándose que existe un factor de corrección que se usa en los asientos calculados con las fórmulas edométricas.

Si nos basamos en la Figura 5, la relación $e-\log \sigma' v$, esta puede ser usada para calcular los asentamientos, pudiéndose observar variación en la relación de vacíos, Δe , ocasionado por la variación de esfuerzos. Además, en esta curva se muestran dos parámetros muy importantes para determinar los asentamientos: el parámetro C_c y el parámetro C_s .

El asentamiento por consolidación se calcula de la siguiente forma.

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} * H \quad (2.13)$$

Donde H es la potencia de la capa de arcilla y e_0 es la relación de vacíos insitu del horizonte de arcilla. Por lo tanto, para calcular el asentamiento primero se debe determinar la variación en la relación de vacíos (Δe). El procedimiento de cálculo para la relación de vacíos depende del tipo de arcilla (normalmente consolidado o sobreconsolidado) y la condición de esfuerzos ($\Delta \sigma' + \sigma'_0$). En consecuencia, se estudiarán tres casos.

El primer caso es para una arcilla normalmente consolidada. Esta arcilla tiene su esfuerzo inicial igual al esfuerzo de preconsolidación ($\sigma'_0 = \sigma'_c$). Por tanto, la curva de $e - \log \sigma' v$ se idealiza como una recta con pendiente igual a C_c como es apreciable en la Figura 5. Además, si se analiza que la variación de esfuerzos $\Delta \sigma'$ ocasiona una variación en la relación de vacíos, pudiéndose calcular de la siguiente forma.

$$\Delta e = C_c * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.14)$$

Reemplazando la ecuación (2.14) en la ecuación (2.13) se obtiene lo siguiente:

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.15)$$

El segundo caso es para una arcilla sobreconsolidada con un $\Delta \sigma' + \sigma'_0 < \sigma'_c$. Recordemos que las arcillas sobreconsolidadas tienen un $\sigma'_0 < \sigma'_c$. En este caso la curva $e - \log \sigma' v$ se modela como una curva bilineal con dos pendientes diferente de C_s y C_c como se muestra en la Figura 2.5. Aplicamos un aumento de esfuerzos $\Delta \sigma'$ de tal forma que $\Delta \sigma' + \sigma'_0 < \sigma'_c$, esto ocasiona un cambio en la relación de vacíos. Esta modificación se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta e = C_s * \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.16)$$

Reemplazando la ecuación (2.16) en la ecuación (2.13) se logra lo siguiente:

$$S_c = C_s \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.17)$$

Por último, el tercer caso considera una arcilla sobreconsolidada con un $\Delta\sigma' + \sigma'_0 > \sigma'_c$. En este caso la suma de $\Delta\sigma' + \sigma'_0$ es más mayor que el esfuerzo de preconsolidación σ'_c . La curva $e-\log\sigma'_v$ también se idealiza como una curva bilineal. Alcanzando los pasos para los demás casos obtenemos la siguiente ecuación para el asentamiento.

$$Sc = \frac{H}{1+e_0} \left[C_c \text{Log} \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} + C_s \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right] \quad (2.18)$$

2.3.6 MÉTODO NUMERICO CON ELEMENTOS FINITOS

El suelo tiene comportamiento elástico no lineal, por tanto, las complicaciones numéricas son complejas y necesitan de un software que procese los datos de forma adecuada, además de realizar la modelización correspondiente. Dentro de las soluciones numéricas el más utilizado es por el Método de Elementos Finitos (**MEF**), basado en dividir los elementos a trabajar en múltiples celdas y están fusionados mediante nodos. Al conjunto de nodos que están relacionados se denomina malla. Los cálculos se realizan sobre una malla de puntos.

Para la elaboración de la presente tesis se utilizó el software de elementos finitos Phase 2d, ampliamente utilizado en geotecnia. Dicho software es usado para abordar diversos problemas de la ingeniería que involucran configuraciones 2D y 3D, el análisis de esfuerzos-deformación (estático y dinámico), de consolidación, de filtración, análisis de fallas, entre otros.

2.3.7 MODELACIÓN CON ELEMENTOS FINITOS

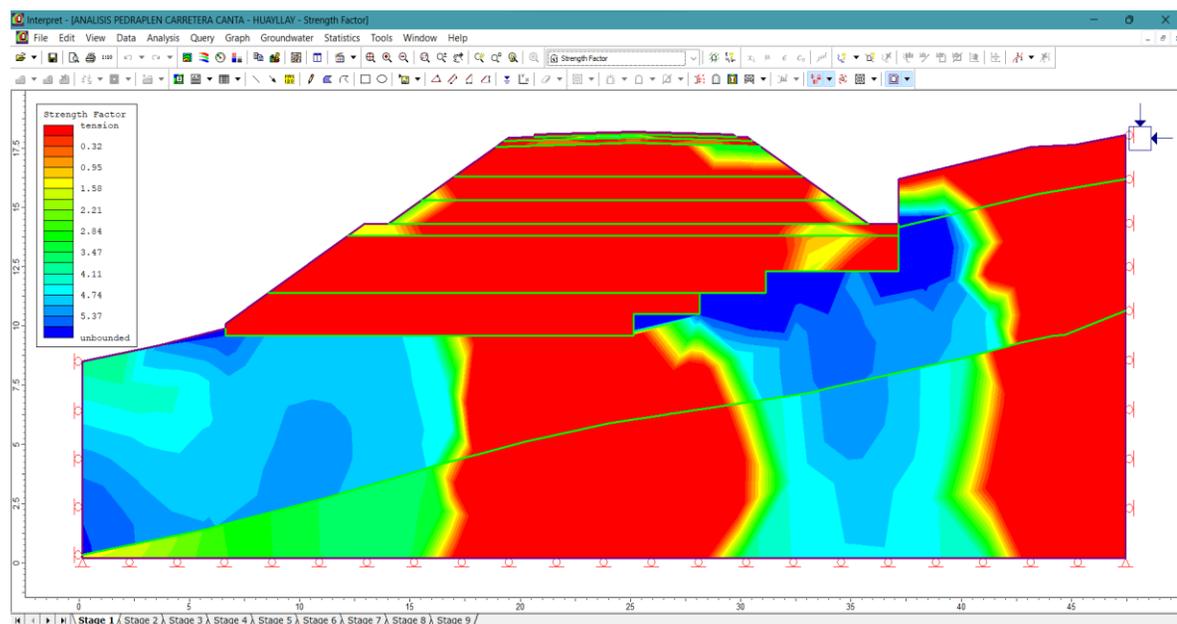
Para la presente tesis del análisis de asentamiento durante la construcción del pedraplén construido secuencialmente sobre suelos compresibles, se debe construir una malla de elementos finitos que simule las secuencias de construcción, y de esta forma obtener

los asentamientos del modelo propuesto. Para realizar la modelización del pedraplén se asume un problema 2D de consolidación (en estado de deformación plana) y, adicionalmente, se asume la simetría en la línea central del terraplén. por lo que se toma la mitad de la geometría.

La malla consta de suelos orgánicos compresibles en la subrasante y un horizonte de pedraplén y dos horizontes de terraplén. Luego, lo que se tiene que hacer es eliminar el terraplén de la malla de elementos finitos. Posteriormente, las capas del terraplén se incrementaron horizonte por horizonte en los pasos de los cálculos posteriores. Cuando se agrega una capa de terraplén, se sitúa en la capa deformada que se agregó anteriormente.

Figura 7

Simulación del Pedraplén y terraplén mediante el software Phase 2d



Nota: Imagen elaborada por el autor de la tesis mediante el software Phase 2d

2.3.8 VALIDACIÓN DEL MODELO

En este ítem, se ejecuta la validación del modelo numérico del pedraplén construido secuencialmente sobre suelos orgánicos compresibles. Además, se detalla los pasos a continuar para realizar un adecuado modelamiento del pedraplén y de las arcillas blandas. Con esto, se busca conseguir el gráfico de la curva de asentamiento vs tiempo. De esta forma, se valida si el procedimiento ejecutado y las condiciones del modelo está en el orden de aproximación de los resultados obtenidos analíticamente.

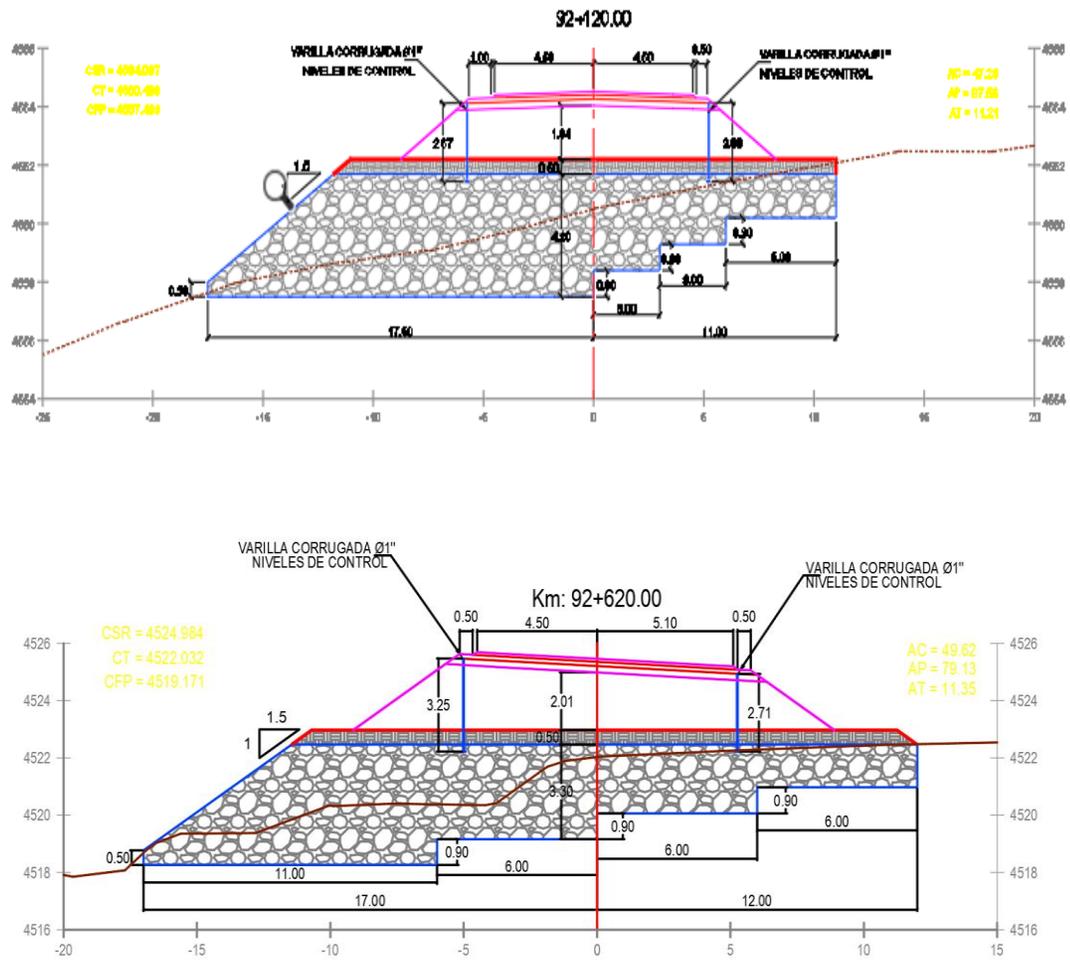
Geometría

El cuerpo del pedraplén y terraplén mostrado en la Figura 10 tiene 8.60 m de altura y está construido sobre un estrato de arcillas limosas de espesor entre 4.00 – 7.00 m. de espesor, subyacente a una capa rocosa impermeable ($k=0$ m/s, no drenado).

El nivel freático coincide con la superficie del terreno arcilloso. La conformación del pedraplén está construida en cuatro capas iguales de 1.00 m. de espesor, como se muestra en la Figura 8 Cada capa del pedraplén se construye en un periodo de 15 días. Por lo tanto, el tiempo total de construcción del pedraplén entre los Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay fue de 1 mes.

Figura 8

Geometría de la estructura compuesta por el pedraplén y terraplén sobre suelos blandos



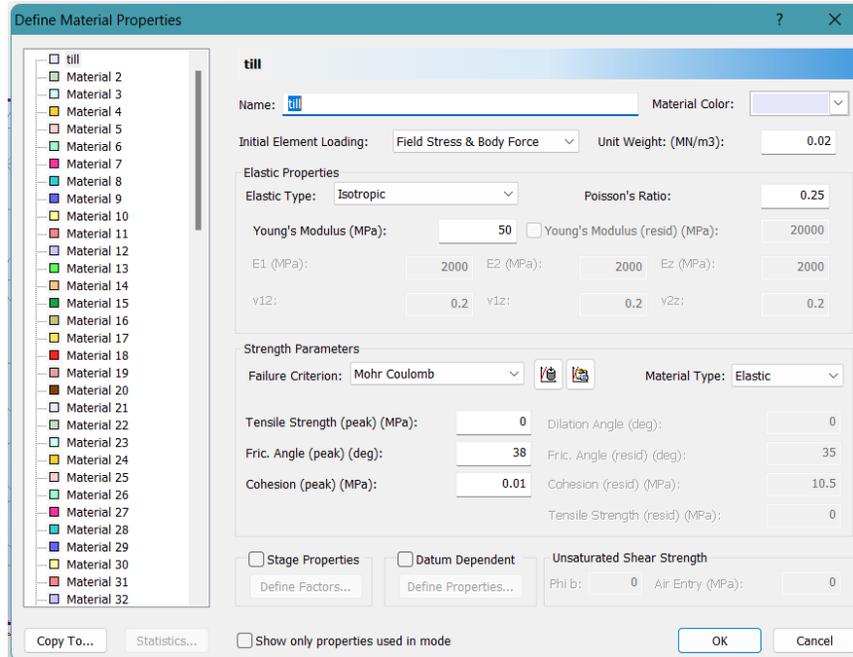
Nota: Imagen elaborada por el autor de la tesis mediante el software Autocad

Parámetros geotécnicos

Los parámetros del modelo analizado fueron del estrato de arcillas limosas plásticas, se muestran en la siguiente imagen.

Figura 9

Datos geotécnicos de entrada del software Phase 2d (Rocscience)



Nota: Imagen elaborada por el autor de la tesis mediante el software Phase2d

2.3.9 CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO

Primeramente, se asume que la parte superficial del horizonte de arcillas limosas es permeable (drena el agua). Además, se aplica una condición de contorno de permeabilidad en la parte superior de la primera capa del pedraplén y también en la cara inclinada. Esto permite que, el exceso de presión de poros pueda drenarse la etapa que dura la construcción de la primera capa del terraplén. Sin embargo, la condición de contorno permeable entre la capa de arcilla y la primera capa del pedraplén se inactiva en la interfaz. Esto se realiza cada vez que se aplica una nueva capa de pedraplén, ya que evita el drenaje entre la capa de arcilla y el terraplén en un comienzo. Luego, esta condición de contorno permeable se vuelve a desactivar en la interfaz cuando se construye la segunda capa del pedraplén. Así sucesivamente, hasta completar la última capa de terraplén.

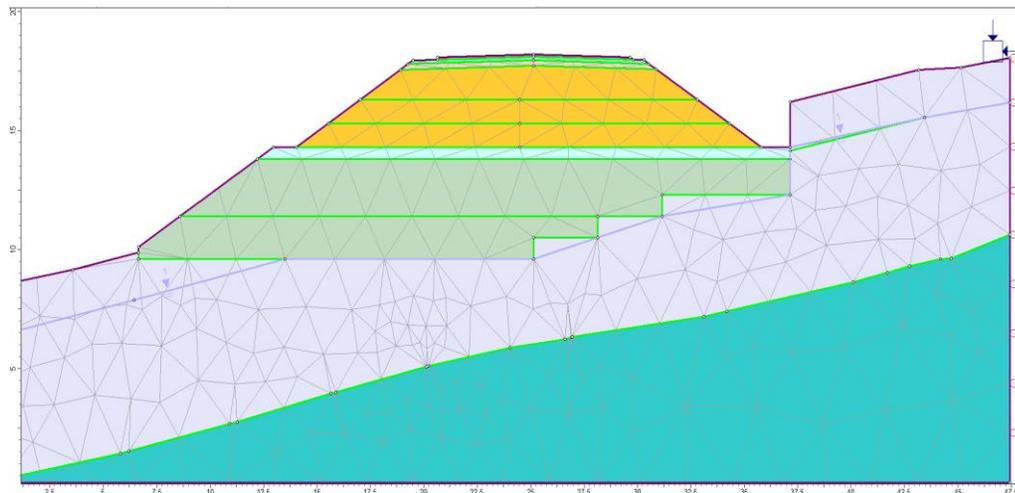
Por otro lado, se emplean las condiciones del contorno para dar los grados de libertad a los nodos del contorno. La primera condición de contorno consiste en restringir el movimiento horizontal a las líneas verticales ($u_x = 0$). La segunda es restringir el movimiento horizontal y vertical a la línea horizontal inferior ($u_x = u_y = 0$, ver Imagen 14). Por último, se ejecuta la condición de contorno. Esto permite que el límite vertical izquierdo sea sellado, evitando el flujo de agua.

Discretización de la malla

Consiste en la generación de la malla con el software Phase 2d. Para ello el programa brinda la opción del tamaño del mallado y el tipo de elemento, que en este caso sería deformable. Con todo ello realizado, se procede a dibujar el cuerpo del pedraplén.

Figura 10

Discretización y formación de la malla de elementos finitos con el software Phase 2d



Nota: Imagen elaborada por el autor de la tesis mediante el software Phase2d

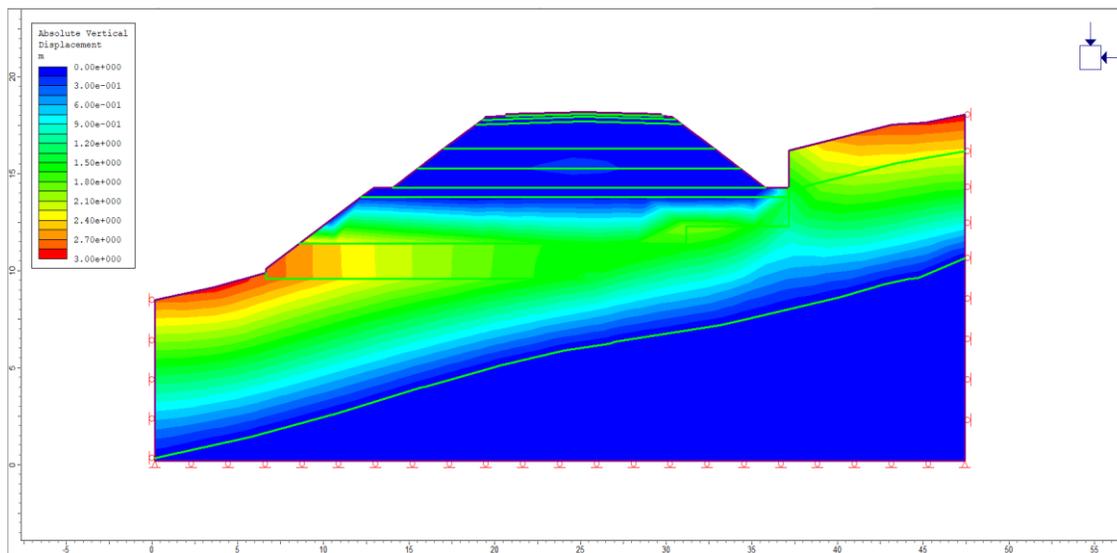
Finalmente, se obtiene la configuración de la estructura y el estrato de arcillas limosas como un solo cuerpo. En los siguientes procesos se van a disgregar para asignar a cada uno el tipo de material y las propiedades que le corresponden.

2.3.10 RESULTADOS NUMÉRICOS

Después de ejecutar los procedimientos descritos anteriormente y haber asignado las propiedades a cada tipo de material, se procedió a ejecutar los cálculos del asentamiento en la superficie del terreno y la presión de poros en función del tiempo en el punto medio del horizonte de arcillas limosas.

Figura 11

Simulación del asentamiento a partir del método con elementos finitos



Nota. Imagen elaborada por el autor de la tesis mediante el software Phase2d

2.3.11 PEDRAPLÉN

Este elemento estructural consiste en el colocado y extendido de capas de materiales pétreos subredondeados a angulosas, en los sectores propensos a ser inundados por aguas

superficiales luego para ser drenados, en cuya estructura se distinguen tres pares o zonas consecutivas

Base, parte inferior del Pedraplén, que va en contacto directo con el suelo de fundación.

Cuerpo, parte del Pedraplén comprendida entre la base y el nivel de transición.

Transición, compuesta por la parte superior del Pedraplén.

Relleno, es la zona comprendida entre la transición y la zona de corona, sus dimensiones y características son iguales a los que se establecen para el cuerpo del terraplén.

Corona (Capa subrasante), es el sector comprendido entre el relleno y la superficie de explanación, sus dimensiones y especificaciones son iguales a las que se establecen para la corona de terraplenes.

Entre la transición y el relleno se coloca un geotextil de Clase 1 y cumplirá con la función de separación y protección.

Los materiales que se emplea en la conformación de los pedraplenes provienen de las zonas de extracción de materiales o canteras, el cual podrá ser obtenido mediante selección manual o mediante zarandeo mecánico.

Deberán, además, cumplir con las siguientes especificaciones:

Granulometría

Los materiales del Pedraplén deberán estar conformado por fragmentos de alta dureza, con diámetros que estén dentro del huso granulométrico de piedra entre 6” a 12”.

La Base y el Cuerpo, deberán ser conformados en capas sucesivas de suficiente potencia como para contener los bloques de rocas con tamaño máximo, sin exceder 0.60 m.

Cuando el tamaño de los bloques rocosos requiere un espesor mayor por horizonte y la potencia del relleno permite una profundidad mayor, puede ser incrementada, sin embargo, en ningún caso será superior a 1.00 m.

Los materiales emplazados en la transición estarán constituidos por elementos de alta dureza, variables en tamaños que estén dentro del huso granulométrico de piedra entre 2" a 6".

La corona está conformada por material con las mismas dimensiones y características establecidas para la corona de terraplenes.

Resistencia a la Abrasión

Al ser sometido al ensayo de Abrasión de los ángeles, gradación E, según norma de ensayo ASTM C-535, los materiales a emplear en la construcción del Pedraplén no podrán presentar un desgaste mayor de cincuenta por ciento (50%).

Figura 12

Conformación del pedraplén en el Km. 94+700 de la carretera Canta - Huayllay donde predominan suelos blandos



Nota. Tomada de los trabajos de campo y elaborada por el autor de la tesis

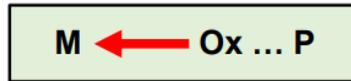
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente documento de investigación, de acuerdo con el tipo de estudio que persigue es una Investigación Aplicada y de acuerdo con la técnica de constatación del fenómeno se enmarca en una Investigación Descriptiva.

Imagen 1

Diseño de la Investigación



Fuente: Metodología de la investigación (Hashimito y Campos 2000)

Leyenda:

M : Muestra de estudio.

Ox : Información a recoger sobre comportamiento sísmico.

P : Propuesta – Validad metodología de Análisis por desempeño

3.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO

(Carrasco, 2005). Indica que, dentro de una determinada jurisdicción espacial, la población la constituyen todos los elementos que comparten las características solicitadas para la investigación.

Se consideró que la población está constituida por las calicatas aperturadas aleatoriamente entre las progresivas Km. 90+000 – Km. 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, Región Pasco.

3.3 TAMAÑO DE MUESTRA

(Ccanto Mallma, 2010), menciona que el cálculo del tamaño de la muestra depende del tipo de investigación que se está considerando; indicando que si es una investigación cuantitativa o cualitativa.

Según lo descrito se han tomado en total 04 muestras representativas de las calicatas aperturadas entre las progresivas Km. 90+000 – Km. 95+000 de la carretera Canta – Huayllay. Los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos fueron de 04, los que sirvieron para realizar los cálculos y modelamientos respectivos.

3.4 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La principal técnica de recolección fue la observación, puesto que la mayoría de los resultados se consiguieron y registraron de observaciones y modelamientos realizados a las muestras obtenidas de la excavación de calicatas en la zona de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – Km. 95+000, dicha observación sugiere la necesidad de realizar la sistematización de la información recopilada.

El primer paso que se realizó fue la verificación en campo de la zona de estudio, y se pudo apreciar con la observación visual la existencia de suelos finos arcillosos y limosos como material predominante en las calicatas aperturadas.

El segundo paso que se realizó fue la extracción de muestras representativas alteradas e inalteradas y remitidas al laboratorio de mecánica de suelos para los ensayos respectivos.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TEMA

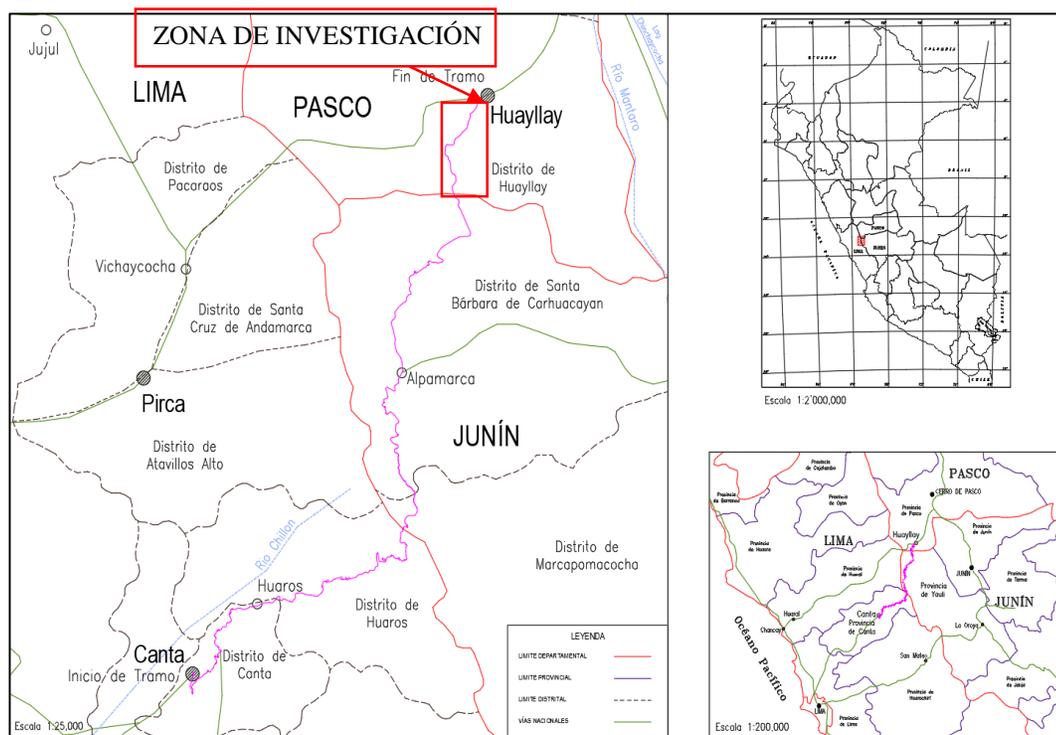
4.1. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

El tramo Canta – Huayllay, se encuentra ubicado en la parte central del país, en los departamentos de Lima, Junín y Pasco, pertenece a la Ruta N° 018 de la Red Vial Nacional y se extiende sobre los departamentos de Lima, Junín y Pasco, provincias de Canta, Yauli y Pasco entre 2,800 m.s.n.m. y 4,680 m.s.n.m.

Específicamente la zona de investigación conforma las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay, cuyas coordenadas son: 348999.38 E / 8780596.51N 349027.64 E/ 8780659.14N y una altitud promedio de 4550 m.s.n.m.

Figura 13

Ubicación de la zona de estudio



Nota. Elaborada por el autor de la tesis

4.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Las grandes oscilaciones climáticas ocurridas en el cuaternario antiguo (pleistoceno) influyeron decisivamente en la configuración de los rasgos morfológicos de detalle. Esto debido a que, durante las pasadas glaciaciones, las cumbres más altas del relieve montañoso estuvieron cubiertas por mantos de hielo y las zonas periglaciares que descendieron a altitudes más bajas. Muchas de las acumulaciones aluviales y torrenciales de los fondos de valle interandinos tienen su origen en esta época.

El sector en estudio conforma parte de una zona altoandina de relieve suave, y altitudes entre los 4,000 y 4,500 msnm. la superficie se encuentra conformada por depósitos glaciares y palustre, que cubren a las rocas sedimentarias y derrames y piroclásticos del volcanismo plio-cuaternario. Superficialmente están disectadas por pequeñas quebradas en proceso de formación, donde discurren las aguas estacionales.

Figura 14

Morfología que presenta la zona de construcción del pedraplén caracterizado por presentar superficies onduladas donde se han desarrollado suelos de origen palustre.



Nota. Elaborada por el autor de la tesis

4.3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

En la zona de estudio se han identificado las siguientes unidades geológicas:

4.3.1. FORMACIÓN CASAPALCA.

Para la zona de emplazamiento del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – Km. 95+000 el basamento está compuesto por secuencias sedimentarias de areniscas de grano medio a fino y lutitas, que en conjunto están altamente tectonizadas y deformadas, Sus afloramientos presentan orientación N 72° y Bz. 42° NO. Las familias principales de discontinuidades tienen orientación irregular: NO-SE, conformando parte de un anticlinal. La resistencia de la roca intacta varía entre 5 y 10 MPa. El espaciamiento varía entre 0.05 – 0.20, La persistencia de las discontinuidades es menor a 0.50 m. Desde el punto de vista físico-mecánico, los afloramientos rocosos se encuentran altamente intemperizados (M – 4) y baja resistencia al golpe (R – 1). Las orientaciones de diaclasas y fracturas indican un proceso de diaclasamiento que forma bloques irregulares.

4.3.2. DEPÓSITO RESIDUAL – PALUSTRE.

Esta unidad geológica se encuentra cubriendo discordantemente al basamento rocoso de origen sedimentario y depositado a lo largo de las depresiones existentes a lo largo de la zona altoandina, mediante los trabajos de campo y correlacionando con los cortes de talud se determinó su granulometría y disposición espacial. Estos suelos conforman el suelo de fundación del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000, presentan a su vez una baja consolidación por la disposición caótica que presentan sus componentes.

Están constituidas por depósitos de arcillas y limos algo arenosos con abundante materia orgánica en estado de descomposición. Corresponden a depósitos, cuyo desarrollo está

restringido a un medio reductor, con hidromorfismo casi permanente, con aguas muy superficiales de escasa profundidad, que llega a saturarse cuando ocurren periodos de intensa precipitación pluvial.

Figura 15

Vista de los depósitos de origen lacustre, conformado por arcillas limosas de mediana a alta plasticidad saturados por la presencia de agua subterránea



Nota. Elaborada por el autor de la tesis

Geotécnicamente están designados como suelos cohesivos medianamente densificados, presentan incremento de la humedad por la presencia de agua subterránea, su comportamiento físico – mecánico frente a la aplicación de cargas se ve ligeramente disminuida por la ausencia de aguas subterráneas.

Según el sistema de clasificación American Association of State Highway and Transportation Officials (**ASHTOO**) están categorizados como suelos tipo A – 6(0); y por el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) como Arcillas Orgánicas de baja compresibilidad (CL).

La potencia de estos suelos alcanza en conjunto profundidades superiores a -4.50 mts. Con respecto al nivel del terreno. (CG-1, CG-2, CG-3, CG-4).

4.4. EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS

El programa de exploración geotécnica consistió en la ejecución de cuatro (04) calicatas, estas exploraciones nos han permitido obtener una secuencia representativa de los estratos subyacentes a las zonas investigadas para las obras que comprenden, permitiendo preparar un perfil estratigráfico del subsuelo hasta la profundidad de 5.00 m. Adicionalmente al programa de exploración de campo se extrajo muestras representativas de los estratos de suelos detectados en las exploraciones a cielo abierto, alcanzando un total de cuatro (04) muestras de suelos tanto alteradas como inalteradas y que servirán de cimentación para la infraestructura de los componentes mencionados.

Así mismo, se ha efectuado la clasificación visual y manual del subsuelo, caracterizado el suelo disturbado extraídos de la pared y fondo de las exploraciones, los cuales definieron el perfil estratigráfico, los ensayos de laboratorio efectuados se realizaron de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas (**NTP**)³ o las Normas de la American Section of the International Association for testing Materials (**ASTM**)⁴.

³ NTP: Normas Técnicas Peruanas

⁴ ASTM: American Section of the International Association for testing Materials

Durante el trabajo de campo se ha detectado nivel freático en todas las exploraciones efectuadas, los resultados de los ensayos de laboratorio más importantes se adjuntan en el anexo de la presente tesis.

Figura 16

Vista de la extracción de muestras inalteradas para la realización de ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos.



Nota. Elaborada por el autor de la tesis

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación geotécnica realizada en el sector designado para la construcción del pedraplén.

Tabla 1

Calicatas excavadas en la zona de construcción del pedraplén

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN
CG-01	3.50	Arcillas limosas de mediana a alta plasticidad
CG-02	3.00	Arcillas limosas de mediana a alta plasticidad

CG-03	3.80	Arcillas limosas de mediana a alta plasticidad
CG-04	4.00	Arcillas limosas de mediana a alta plasticidad

Nota. Elaborada por el autor de la tesis

4.5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos han sido realizados por el laboratorio GEOLABP INGENIEROS E.I.R.L. a partir de las muestras alteradas e inalteradas representativas de cada estrato de suelo extraído en las calicatas, se realizaron los ensayos estándar como granulometría por tamizado y límites de consistencia para la determinación de la clasificación de suelos por el Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS⁵), así como la clasificación de estos por el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)⁶. Así mismo, se realizó un conjunto de ensayos de laboratorio para reconocer las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo más representativas, que servirán de cimentación a la infraestructura del Proyecto, adicionalmente se ejecutaron ensayos de resistencia al esfuerzo cortante practicadas sobre las muestras inalteradas, específicamente denominada como de “corte directo”.

Tabla 2

Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	CANTIDAD	NORMA
Contenido de Humedad Natural	04	N.T.P. 339.127
Análisis Granulométrico	04	N.T.P. 339.128
Limite Liquido y Plástico	04	N.T.P. 339.129

⁵ SUCS: Sistema de clasificación de Suelos

⁶ AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

Corte Directo	04	N.T.P. 339.171 ASTM D3080
Consolidación	04	

Nota. Elaborada por el autor de la tesis

Los resultados de los ensayos de laboratorio se resumen en el cuadro describiéndose la denominación de la calicata, la profundidad alcanzada, la clasificación SUCS y AASHTO⁷ correspondiente, propiedades físicas y características de la distribución del tamaño de partículas de los suelos encontrados.

Tabla 3

Parámetros físicos del suelo de fundación del pedraplén

Calicata	Prof (m)	SUCS / AASHTO	C.H. (%)	Límites de Consistencia			Distribución granulométrica		
				L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
CG - 01	3.50	CL / A-6(6)	16.00	34.60	20.17	14.43	5.70	35.20	59.10
CG - 02	3.00	CL / A-6(6)	14.80	36.40	18.79	17.61	16.10	15.30	68.60
CG - 03	3.80	CL / A-6(6)	15.80	33.40	19.08	14.32	21.70	16.30	62.00
CG - 04	4.00	CL / A-6(6)	16.20	33.50	19.27	14.23	14.10	28.70	57.20

Nota. Resumen elaborado de los ensayos de mecánica de suelos – GEOLABP INGENIEROS EIRL

4.6. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Se realizó en ensayo de corte directo sobre muestras representativas extraídas de manera alterada de las calicatas: CG-01, CG-02, CG-03, CG-04 para luego seguir el procedimiento

⁷ SUCS y AASHTO

SUCS: Sistema de clasificación de Suelos

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

del ensayo de Corte Directo Consolidado – Drenado, lo que permitirá obtener parámetros de resistencia al esfuerzo cortante como la cohesión y el ángulo de fricción que permita la evaluación de las deformaciones a nivel de subrasante.

Tabla 4

Angulo de fricción y cohesión de las calicatas aperturadas en la zona de construcción del pedraplén y terraplén

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	Cohesión (Kg/cm²)	Angulo de Fricción (°)
CG – 01	M – 1	3.50	0.12	15.10
CG – 02	M – 1	3.00	0.12	14.70
CG – 03	M – 1	3.80	0.14	20.81
CG – 04	M – 1	4.00	0.15	12.41

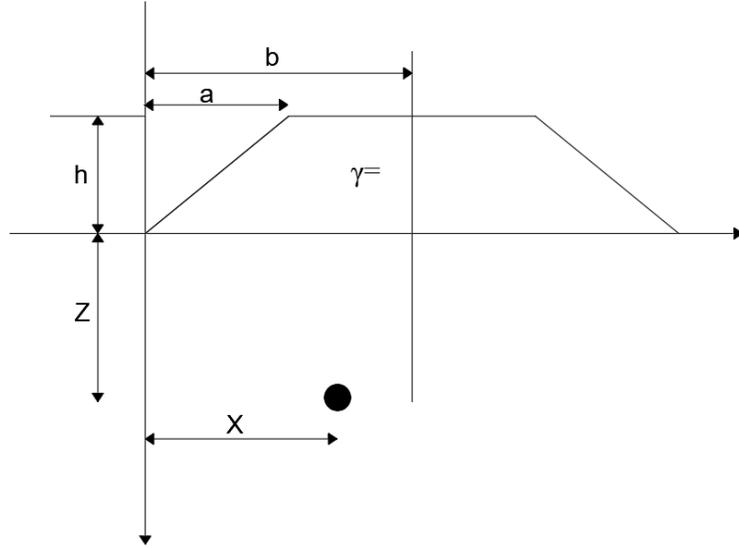
Nota. Resumen elaborado de los ensayos de mecánica de suelos – GEOLABP INGENIEROS EIRL

4.7. CÁLCULO ANÁLITICO DE LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS

Se ha tomado como referencia las ecuaciones obtenidas por Carothers (Gray, 1936) para el cálculo del incremento de esfuerzos (vertical, horizontal y cortante) en el caso de deformación plana mostrado en el diagrama siguiente, en donde se analiza un segmento de un terraplén homogéneo, sobre un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y linealmente elástico.

Figura 17

Variables necesarias para el cálculo de incremento de esfuerzos debajo de un terraplén



Nota. Elaborada por el autor de la tesis

$$\beta_A = \left(\tan^{-1} \frac{b-x}{z} + \tan^{-1} \frac{x-a}{z} \right) \frac{\pi}{180} \quad 12$$

$$\beta_B = \left(\tan^{-1} \frac{x-b}{z} + \tan^{-1} \frac{2b-x-a}{z} \right) \frac{\pi}{180} \quad 13$$

$$\alpha_A = \left(\tan^{-1} \frac{a-x}{z} + \tan^{-1} \frac{x}{z} \right) \frac{\pi}{180} \quad 14$$

$$\alpha_B = \left(\tan^{-1} \frac{a-2b-x}{z} + \tan^{-1} \frac{2b-x}{z} \right) \frac{\pi}{180} \quad 15$$

$$r_2^2 = (b-x)^2 + z^2 \quad 16$$

$$\sigma_z = \frac{\gamma h}{\pi} \left\{ \left[\beta_A + \frac{x\alpha_A}{a} - \frac{z}{r_2^2} (x-b) \right] + \left[\beta_B + \frac{(2b-x)\alpha_B}{a} - \frac{z}{r_2^2} (x-b) \right] \right\} \quad 17$$

Tabla 5

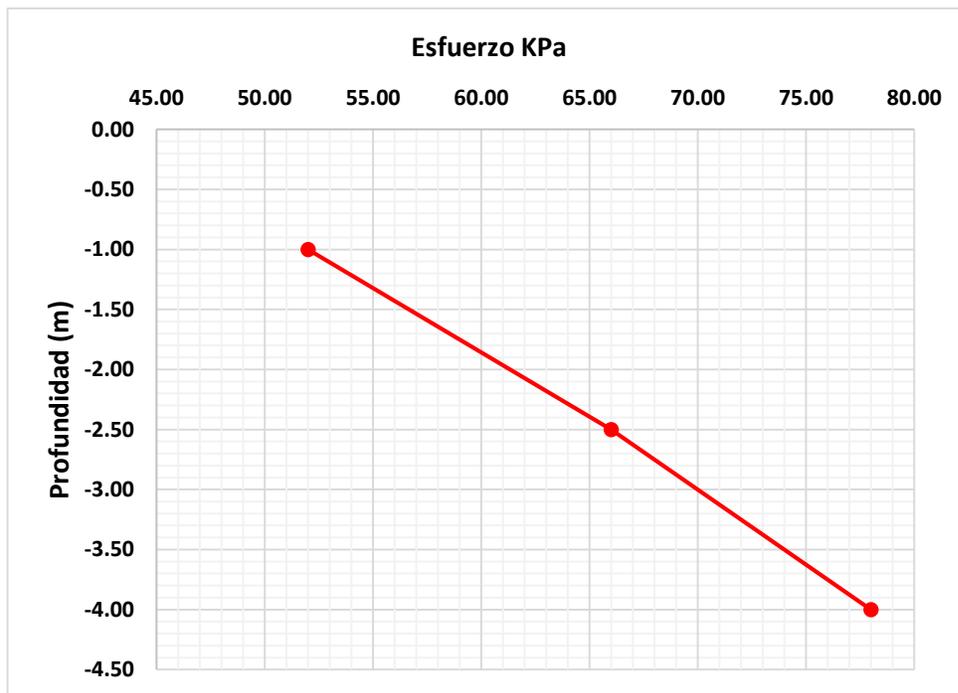
Esfuerzos generados con la construcción de la primera capa del pedraplén

a m.	b m.	h m.	z m.	x m.	γ KN/m³	βA	βB	αA	αB	R22	σZ Kpa
12.84	18.50	1.80	1.00	5.00	24.51	0.053	0.022	2.817	0.021	183.25	52.00
12.84	18.50	1.80	2.50	5.00	24.51	0.126	0.053	2.369	0.052	188.50	66.00
12.84	18.50	1.80	4.00	5.00	24.51	0.184	0.082	1.995	0.081	198.25	78.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 18

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la primera capa del pedraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 6

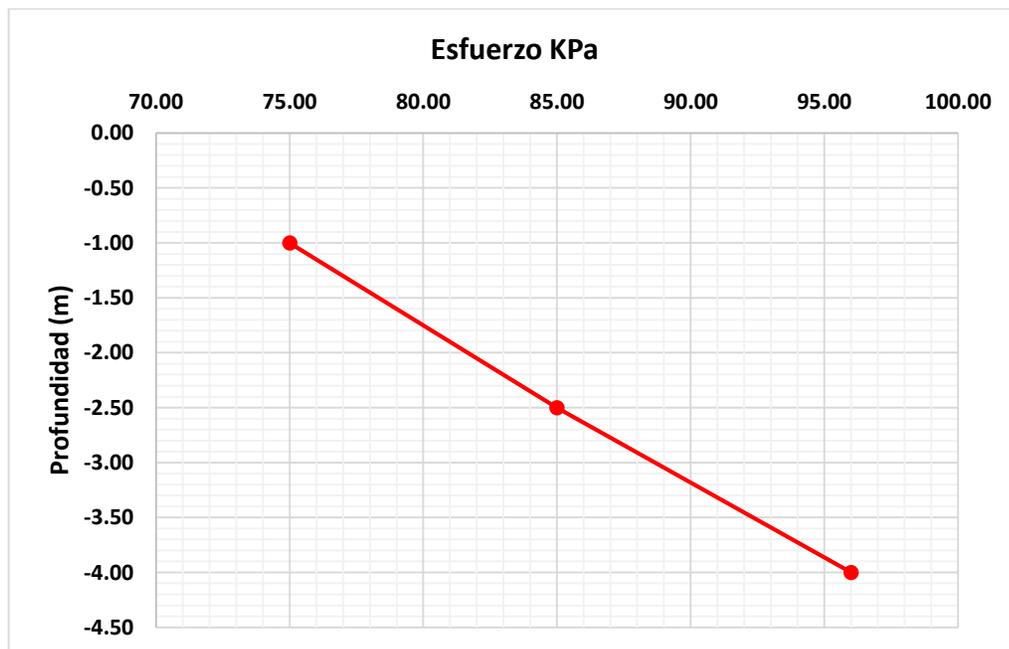
Esfuerzos generados en el suelo de fundación con la construcción de la segunda capa del pedraplén

a	b	h	z	x	γ	βA	βB	αA	αB	R22	σZ
m.	m.	m.	m.	m.	KN/m³						Kpa
5.55	18.50	4.20	1.00	5.00	24.51	0.994	0.036	1.876	0.007	183.25	75.00
5.55	18.50	4.20	2.50	5.00	24.51	1.171	0.089	1.324	0.016	188.50	85.00
5.55	18.50	4.20	4.00	5.00	24.51	1.146	0.138	1.033	0.026	198.25	96.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 19

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la segunda capa del pedraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 7

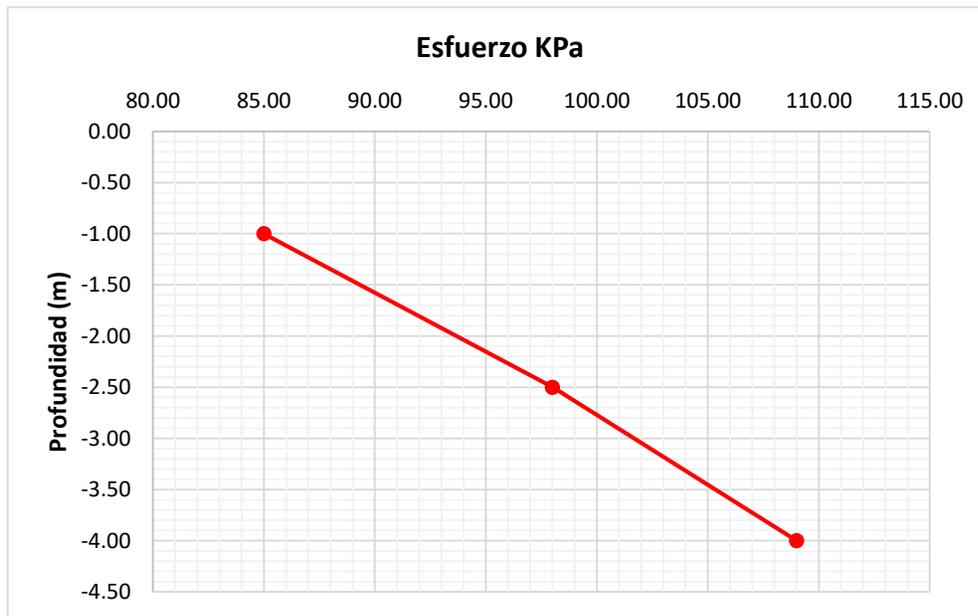
Esfuerzos generados en el suelo de fundación con la construcción de la zona de transición entre el pedraplén y terraplén

a m.	b m.	h m.	z m.	x m.	γ KN/m³	βA	βB	αA	αB	R22	σZ Kpa
6.30	18.50	4.70	1.00	5.00	18.00	0.582	0.035	2.289	0.008	183.25	85.00
6.30	18.50	4.70	2.50	5.00	18.00	0.908	0.086	1.587	0.019	188.50	98.00
6.30	18.50	4.70	4.00	5.00	18.00	0.969	0.134	1.210	0.030	198.25	109.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 20

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la transición entre el pedraplén y terraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 8

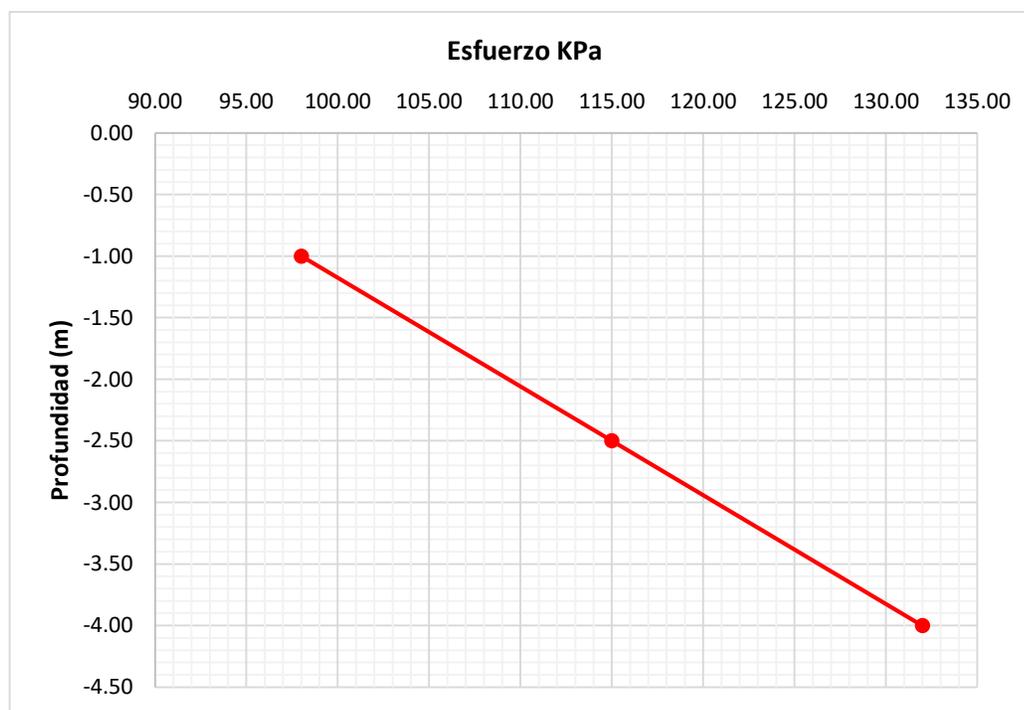
Esfuerzos generados en el suelo de fundación por la construcción de la primera capa del terraplén

a m.	b m.	h m.	z m.	x m.	γ KN/m3	βA	βB	αA	αB	R22	σZ Kpa
8.87	18.50	4.80	1.00	5.00	18.00	0.179	0.031	2.691	0.012	183.25	98.00
8.87	18.50	4.80	2.50	5.00	18.00	0.390	0.075	2.104	0.030	188.50	115.00
8.87	18.50	4.80	4.00	5.00	18.00	0.514	0.117	1.665	0.047	198.25	130.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 21

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la primera capa del terraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 9

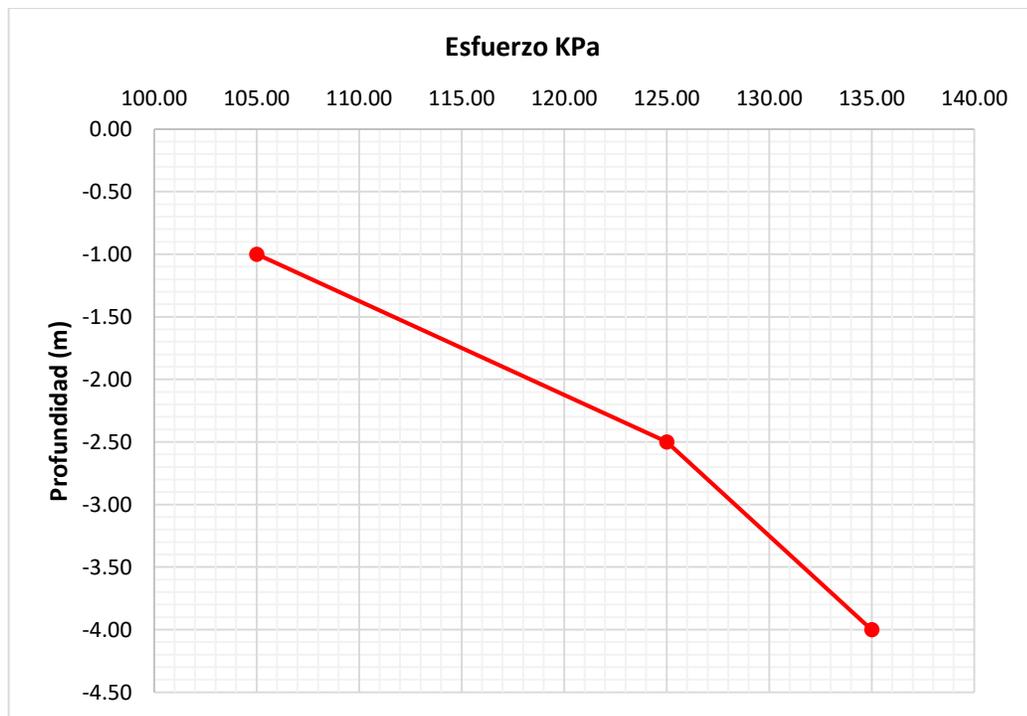
Esfuerzos generados en el suelo de fundación, generados por la construcción de la segunda capa del terraplén

a m.	b m.	h m.	z m.	x m.	γ KN/m³	βA	βB	αA	αB	R22	σZ Kpa
10.37	18.50	5.80	1.00	5.00	18.00	0.110	0.028	2.760	0.015	183.25	105.00
10.37	18.50	5.80	2.50	5.00	18.00	0.253	0.068	2.242	0.037	188.50	125.00
10.37	18.50	5.80	4.00	5.00	18.00	0.352	0.105	1.827	0.059	198.25	135.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 22

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la segunda capa del terraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 10

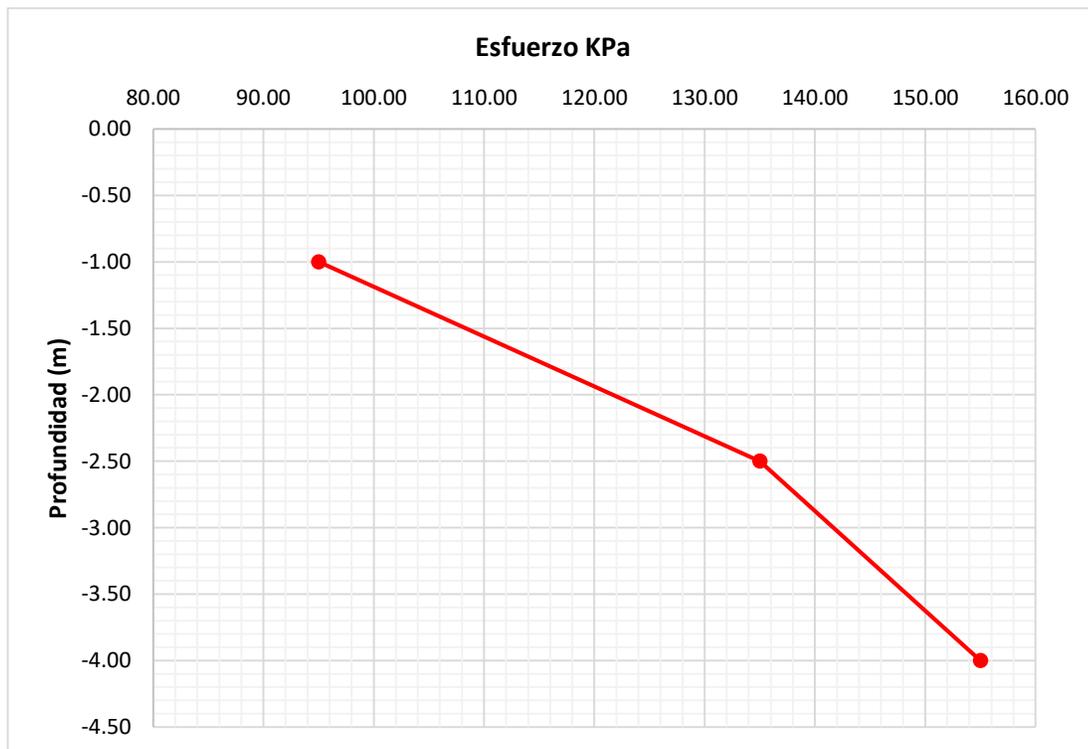
Esfuerzos generados en el suelo de fundación por la construcción de la tercera capa del terraplén

a	b	h	z	x	γ	βA	βB	αA	αB	R22	σZ
m.	m.	m.	m.	m.	KN/m³						Kpa
11.87	18.50	8.12	1.00	5.00	18.00	0.071	0.024	2.800	0.018	183.25	95.00
11.87	18.50	8.12	2.50	5.00	18.00	0.166	0.060	2.329	0.046	188.50	135.00
11.87	18.50	8.12	4.00	5.00	18.00	0.239	0.092	1.940	0.072	198.25	155.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 23

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la tercera capa del terraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 11

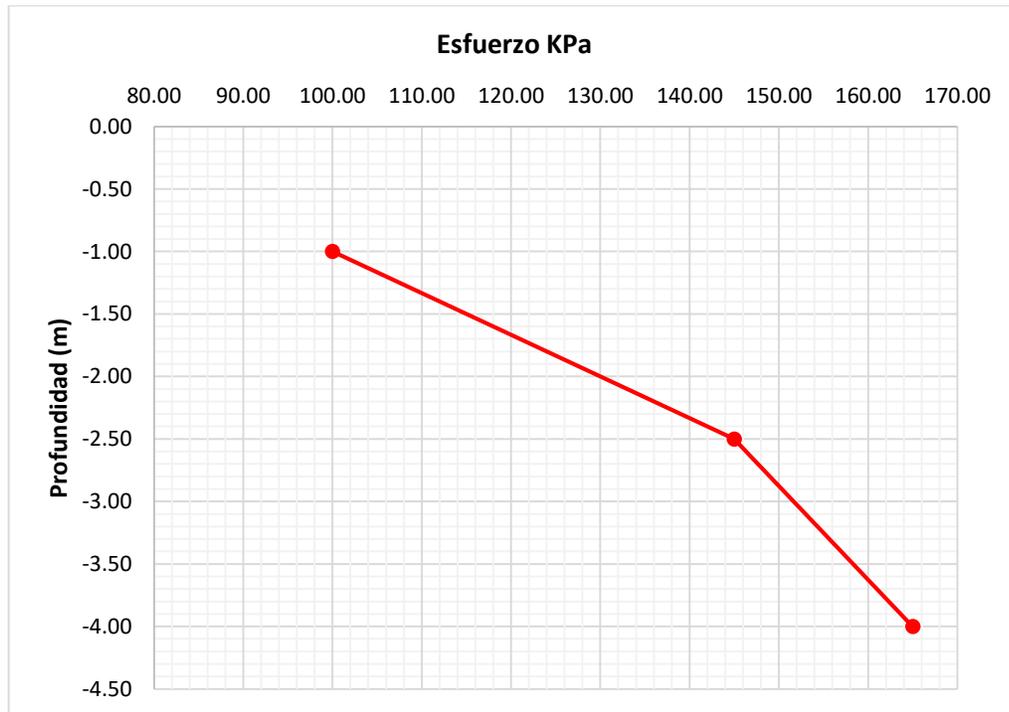
Esfuerzos generados en el suelo de fundación por la conformación de la Sub base, Base y carpeta asfáltica

a m.	b m.	h m.	z m.	x m.	γ KN/m³	βA	βB	αA	αB	R22	σZ Kpa
12.84	18.50	8.60	1.00	5.00	19.00	0.053	0.022	2.817	0.021	183.25	100.00
12.84	18.50	8.60	2.50	5.00	19.00	0.126	0.053	2.369	0.052	188.50	145.00
12.84	18.50	8.60	4.00	5.00	19.00	0.184	0.082	1.995	0.081	198.25	165.00

Nota. Datos elaborados por el autor de la tesis

Figura 24

Representación Gráfica de los esfuerzos producidos a diferentes profundidades por la construcción de la estructura del pavimento



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

4.8. CÁLCULO ANALÍTICO DEL ASENTAMIENTO

El método, es un modelo de análisis de la consolidación unidimensional que experimentan los suelos cohesivos y que consiste en determinar el asentamiento general de una cimentación, en nuestro caso como la construcción de una estructura compuesta por un pedraplén y un terraplén, a través de los asentamientos que presentara por el comportamiento elástico y por la consolidación. Es decir, el asentamiento general se obtiene a partir de la siguiente expresión (6.1).

$$St = Si + Sc + Ss \quad 6.1$$

Donde:

St, es el asentamiento total,

Si, es el asentamiento inmediato,

Sc, es el asentamiento por consolidación primaria

Ss, es el asentamiento por consolidación secundaria

El asentamiento instantáneo se obtiene de la teoría de elasticidad, que usa la siguiente expresión:

$$S_i = \frac{qB}{E_u} \mu_0 \mu_1 (1 - \nu) \quad 6.2$$

q_0 = Presión neta aplicada sobre la cimentación

μ_s = Relación de Poisson del suelo

E_s = Módulo de elasticidad promedio del suelo debajo de la cimentación, medido desde $z =$

0 a aproximadamente $z = 5B$

B' = $B/2$ para el centro de la cimentación

= B para una esquina de la cimentación

I_s = Factor de forma (Steinbrenner, 1934)

$$I_s = F_1 + \frac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} F_2 \quad 6.3$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \sin^{-1} A_2 \quad 6.4$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1})} \quad 6.5$$

$$A_1 = \ln \frac{(m'+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{1+n'^2}}{(m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1})} \quad 6.6$$

$$A_1 = \ln \frac{(m'+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \quad 6.7$$

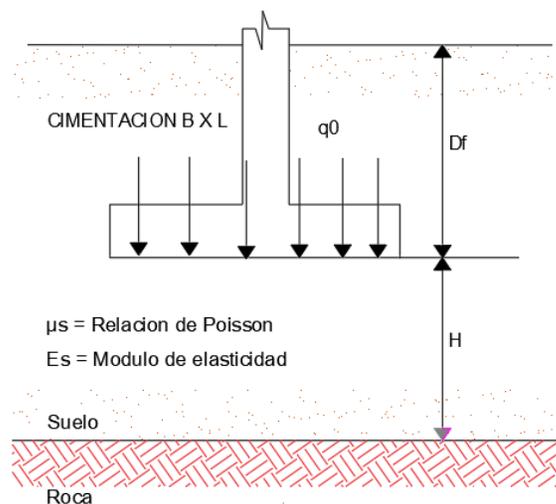
$$A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \quad 6.8$$

If = Factor de profundidad (Fox,1948) = f(Df/B,μs, L/B)

α = Factor que depende de la ubicación sobre la cimentación donde se determinara el asentamiento.

Figura 25

Representación del asentamiento elástico de cimentaciones rígidas y flexibles



Nota. Extraído del libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja Das, 2011)

Para calcular el asentamiento en el centro de la cimentación, se utiliza:

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B}$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)}$$

Las variaciones de F1 y F2 con m' y n' se indican en las tablas 5.8 y 5.9. del libro de Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones de Braja M. Das (2011), donde se ha tomado un fragmento de acuerdo con las dimensiones de la cimentación planteada en la elaboración de la presente tesis y que se muestra a continuación:

Tabla 12

Variación de f1 con m' y n'

n'	m'									
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.25	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010
0.50	0.049	0.046	0.044	0.042	0.041	0.040	0.038	0.038	0.037	0.037
0.75	0.095	0.090	0.087	0.084	0.082	0.080	0.077	0.076	0.074	0.074
1.00	0.142	0.138	0.134	0.13	0.127	0.125	0.121	0.118	0.116	0.115
1.25	0.186	0.183	0.179	0.176	0.173	0.170	0.165	0.161	0.158	0.157
1.50	0.224	0.224	0.222	0.219	0.216	0.213	0.207	0.203	0.199	0.197
1.75	0.257	0.259	0.259	0.258	0.255	0.253	0.247	0.242	0.238	0.235
2.00	0.285	0.290	0.292	0.292	0.291	0.289	0.284	0.279	0.275	0.271
2.25	0.309	0.317	0.321	0.323	0.323	0.322	0.317	0.313	0.308	0.305
2.50	0.330	0.341	0.347	0.350	0.350	0.351	0.348	0.344	0.340	0.336
2.75	0.348	0.361	0.369	0.374	0.374	0.378	0.377	0.373	0.369	0.365
3.00	0.417	0.379	0.389	0.396	0.396	0.402	0.402	0.400	0.396	0.392
3.25	0.424	0.394	0.406	0.415	0.415	0.423	0.426	0.424	0.421	0.418

Nota. Datos extraídos del libro Principios de Ingeniería de Cimentaciones Pág. 227

Tabla 13*Variación de f_2 con m' y n'*

n'	m'									
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.25	0.049	0.050	0.051	0.051	0.051	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
0.50	0.074	0.077	0.080	0.081	0.083	0.084	0.086	0.086	0.0878	0.087
0.75	0.083	0.089	0.093	0.097	0.099	0.101	0.104	0.106	0.107	0.108
1.00	0.083	0.091	0.098	0.102	0.106	0.109	0.114	0.117	0.119	0.120
1.25	0.080	0.089	0.096	0.102	0.107	0.111	0.118	0.122	0.125	0.127
1.50	0.075	0.084	0.093	0.099	0.105	0.110	0.118	0.124	0.128	0.130
1.75	0.069	0.079	0.088	0.095	0.101	0.107	0.117	0.123	0.128	0.131
2.00	0.064	0.074	0.083	0.090	0.097	0.102	0.114	0.121	0.127	0.131
2.25	0.059	0.069	0.077	0.085	0.092	0.098	0.110	0.119	0.125	0.130
2.50	0.055	0.064	0.073	0.080	0.087	0.093	0.106	0.115	0.122	0.127
2.75	0.051	0.060	0.068	0.076	0.082	0.089	0.102	0.111	0.119	0.125
3.00	0.048	0.056	0.064	0.071	0.078	0.084	0.097	0.108	0.116	0.122
3.25	0.045	0.053	0.060	0.067	0.074	0.080	0.093	0.104	0.112	0.119

Nota. Datos extraídos del libro Principios de Ingeniería de Cimentaciones Pág. 228

Tabla 14*Variación de i_f con df/B , b/l y u*

μs	Df/B	B/L		
		0.20	0.50	1.00
0.3	0.20	0.95	0.93	0.90
	0.40	0.90	0.86	0.81
	0.60	0.85	0.80	0.74
	1.00	0.78	0.71	0.65
0.40	0.20	0.97	0.96	0.93
	0.40	0.93	0.89	0.85

	0.60	0.89	0.84	0.78
	1.00	0.82	0.75	0.69
	0.20	0.99	0.98	0.96
0.50	0.40	0.95	0.93	0.89
	0.60	0.92	0.87	0.82
	1.00	0.85	0.79	0.72

Nota. Datos extraídos del libro Principios de Ingeniería de Cimentaciones Pág. 229

Tabla 15

Modulo de deformación de suelos (E_s)

Suelo	Es (KPa)		
	Límite inferior	Límite superior	Promedio
Sand, Loose	9000	25000	17000
Sand, Dense	45000	80000	62500
Sand, Silty	7000	21000	14000
Sand and gravel, loose	45000	145000	95000
Sand and gravel, dense	90000	18000	135000
Silt	2400	20000	11200
Loess	15000	50000	32500
Clay, soft	500	5000	2750
Clay, médium	4000	10000	7000
Clay, firm	7000	20000	13500
Clay, sandy	25000	40000	32500

Nota. Typical Values of the Coefficient of Volume Compressibility, m_v (after Carter 1983)

Finalmente, se procede a realizar el cálculo del asentamiento elástico en arcillas. Este asiento es calculado a nivel de cimentación. Hay que recordar que el valor del esfuerzo inicial

(q_0) debido a la carga del pedraplén y terraplén es igual a la altura del terraplén multiplicado por su peso específico. Cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 16

Cálculo del asentamiento instantáneo, calicata N° 01

$q_0 =$	1.07	Kg/cm ²
$\nu = \mu =$	0.30	
$E_s =$	5.09	Kg/cm ²
$B =$	3000	cm
$L =$	3000	cm
$B' = B/2 =$	1500	
$H =$	350	cm
$\alpha =$	1.00	
$m' = L/B$	1.00	
$n' = H/B$	0.12	
$I_s =$	0.0164	
$F_1 =$	-0.0042	
$F_2 =$	0.036	
$I_f =$	1.3255	
$D_f =$	300	cm
$D_f/B =$	0.100	
$B/L =$	1.000	
$S_e =$	6.227	cm

Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 17

Cálculo de Asentamiento instantáneo, calicata N° 02

$q_0 =$	1.07	Kg/cm ²
$\nu = \mu =$	0.30	
$E_s =$	5.09	Kg/cm ²
$B =$	3000	cm
$L =$	3000	cm

B' = B/2 =	1500	
H =	300	cm
α =	1.00	
m' =L/B	1.00	
n' = H/B	0.10	
Is =	0.0124	
F1 =	-0.0070	
F2 =	0.034	
If =	0.9405	
Df =	330	cm
Df/B =	0.110	
B/L =	1.000	
Se =	3.354	cm

Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 18

Cálculo del Asentamiento Instantáneo, Calicata N° 03

q0 =	1.07	Kg/cm2
$\nu = \mu =$	0.30	
Es =	5.09	Kg/cm2
B =	3000	cm
L =	3000	cm
B' = B/2 =	1500	
H =	380	cm
α =	1.00	
m' =L/B	1.00	
n' = H/B	0.127	
Is =	0.0179	
F1 =	-0.0032	
F2 =	0.037	
If =	0.94815	

Df =	280	cm
Df/B =	0.093	
B/L =	1.000	
Se =	4.876	cm

Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 19

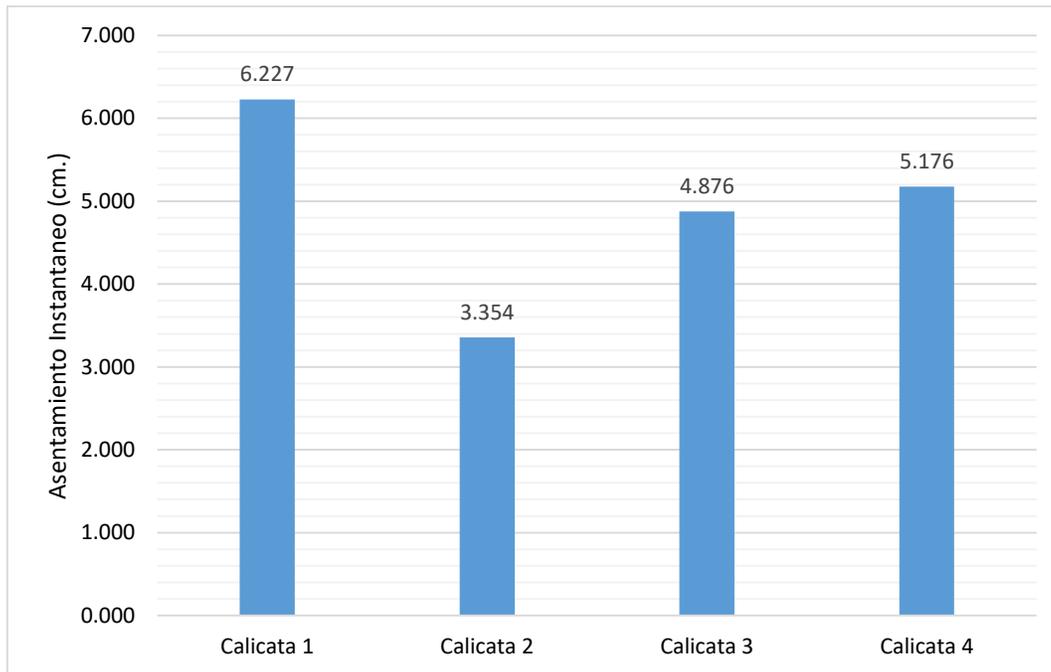
Cálculo del Asentamiento Instantáneo, Calicata N° 04

q0 =	1.07	Kg/cm2
v = μ =	0.30	
Es =	5.09	Kg/cm2
B =	3000	cm
L =	3000	cm
B' = B/2 =	1500	
H =	400	cm
α =	1.00	
m' = L/B	1.00	
n' = H/B	0.133	
Is =	0.0189	
F1 =	-0.0024	
F2 =	0.0373	
If =	0.95265	
Df =	250	cm
Df/B =	0.083	
B/L =	1.000	
Se =	5.176	cm

Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 26

Representación del asentamiento instantáneo de las calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04



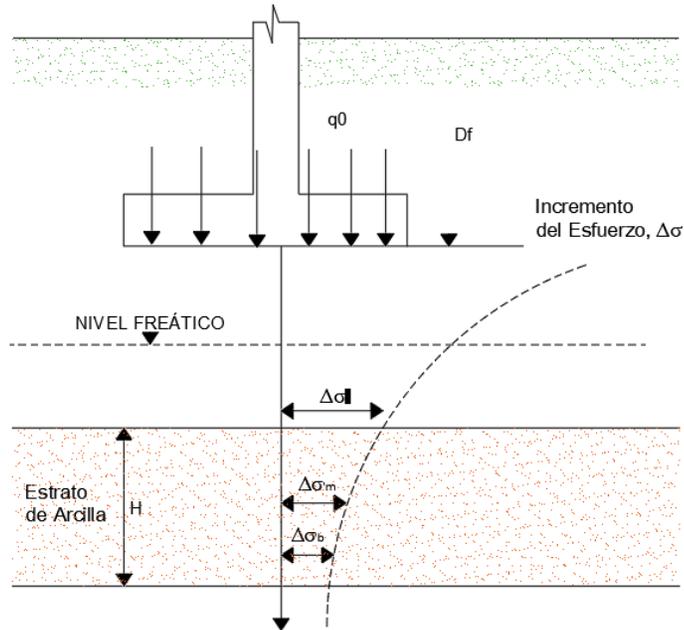
Nota. Elaborado por el autor de la tesis

El asentamiento por consolidación primaria se ha obtenido en base a los resultados de las pruebas de consolidación unidimensional.

Se utilizó valores estimados para uniformizar las propiedades de cada capa de suelo debajo del terraplén.

Figura 27

Representación del asentamiento por consolidación primaria



Nota. Figura extraída del libro Principios de Ingeniería de Cimentaciones Pág. 229

Donde la deformación unitaria vertical es:

$$\epsilon_z = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Y la deformación unitaria vertical se da en función de los siguientes parámetros:

$$\Delta e = f(\sigma'_0, \sigma'_c, \Delta\sigma')$$

Para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_0}$$

Para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_c}$$

Donde:

σ'_0 = Presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación.

$\Delta\sigma'_{prom}$ = Incremento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla causado por la construcción de la cimentación.

σ'_c = Presión de Consolidación

e_0 = Relación de vacíos inicial del estrato de arcilla

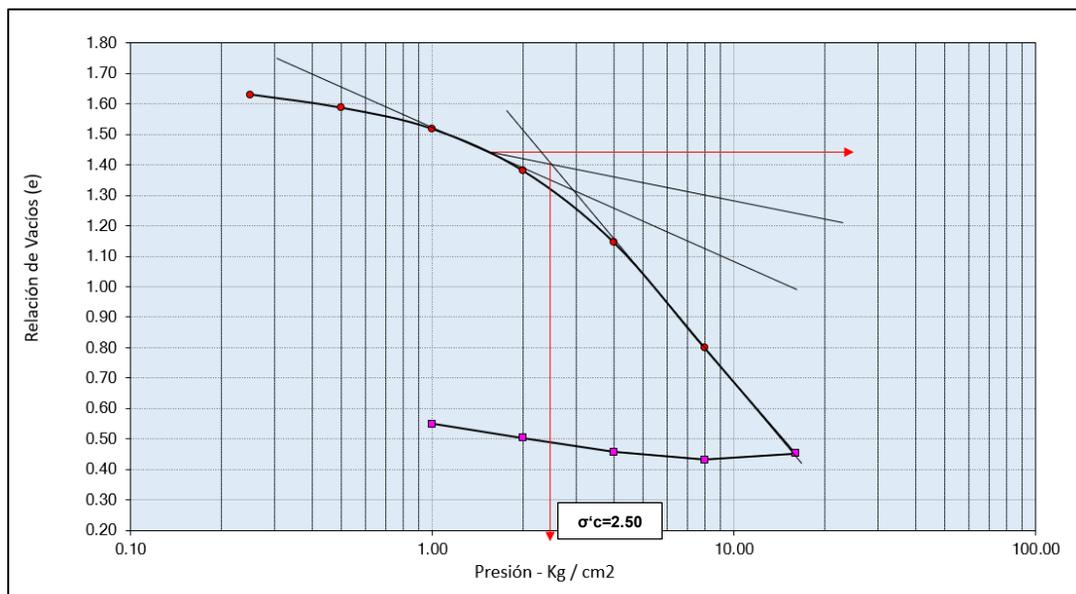
c_c = índice de compresión

c_r = índice de recompresión

H_c = Espesor del estrato de arcilla

Figura 28

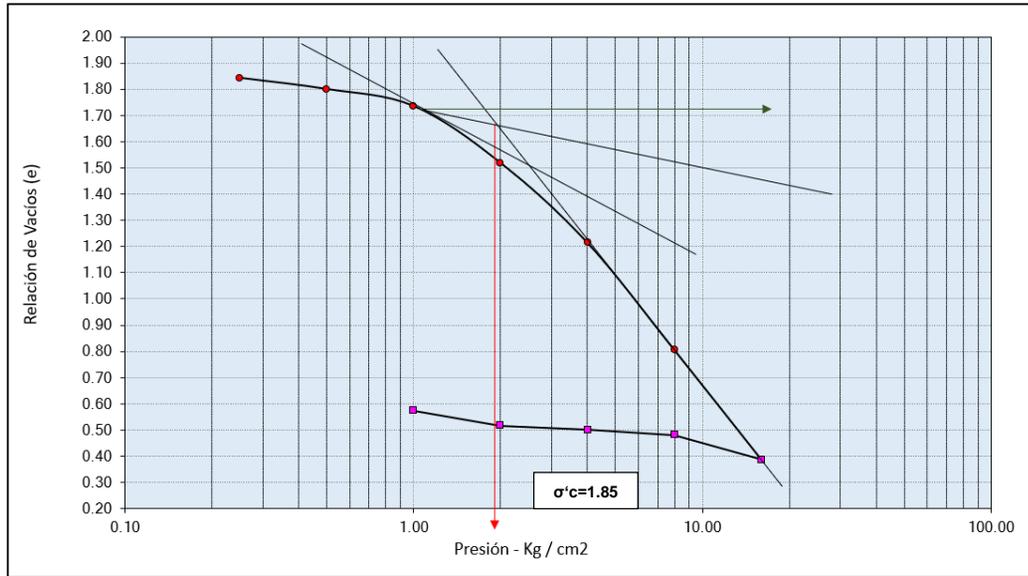
Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de la calicata N° 01



Nota. Figura obtenida del laboratorio GEOLABP INGENIEROS EIRL

Figura 29

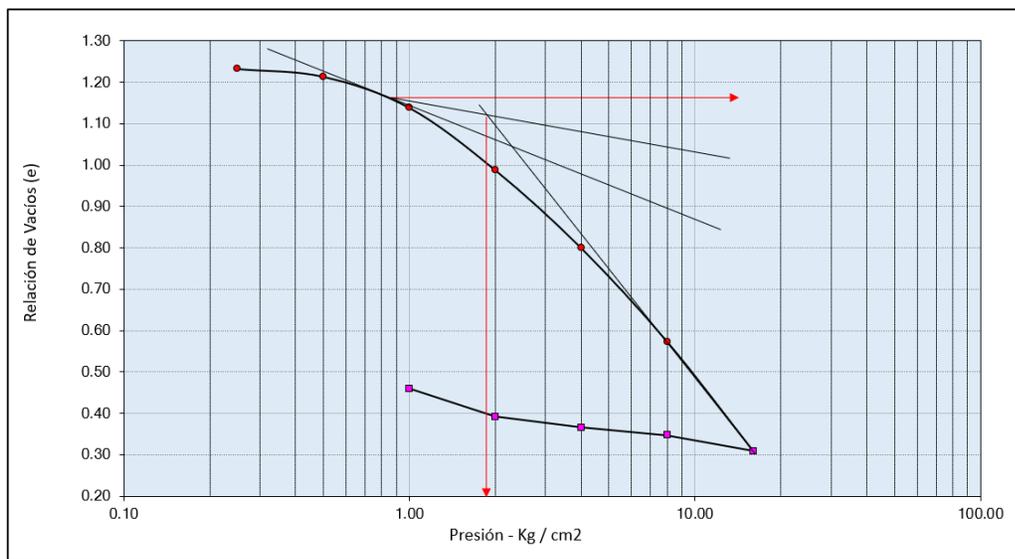
Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de la calicata N° 02



Nota. Figura obtenida del laboratorio GEOLABP INGENIEROS EIRL

Figura 30

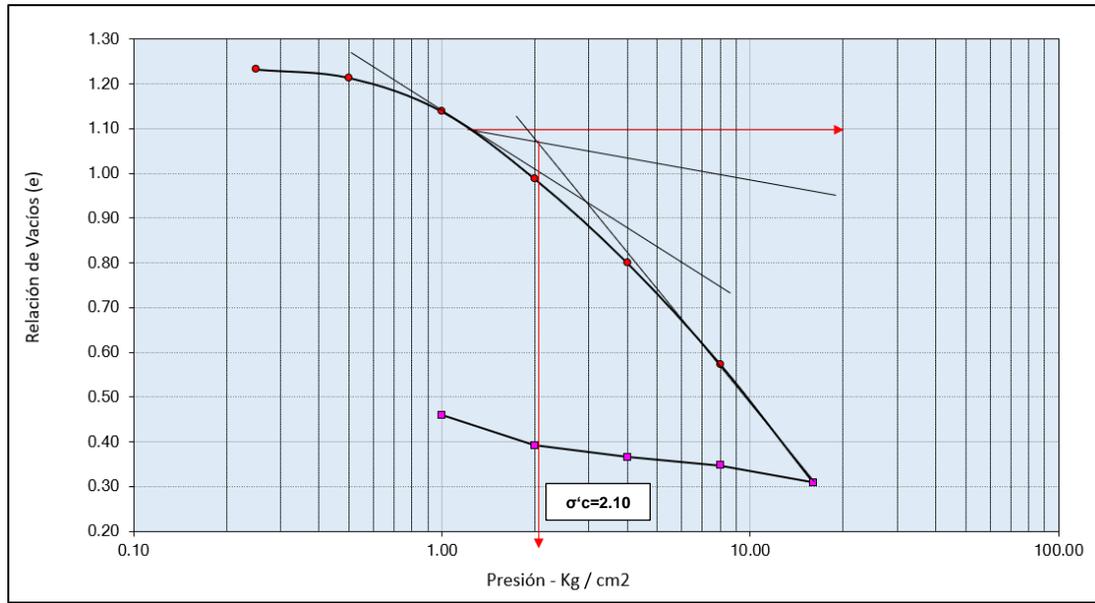
Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de la calicata N° 03



Nota. Figura obtenida del laboratorio GEOLABP INGENIEROS EIRL

Figura 31

Curva de compresibilidad obtenida del ensayo de consolidación unidimensional obtenida de la calicata N° 04



Nota. Figura obtenida del laboratorio GEOLABP INGENIEROS EIRL

Tabla 20

Cálculo del Asentamiento por Consolidación primaria, Calicata N° 01

$\sigma'_0 =$	0.543	Kg/cm2
$\Delta\sigma'_{prom} =$	1.0761	Kg/cm2
$\sigma'_c =$	2.5	Kg/cm2
$e_0 =$	1.6995	
$C_c =$	0.74	
$C_r =$	0.089	
$H_c =$	350	cm
$S_c(p) =$	5.50	cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación primaria elaborado por el autor de la tesis

Tabla 21*Cálculo del Asentamiento por Consolidación Primaria, Calicata N° 02*

$\sigma'_0 =$	0.475	Kg/cm ²
$\Delta\sigma'_{prom} =$	1.09796	Kg/cm ²
$\sigma'_c =$	1.9	Kg/cm ²
$e_0 =$	2.48	
$C_c =$	1.289	
$C_r =$	0.146	
$H_c =$	300	cm
$Sc(p) =$	6.49	cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación primaria elaborado por el autor de la tesis

Tabla 22*Cálculo del Asentamiento por Consolidación Primaria, Calicata N° 03*

$\sigma'_0 =$	0.589	Kg/cm ²
$\Delta\sigma'_{prom} =$	1.0746	Kg/cm ²
$\sigma'_c =$	1.85	Kg/cm ²
$e_0 =$	2.4332	
$C_c =$	0.382	
$C_r =$	0.119	
$H_c =$	380	cm
$Sc(p) =$	5.96	cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación primaria elaborado por el autor de la tesis

Tabla 23

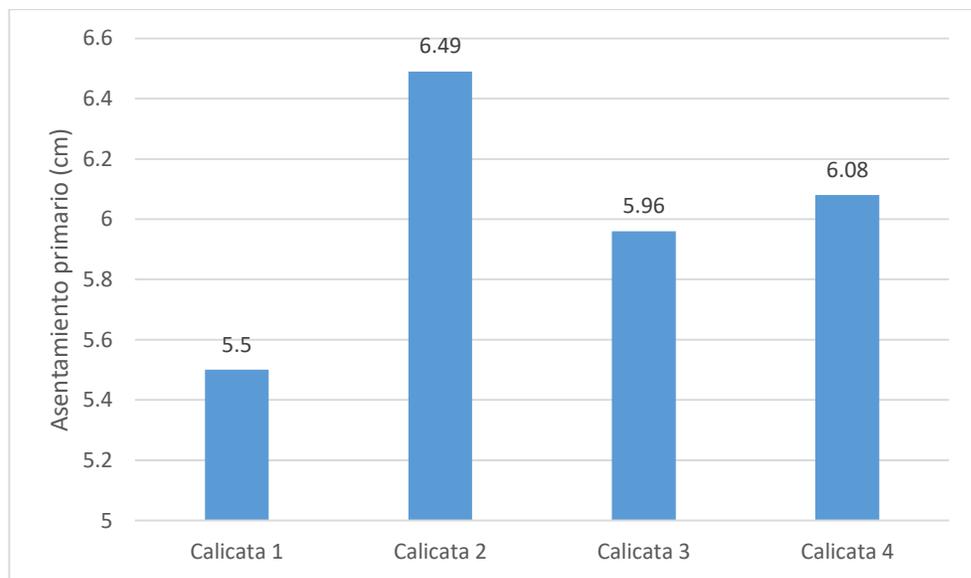
Cálculo del Asentamiento por Consolidación Primaria, Calicata N° 04

$\sigma'0 =$	0.62	Kg/cm2
$\Delta\sigma'prom =$	1.0739	Kg/cm2
$\sigma'c =$	2.1	Kg/cm2
$e0 =$	2.4332	
$Cc =$	0.382	
$Cr =$	0.119	
$Hc =$	400	cm
$Sc(p) =$	6.08	cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación primaria elaborado por el autor de la tesis

Figura 32

Resumen del asentamiento por consolidación primaria de las calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

La consolidación secundaria ocurre al final de la consolidación primaria (es decir, posterior de completar la disipación del exceso de las presiones de poro del agua), se observa un asentamiento debido al ajuste plástico de la estructura del suelo. Por lo que, se calculó el asentamiento por consolidación secundaria mediante la siguiente ecuación:

$$S_s = \frac{C'_\alpha}{1 + e_{100}} h \log 10 \left(\frac{t}{t_p} \right)$$

Donde:

H_o = Es la altura del espécimen

e_0 = Es el índice de vacíos inicial

C_α = Es el índice secundario de compresión

Se ha tomado como tiempo de fin de la consolidación primaria para la capa de arcilla de aproximadamente 5 años, ya que esos valores son los arrojados por la ecuación de la tasa de consolidación al 99% teniendo en cuenta los valores del coeficiente de consolidación, si la compresión secundaria durase 10 años.

Tabla 24

Cálculo del Asentamiento por Consolidación Secundaria, Calicata N° 01

H_o (cm)	e₀	C_α	t	t_p	S_s
350	0.4528	0.05	10	5	3.626 cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación secundaria elaborado por el autor de la tesis

Tabla 25

Cálculo del Asentamiento por Consolidación Secundaria, Calicata N° 02

H_o (cm)	e₀	C_α	t	t_p	S_s
300	0.388	0.05	10	5	3.253 cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación secundaria elaborado por el autor de la tesis

Tabla 26

Cálculo del Asentamiento por CONSOLIDACIÓN Secundaria, Calicata N° 03

Ho (cm)	e0	Ca	t	tp	Ss
350	0.3095	0.05	10	5	4.023 cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación secundaria elaborado por el autor de la tesis

Tabla 27

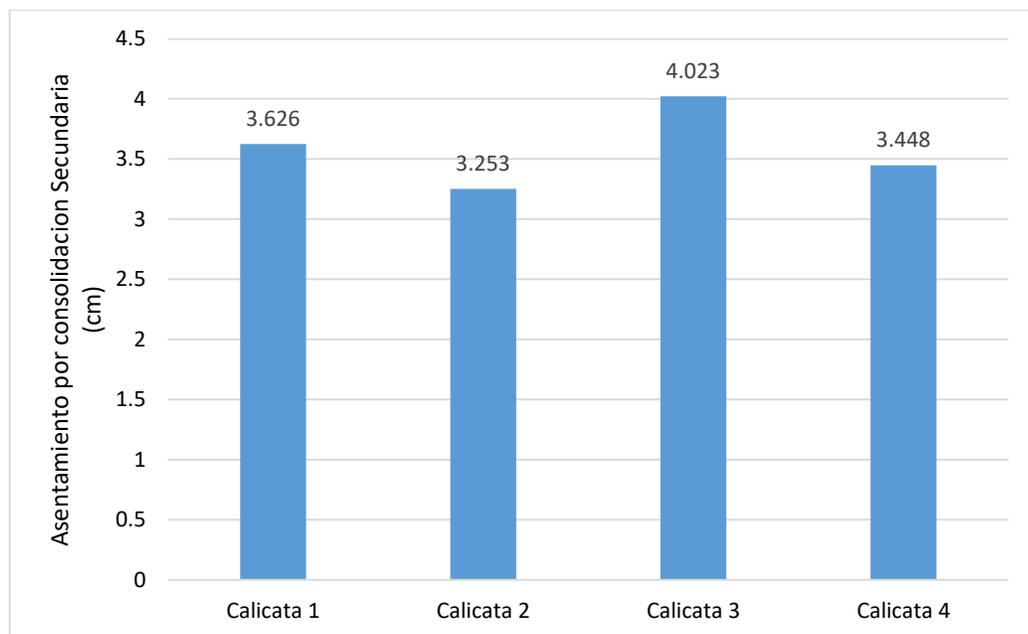
Cálculo del Asentamiento por Consolidación Secundaria, Calicata N° 04

Ho (cm)	e0	Ca	t	tp	Ss
300	0.3095	0.05	10	5	3.448 cm

Nota. Datos de asentamiento por consolidación secundaria elaborado por el autor de la tesis

Figura 33

Resumen del asentamiento por consolidación secundaria de las calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Tabla 28

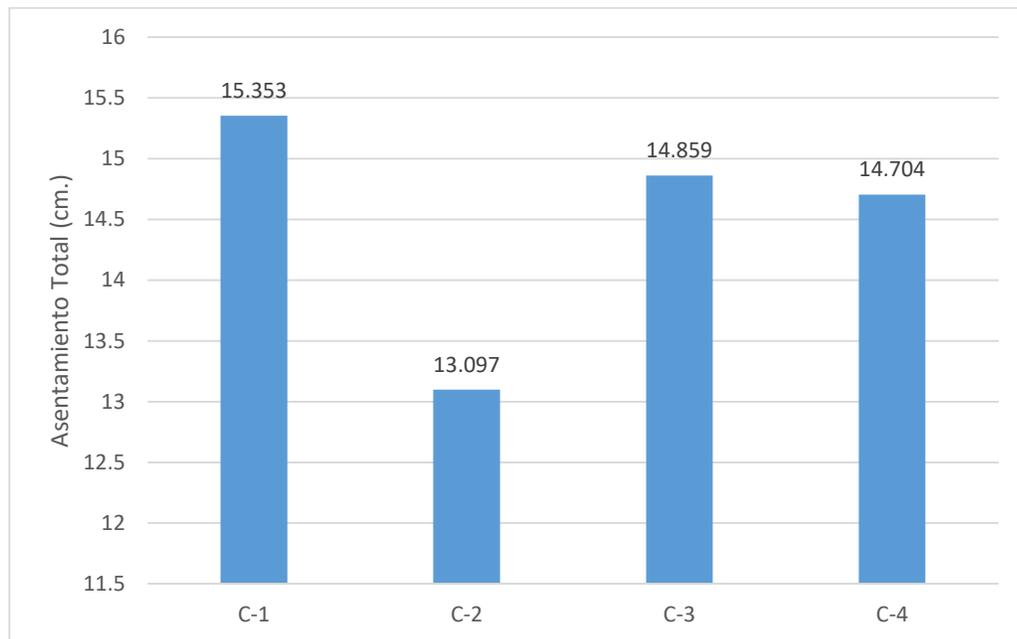
Resumen del Asentamiento total Calicatas N° 01, N° 02, N° 03, N° 04

Calicata	Asentamiento instantáneo (cm)	Asentamiento por consolidación primaria (cm)	Asentamiento por consolidación Secundaria (cm)	Asentamiento total (cm)
01	6.227	5.50	3.626	15.353
02	3.354	6.49	3.253	13.097
03	4.876	5.96	4.023	14.859
04	5.176	6.08	3.448	14.704

Nota. Datos del asentamiento total elaborado por el autor de la tesis

Figura 34

Resumen del asentamiento total de las calicatas N° 01, 02, 03, 04



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

4.9. MÉTODO NUMÉRICO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

Con el objetivo de obtener los asentamientos producidos por la construcción de la estructura compuesta por el pedraplén y terraplenes más cercanos a las condiciones reales del terreno, se ha realizado un modelo geotécnico y numérico que permita simular el comportamiento del suelo mediante elementos finitos (MEF)⁸. Además, los materiales de la subrasante al tener un comportamiento elastoplástico no lineal, ocasionan que el análisis sea complejo, por lo que es necesario utilizar softwares o programas informáticos. Así mismo, la identificación de un modelo adecuado para el tipo de suelos es fundamental para obtener resultados que se aproximan a la realidad. Por ello, se ha utilizado el modelo constitutivo Mohr Coulomb para simular el comportamiento en las arcillas que conforman la subrasante.

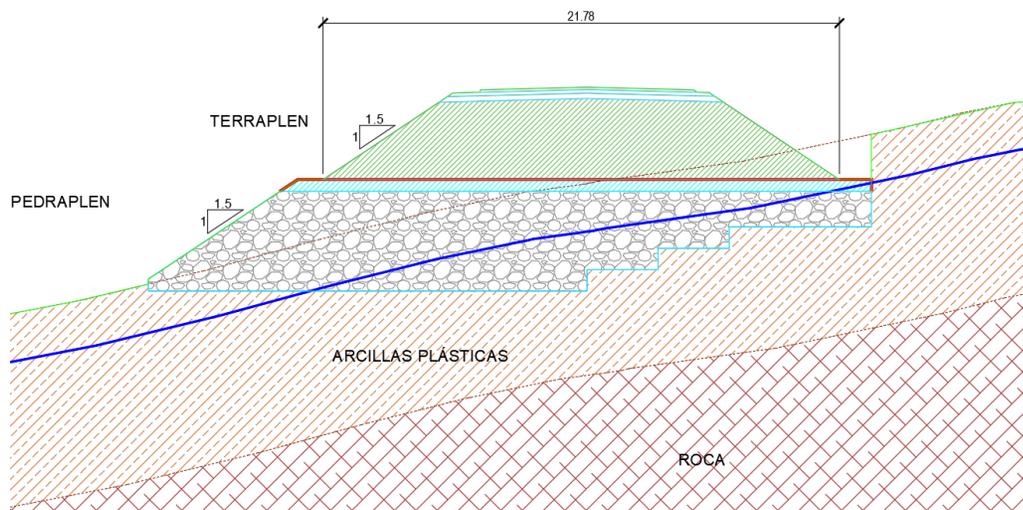
4.9.1. DETALLES DEL ANÁLISIS NUMÉRICO

El análisis numérico planteado se soluciona mediante el Método de Elementos Finitos, el cual considera un problema bidimensional de consolidación en estado plano de deformación con la sección geométrica de la estructura del pedraplén y terraplén. El dominio del suelo sin contar el terraplén es de 30.50 m. horizontalmente y 8.60 m. verticalmente, como se muestra en la figura 33. El ancho de la sección a analizar numéricamente es suficientemente largo para poder abarcar todo el rango de influencia en los resultados.

⁸ MEF: Método de Elementos finitos

Figura 35

Modelo geotécnico para la determinación del comportamiento de los suelos que conforman la zona de cimentación



Nota. Modelo Gráficoado por el autor de la tesis con el software autocad.

Con ello se realiza la geometría del caso de estudio, en el cual se considera el estrato de arcilla y las 3 capas de la estructura compuesta del pedraplén y terraplén ejecutadas secuencialmente. Estas 3 capas de la estructura se levantarán hasta alcanzar una altura de 8.60 m en 30 días. Esto se realiza para modelar la secuencia de construcción real del terraplén.

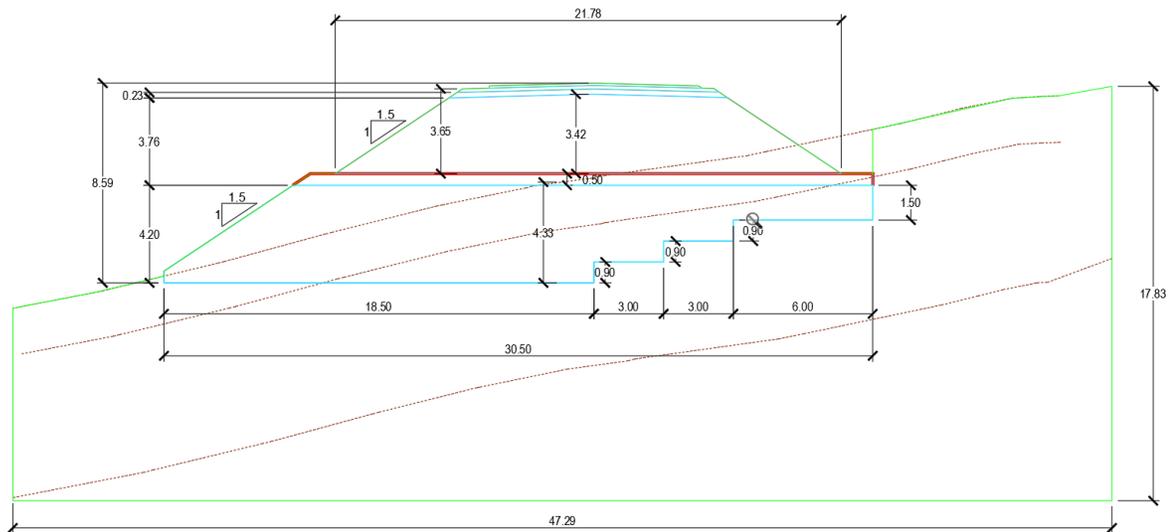
Para el análisis mediante el modelamiento con el software Phase 2d (Rocscience) se ingresó los datos por etapas para el procesamiento de toda la información que a continuación se detalla:

a). Generación del modelo geométrico, donde se ingresó los datos como: nombre del archivo para el modelamiento, configuración de las unidades para luego importar el modelo

geométrico obtenido del seccionamiento topográfico con todas las capas conformantes de la estructura del pedraplén y terraplén.

Figura 36

Geometría del modelo geotécnico que será analizado por elementos finitos

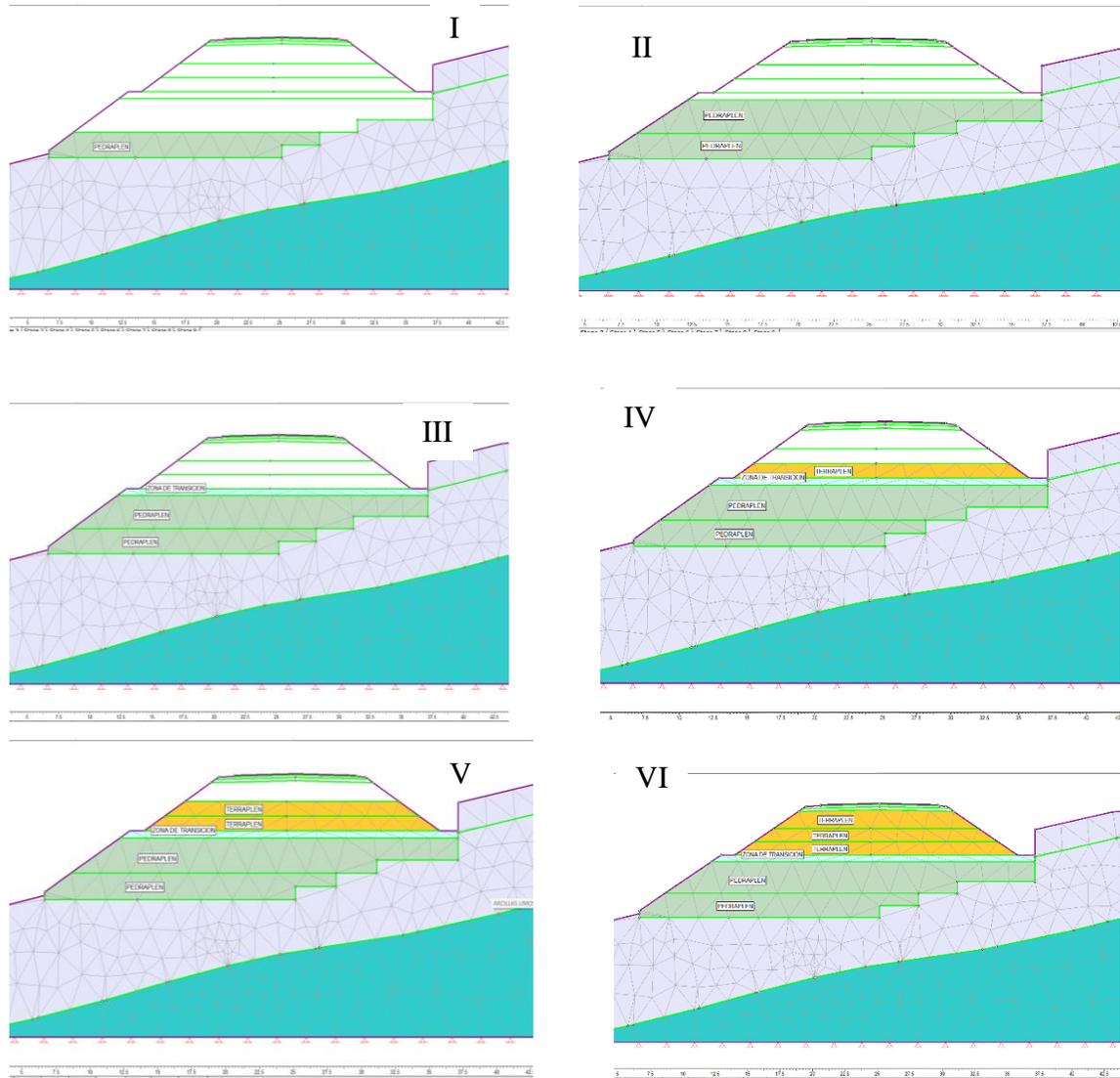


Nota. Modelo gráficoado por el autor de la tesis con el software Autocad.

- b). Ingreso de las propiedades geotécnicas de los materiales conformantes de la estructura a modelar como son: Arcillas limosas, pedraplén, Transición, Terraplén, Sub base granular, Base Granular y Carpeta asfáltica, en esta parte se ingresaron los datos de la tabla N° 29.
- c). Generación de la malla de elementos finitos mediante la función Mesh Setup del programa, en donde se realizó un refinamiento de la malla en toda la estructura.
- d). Determinación las etapas del proceso constructivo de la estructura del pedraplén y terraplén, adicionando en capas divididas hasta alcanzar los niveles finales, así como el nivel freático.

Figura 37

Proceso constructivo de conformación de la estructura del pedraplén y terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

e). Luego se va al menú calcular o compute del programa para el procesamiento de la sección ingresada.

f) Se utilizó la opción interpret, donde muestra el procesamiento de salida de los datos en donde se obtiene las deformaciones y esfuerzos por la estructura del pedraplén y terraplén en

las diferentes etapas de construcción. Donde se visualiza y hace las interpretaciones necesarias que determinen el comportamiento de los materiales analizados.

4.9.2. PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Como se mencionó anteriormente, el análisis numérico será determinado con la ayuda del modelo Mohr Coulomb, con el cual se simula el comportamiento de las arcillas encontradas debajo del terraplén. Se puede encontrar con mayor detalle la implementación de este modelo en el Método de Elementos Finitos.

Tabla 29

Parámetros Geotécnico de los materiales utilizados en el software Phase 2d

Material	Cohesión		Peso Unitario		Angulo de Fricción (°)	Módulo de Deformación		Poisson
	Kg/cm ²	Kpa	gr/cm ³	KN/m ³		Kpa	Kg/cm ²	
Arcillas (C-01)	0.17	16.671	1.55	15.200	20°	2451.663	250	0.35
Arcillas (C-02)	0.15		1.52		15°	2365.558	220	0.35
Arcillas (C-03)	0.16		1.62		17°		262	0.35
Arcillas (C-04)	0.15		1.66		18°		275	0.35
Pedraplén	0.00	0.000	2.12	20.790	41°	78453.200	8000	0.25
terraplén	0.09	8.826	2.00	19.613	32°	490332.500	5000	0.30
transición	0.10	9.807	2.05	20.104	32°	490332.500	5000	0.30
Sub-Base	0.05	4.903	2.30	22.555	33.5°	250069.575	2550	0.30
Base	0.14	13.729	2.25	22.065	33°	399999.995	4078.86	0.30
Asfalto	0.20	19.613	5.30	51.975	35°	2100094.098	21415	0.30

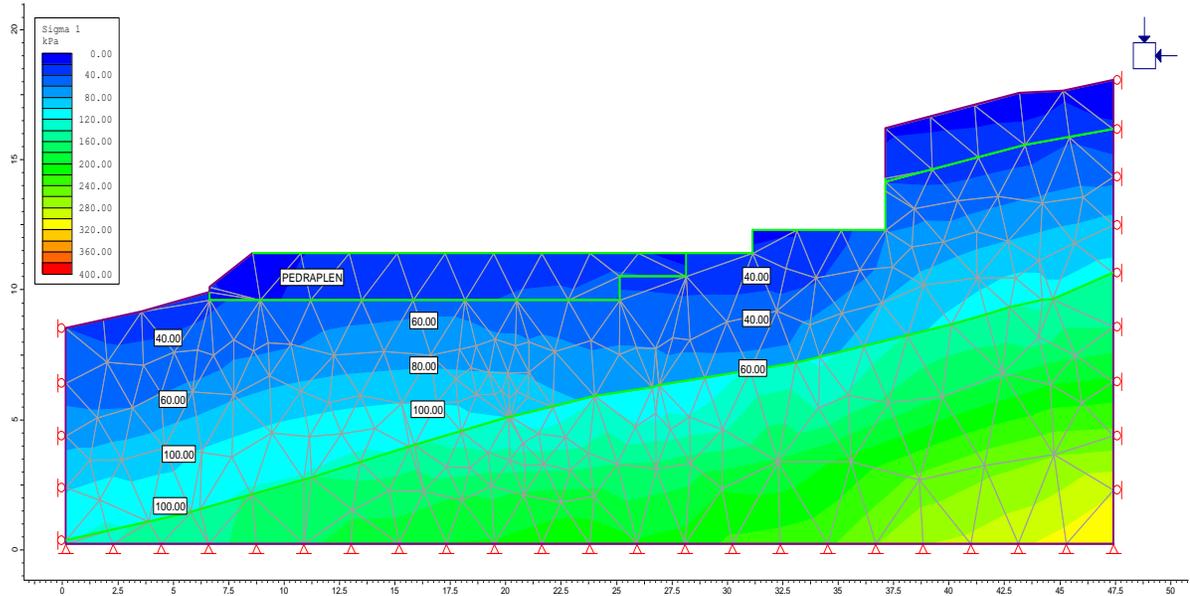
Nota. Resumen de los parámetros elaborados por el autor de la tesis

4.9.3. ESFUERZOS GENERADOS MEDIANTE EL SOFTWARE PHASE 2D.

A continuación, presentamos los resultados de esfuerzos generados por el modelamiento con el software Phase 2d (Rocscience)

Figura 38

Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la primera capa del pedraplén de 1.80 m de altura



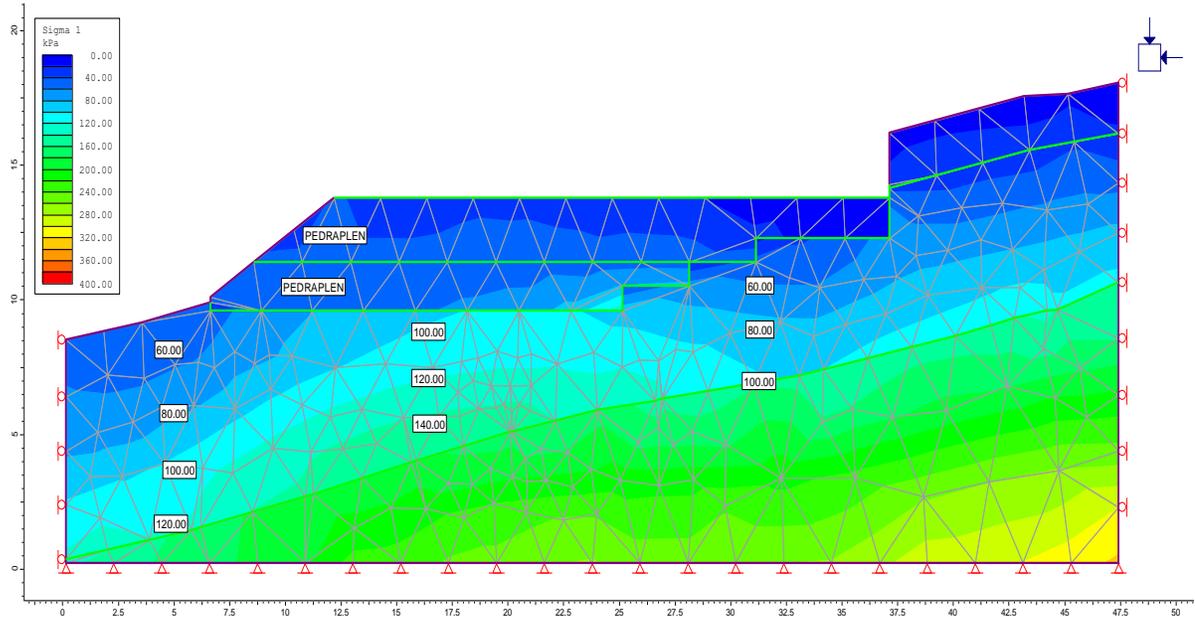
Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

INTERPRETACIÓN

Del resultado obtenido por el software Phase 2d, se observa que, con la construcción de la primera capa del pedraplén, genera esfuerzos en el suelo de fundación entre 40 – 60 KPa a profundidades entre 1.00 – 1.50 m. incrementándose los esfuerzos de 80 KPa a profundidades de hasta 4.00 m. y finalmente alcanzando valores de hasta 100 **KPa** en la zona de contacto entre el suelo lacustre y el basamento rocoso fracturado de arenisca.

Figura 39

Esfuerzos generados a diferentes profundidades generados por la construcción de la segunda capa del pedraplén de 3.60 m de altura



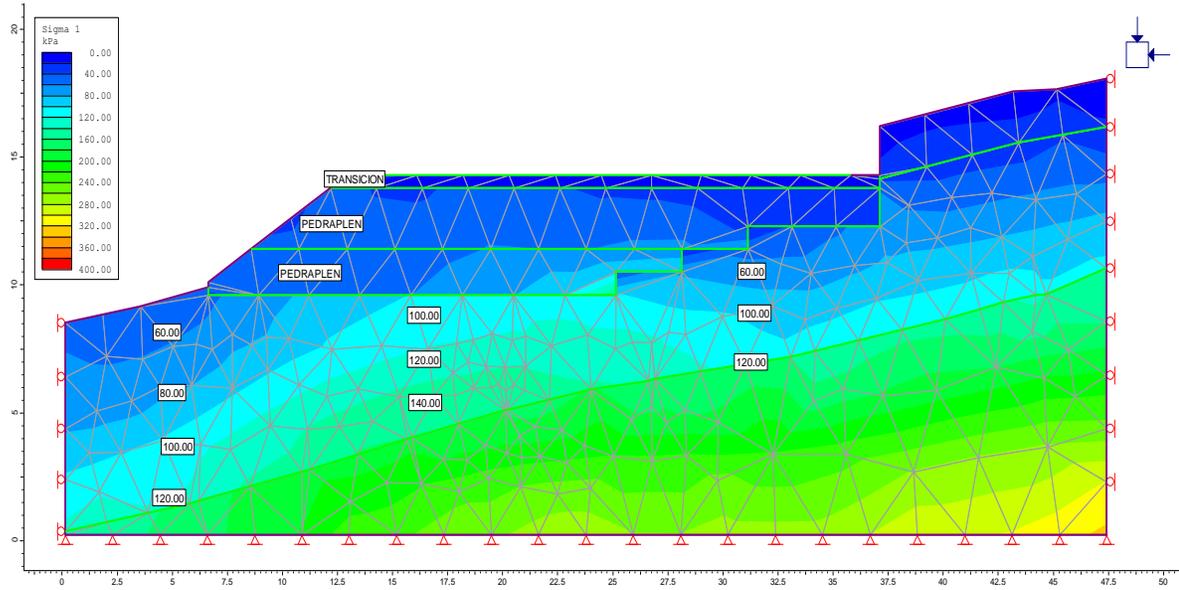
Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

INTERPRETACIÓN

Del resultado obtenido por el software Phase 2d, se observa que, con la construcción de la segunda capa del pedraplén (3.60 m.), los esfuerzos generados están entre 60 – 100 KPa a profundidades entre 1.00 – 1.50 m. notamos que, los esfuerzos se incrementan en la parte central del terraplén hasta 120 KPa a una profundidad de -4.00 m. y en la zona de contacto entre el basamento rocoso de arenisca y el material de cobertura (Deposito lacustre) los esfuerzos generados se mantienen alcanzando valores de hasta 140 KPa.

Figura 40

Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la capa de transición entre el pedraplén y el terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

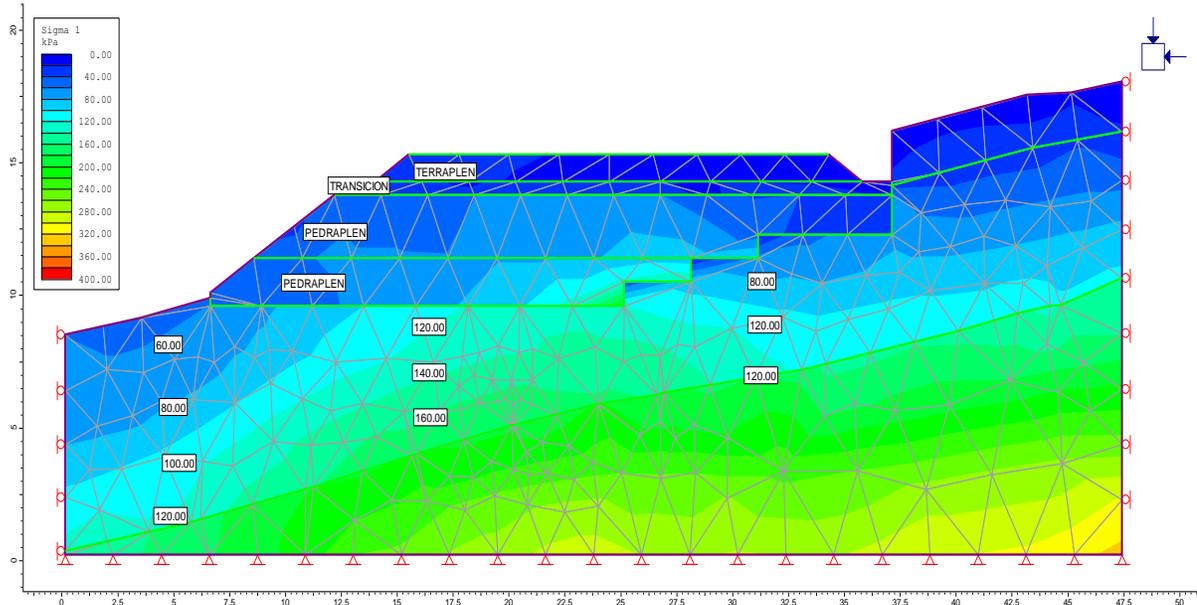
INTERPRETACION

Del procesamiento mediante el programa fase 2d, observamos que, con la conformación de la capa de transición entre el pedraplén y terraplén los esfuerzos generados se mantienen entre 100 – 120 KPa a profundidades entre 1.00 – 1.50 m. Así mismo,, los esfuerzos a profundidades de -4.00 m. no sufren modificación, manteniéndose en 120 **KPa**.

Así mismo, en el contacto entre el basamento rocoso de arenisca y los depósitos de cobertura de origen palustre, también se mantienen casi constantes, presentando valores entre 120 – 140 Kpa.

Figura 41

Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la primera capa del terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

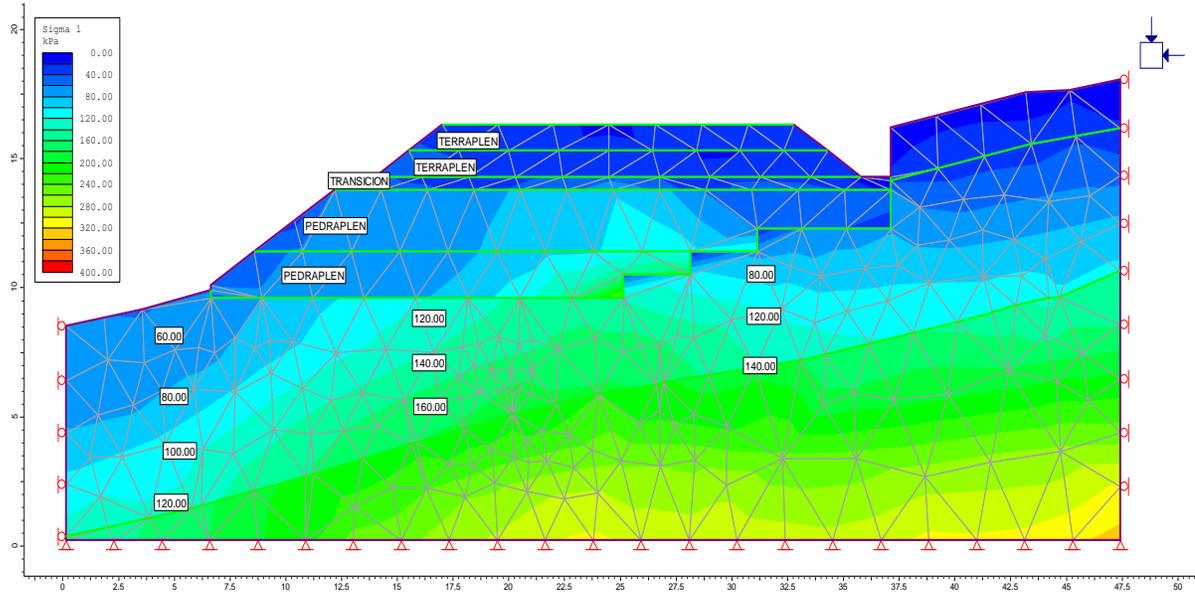
INTERPRETACIÓN

De los análisis realizados mediante elementos finitos observamos que, los mayores esfuerzos generados se generan en la parte central del terraplén, verificando que con la construcción de la primera capa de terraplén de 1.00 m. de espesor, se generan esfuerzos entre 80 – 120 KPa a profundidades entre 1.00 – 1.50 m. los cuales se incrementan a valores de hasta 140 Kpa a profundidades de -4.00 m.

Así mismo, notamos que, en la zona de contacto entre el basamento rocoso de areniscas y los depósitos de origen palustre, se generan esfuerzos máximos de hasta 160 KPa.

Figura 42

Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la segunda capa del terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

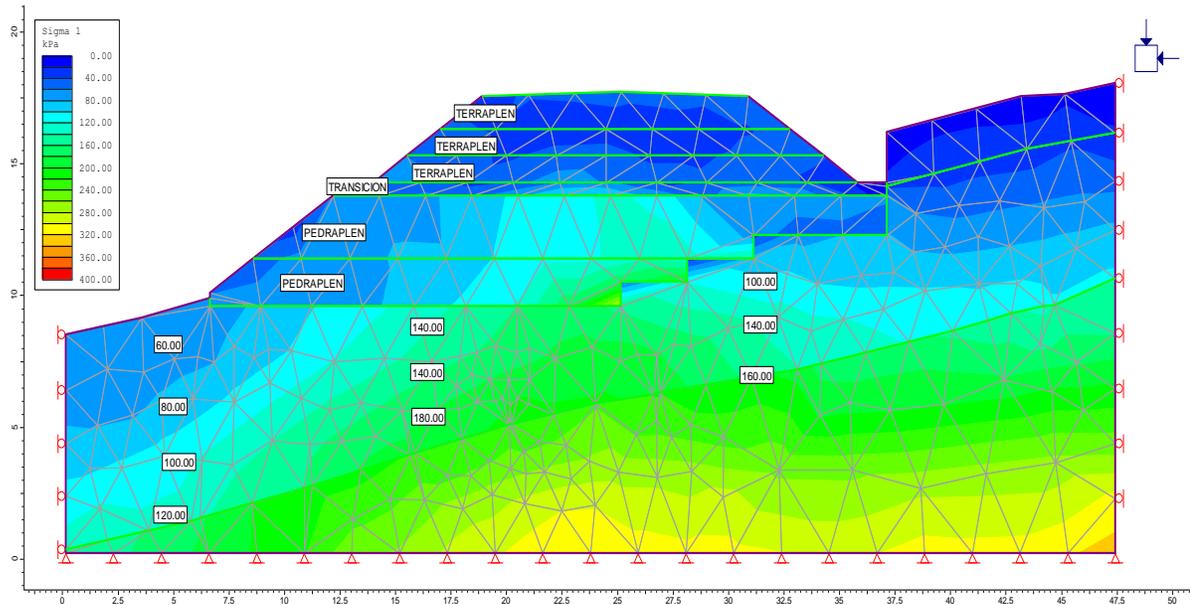
INTERPRETACIÓN

Del procesamiento de la información mediante elementos finitos, observamos que, en la zona de contacto entre el suelo de fundación y la estructura del pedraplén, donde se ha construido la segunda capa del terraplén de 1.00 m. de espesor, los esfuerzos generados se mantienen entre 80 – 120 KPa a una profundidad entre 1.00 – 1.50 m. y entre 80 - 140 KPa a profundidades de hasta 4.00 m.

Hacia la zona de contacto entre el material de cobertura y el basamento rocoso, los esfuerzos generados se mantienen con valores máximos de hasta 160 KPa.

Figura 43

Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la construcción de la tercera capa del terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

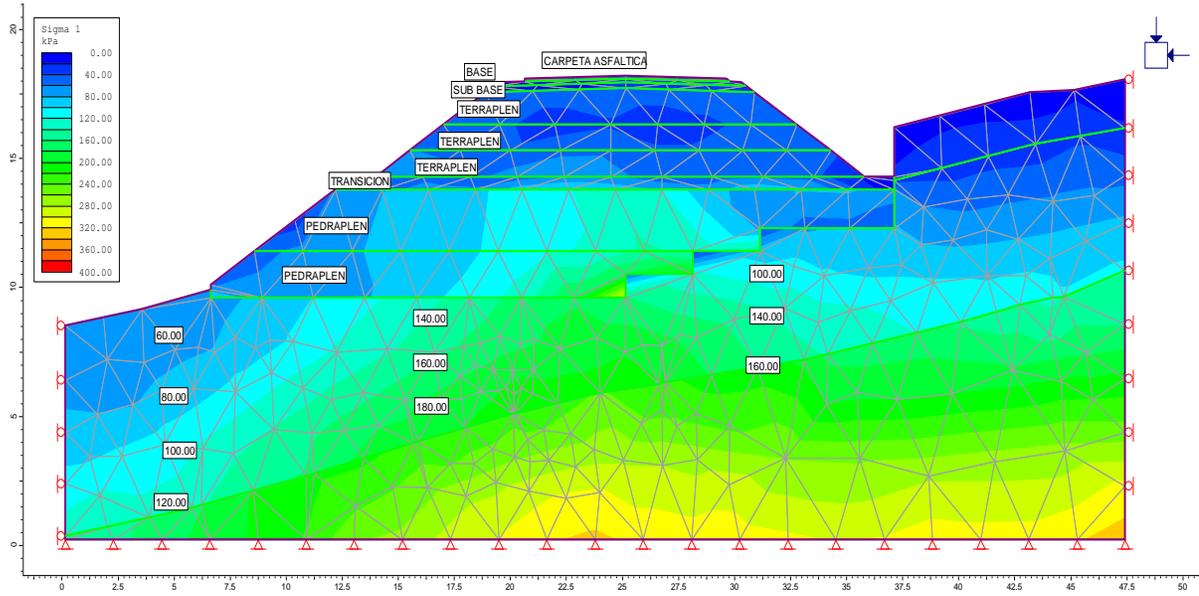
INTERPRETACIÓN

Del procesamiento de la información mediante elementos finitos, observamos que, con la construcción de la tercera capa del terraplén de 1.00 m. de espesor los esfuerzos generados se mantienen casi constantes, presentando valores entre 60 – 140 KPa a una profundidad entre 1.00 – 1.50 m. y entre 80 - 140 KPa a profundidades de hasta 4.00 m.

Hacia la zona de contacto entre el material de cobertura y el basamento rocoso, los esfuerzos generados se mantienen con valores máximos de hasta 180 KPa.

Figura 44

Esfuerzos generados a diferentes profundidades por la conformación de la Sub Base, Base y carpeta asfáltica.



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

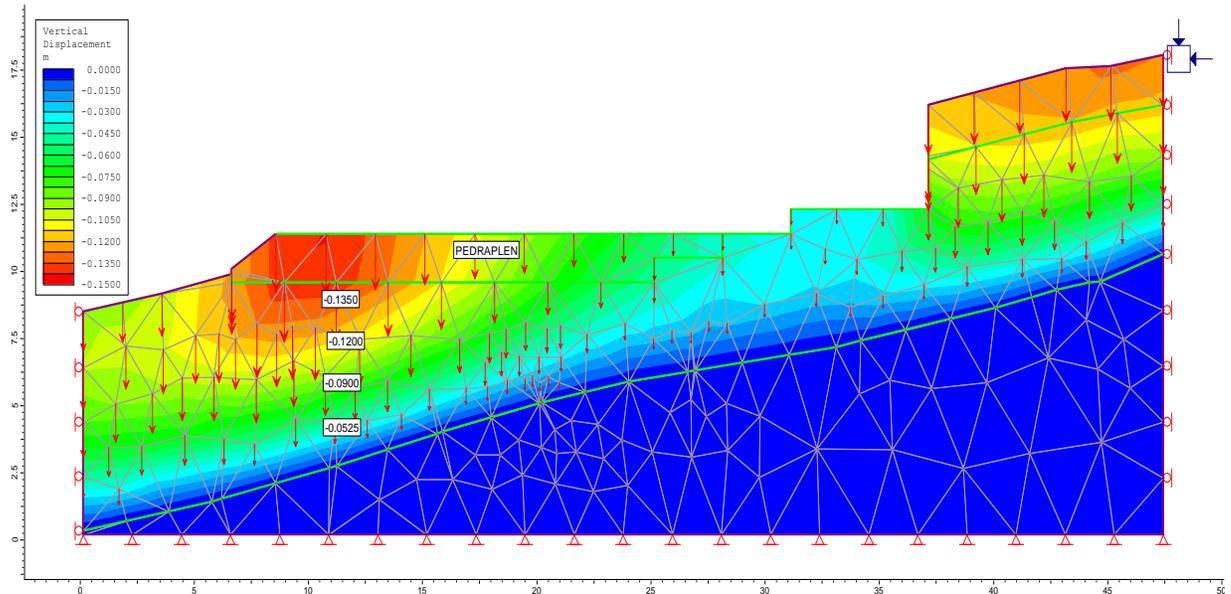
INTERPRETACIÓN

Por los resultados mostrados mediante el modelamiento por elementos finitos, observamos que, con el incremento de la estructura del pavimento conformado por la Sub Base, Base granular y Carpeta Asfáltica, los esfuerzos generados presentan los mayores valores en la parte central del terraplén, verificando que los valores se mantienen entre 60 – 140 KPa a una profundidad entre 1.00 – 1.50 m. y entre 80 - 160 KPa a profundidades de hasta 4.00 m. finalmente manteniéndose los esfuerzos de hasta 180 KPa al contacto con el basamento rocoso de arenisca con los depósitos de origen palustre (Arcillas limosas).

4.9.4. DEFORMACIONES GENERADOS EN EL SUELO DE FUNDACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE PHASE 2D.

Figura 45

Deformaciones totales del suelo de fundación con la conformación de la primera capa del pedraplén de 1.80 m. de altura



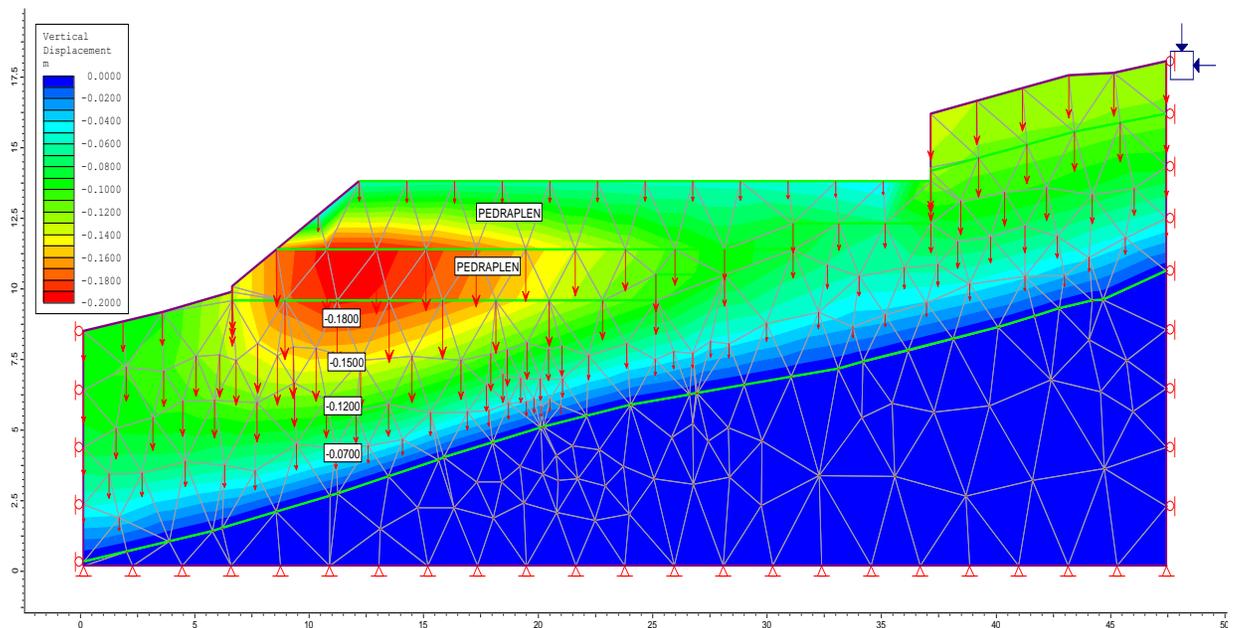
Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

INTERPRETACIÓN

De acuerdo con el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), la construcción de la primera capa del pedraplén (1.80 m) ocasiona que las mayores deformaciones en el suelo de fundación alcancen valores máximos de hasta 0.13 m. y se den en la zona donde se presenta mayor desnivel (lado izquierdo), verificamos además que, a mayor profundidad las deformaciones disminuyen a -0.0525 m. específicamente en la zona de contacto entre los depósitos de cobertura y el basamento rocoso de arenisca.

Figura 46

Deformaciones totales del suelo de fundación con la conformación de la segunda capa del pedraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

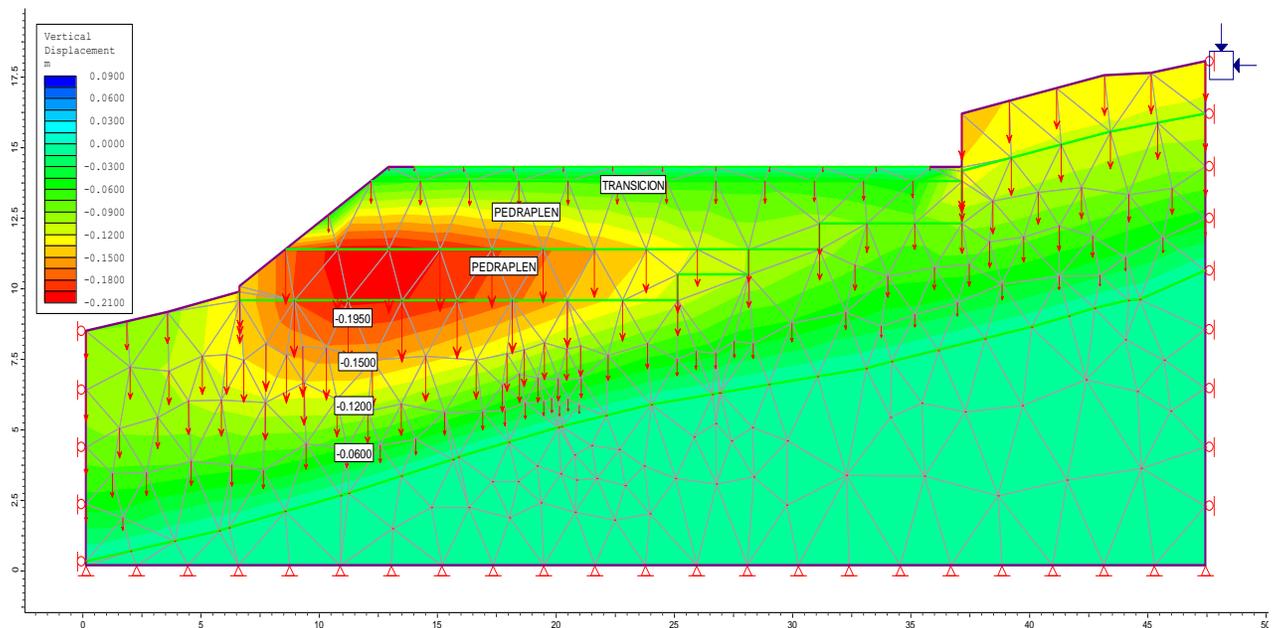
INTERPRETACIÓN

Con el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), muestra que, con la conformación de la segunda capa del pedraplén (4.20 m) el suelo de fundación experimenta deformaciones en la zona proximal al desnivel del lado izquierdo, produciéndose las mayores deformaciones de hasta -0.18 m.

Estos valores van disminuyendo a -0.07 m. en la zona de contacto entre el material de cobertura y el basamento rocoso de areniscas.

Figura 47

Deformaciones en el suelo de fundación provocados por la conformación de la capa de transición entre el pedraplén y terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

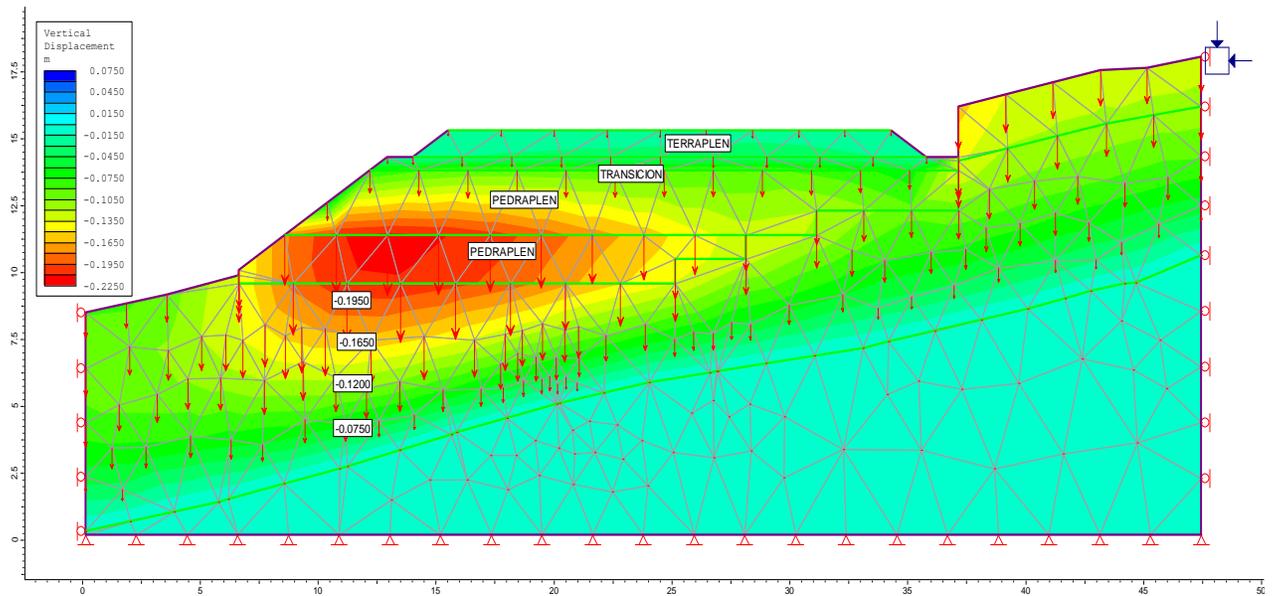
INTERPRETACIÓN

Por el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), muestra que, con la conformación de la capa de transición, el suelo de fundación experimenta las mayores deformaciones en el lado izquierdo del terraplén donde hay un desnivel con el terreno natural, provocándose deformaciones en el estrato arcilloso de suelo de fundaciones que da a la estructura del terraplén de hasta -0.19 m.

Mostramos además, que las deformaciones van disminuyendo hasta -0.06 m. en la zona de contacto entre los depósitos de origen palustre (Arcillas limosas) y el basamento rocoso de areniscas.

Figura 48

Deformaciones del suelo de fundación provocado por la construcción de la primera capa del terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

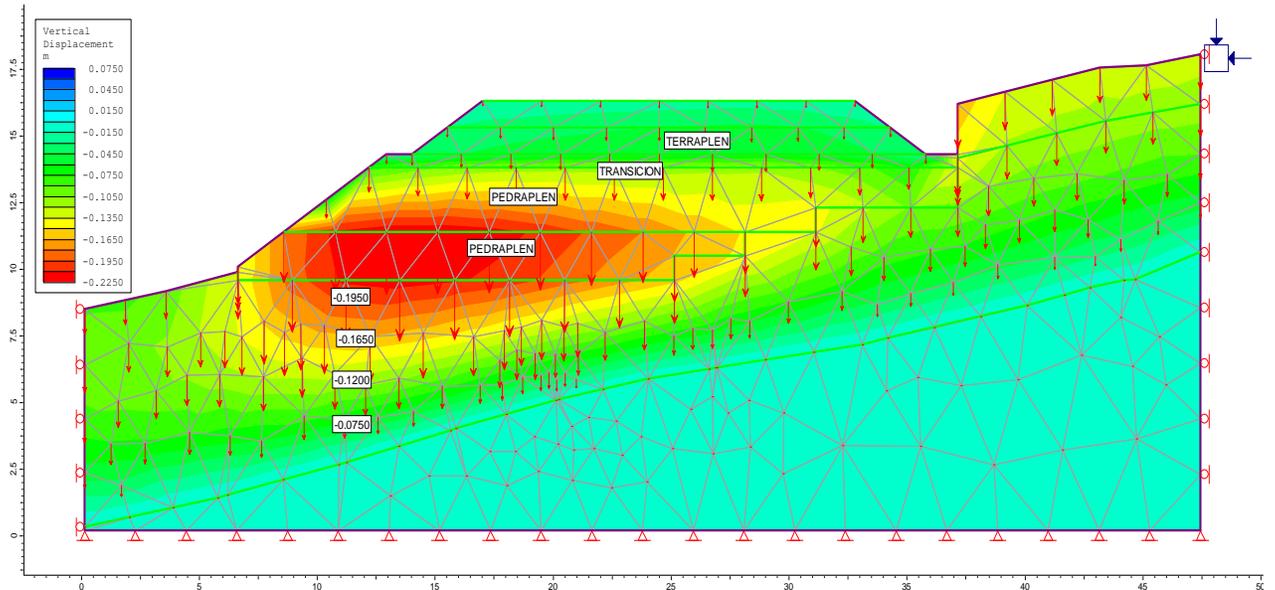
INTERPRETACIÓN

Por el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), se observa que, con la conformación de la primera capa del terraplén, los resultados muestran que las mayores deformaciones alcanzan valores de -0.195 m. y se da en la zona de contacto entre la estructura y el suelo de fundación, Así mismo,, la nula cohesión que conforma el cuerpo del pedraplén también experimenta deformaciones.

Verificamos además que, a mayor profundidad los asentamientos van disminuyendo hasta -0.0750 m. en la zona de contacto de los materiales de cobertura con el basamento rocoso de areniscas.

Figura 49

Deformaciones totales en el suelo de fundación por la conformación de la segunda capa del terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

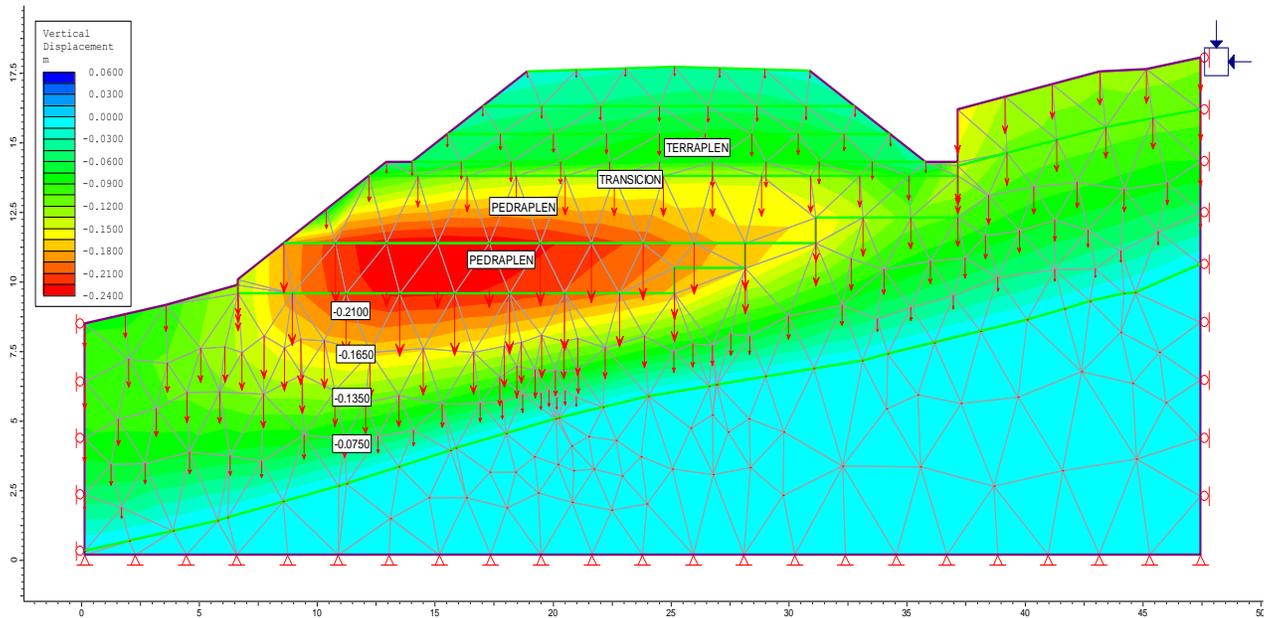
INTERPRETACIÓN

Por el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), verificamos que, con la conformación de la segunda capa del terraplén, los esfuerzos transmitidos por el peso de la estructura del terraplén provocan deformaciones en el estrato arcilloso de suelo de hasta -0.195 m. a nivel de cimentación, disminuyendo las deformaciones a -0.0750 m. en la zona de contacto entre el material de cobertura y el basamento rocoso de areniscas.

Así mismo,, del grafico observamos que, por la nula cohesión de las capas del pedraplén, se provocan deformación relacionado al acomodo de los bloques rocosos que alcanzan parte de la zona de transición.

Figura 50

Deformaciones del suelo de fundación provocado por la conformación de la tercera capa del terraplén



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

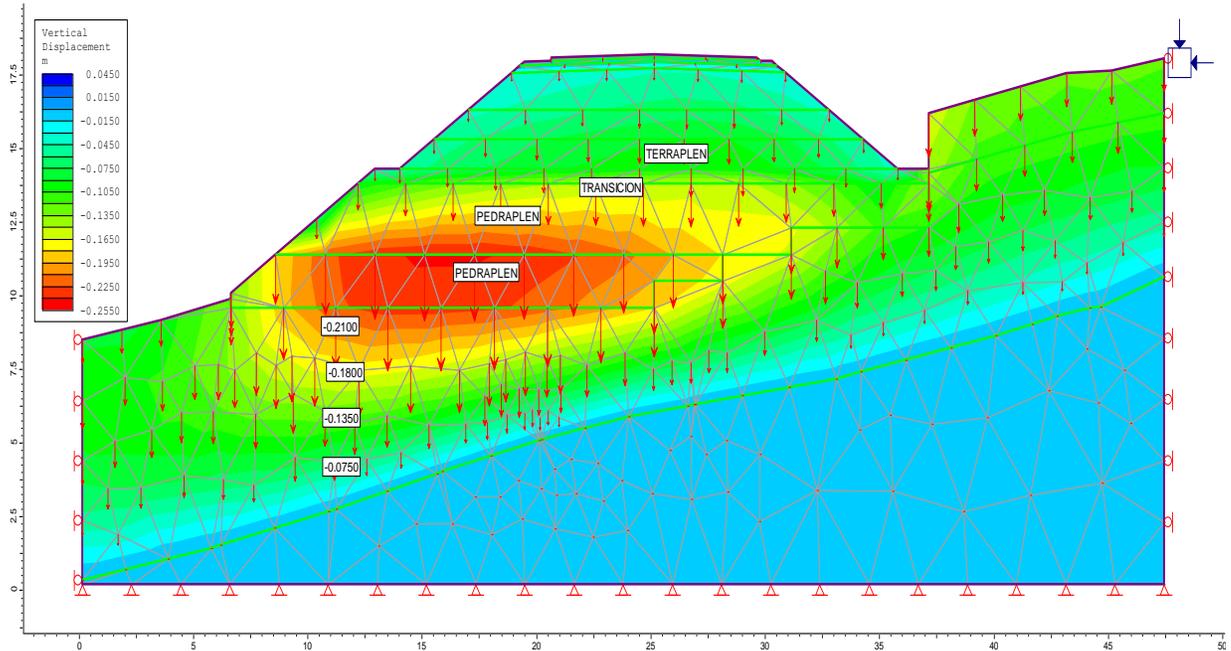
INTERPRETACIÓN

Por el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), verificamos que, con la conformación de la tercera capa del terraplén, los esfuerzos transmitidos por el peso de la estructura del terraplén provocan deformaciones en el estrato arcilloso de suelo de hasta -0.210 m. a nivel de cimentación, disminuyendo las deformaciones a -0.0750 m. en la zona de contacto entre el material de cobertura y el basamento rocoso de areniscas.

Así mismo,, del gráfico verificamos que, por la nula cohesión de los componentes del pedraplén, continúan provocando deformaciones relacionado al acomodo de los bloques rocosos que alcanzan parte de la zona de transición.

Figura 51

Deformaciones totales en el suelo de fundación ocasionado por la conformación de la estructura del pavimento (Sub Base, Base y carpeta asfáltica)



Nota. Elaboración propia a través del software Phase 2d (Rocscience).

INTERPRETACIÓN

Por el modelamiento por el método de elementos finitos (**MEF**), verificamos que, con la conformación de la Sub Base, Base y carpeta asfáltica, los esfuerzos transmitidos por el peso de la estructura del terraplén y pedraplén mantienen las deformaciones en el estrato arcilloso de suelo de hasta -0.210 m. a nivel de cimentación, disminuyendo las deformaciones a -0.0750 m. en la zona de contacto entre el material de cobertura y el basamento rocoso de areniscas.

Así mismo, del grafico verificamos que, por la nula cohesión de los componentes del pedraplén, continúan provocándose deformaciones relacionado al acomodo de los bloques rocosos que alcanzan parte de la zona de transición.

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADO

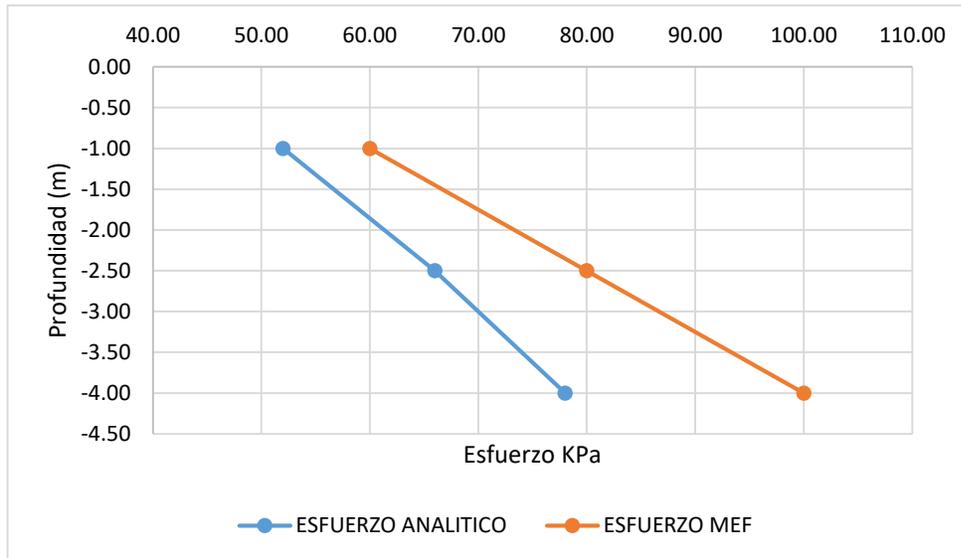
El cálculo del esfuerzo provocado por, la construcción de la estructura del pedraplén y el terraplén en sus diferentes etapas de construcción, mediante métodos analíticos presentan valores entre 52 KPa – 78 KPa a profundidades entre -1.00 m. a -4.00 m. y va incrementándose con la conformación de las capas superpuestas de las capas de pedraplén, transición, terraplén, estructura del pavimento alcanzando valores máximos de hasta 165 KPa. A – 4.00 m. de profundidad.

Con el modelado mediante elementos finitos (MEF) con el software Phase 2d, se han obtenido esfuerzos transmitidos al terreno entre 60 KPa a 100 KPa a profundidades entre -1.00 a -4.00 m. y con la conformación de las capas restantes del pedraplén, transición, terraplén y estructural del pavimento (Sub base, Base, Carpeta Asfáltica) alcanza valores de esfuerzos entre 140 KPa a 180 KPa. A las mismas profundidades, existiendo una variación entre 8.00% a 32%.

La ventaja del modelamiento Mediante Elementos Finitos (**MEF**) es que se puede verificar la distribución de esfuerzos a diferentes profundidades conforme se observa en la franja de colores indicadores de los esfuerzos producidos.

Figura 52

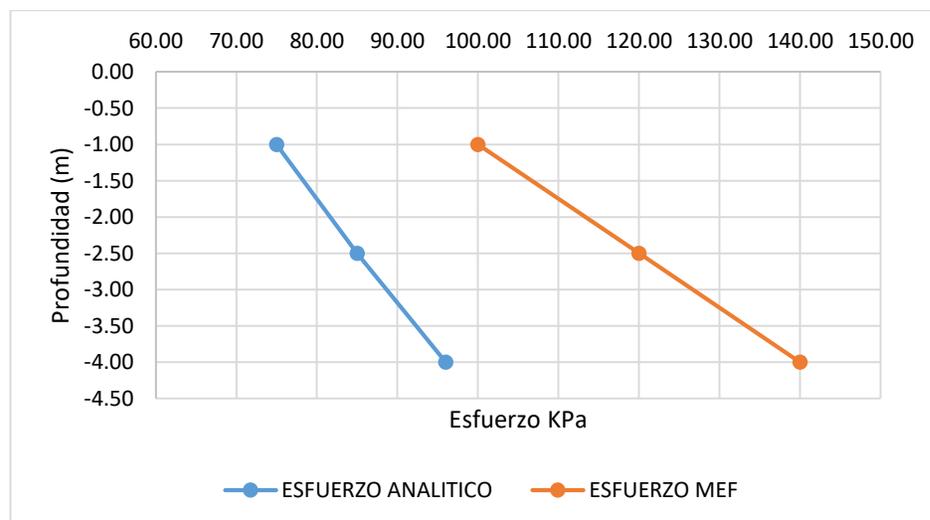
Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la primera capa del pedraplén



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 53

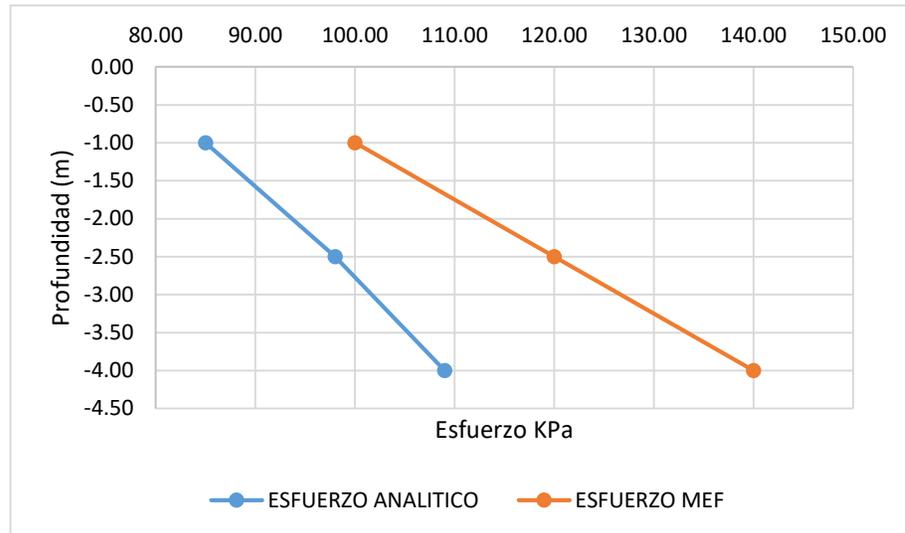
Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de las dos capas del pedraplén



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 54

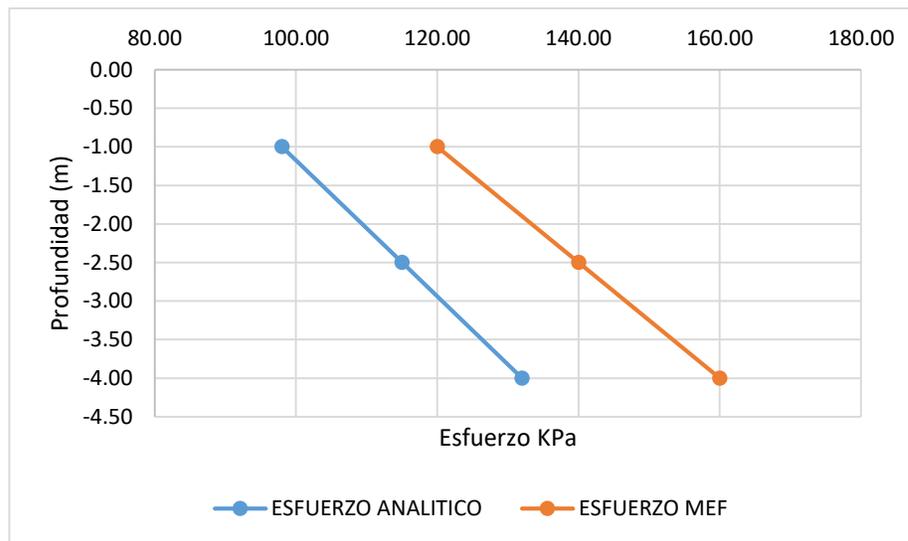
Comparación del esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la zona de transición entre el pedraplén y terraplén



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 55

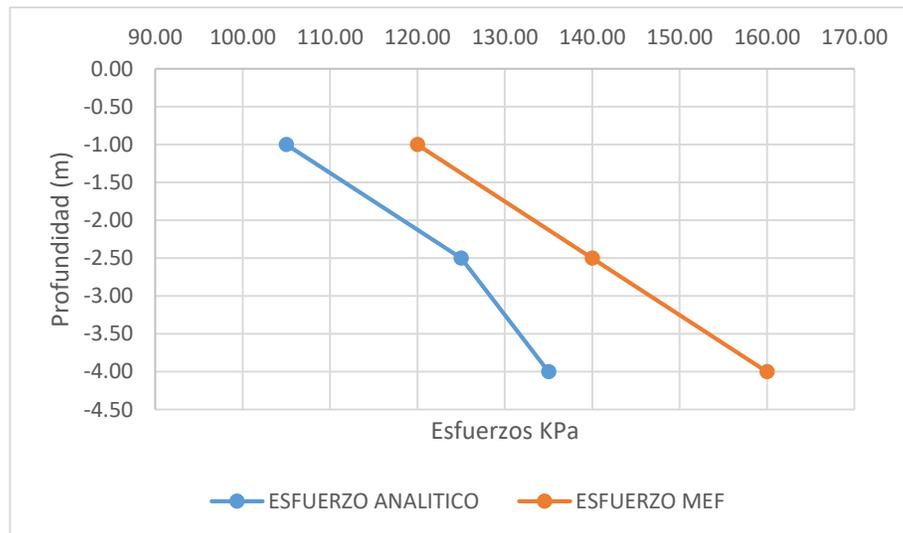
Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la primera capa del terraplén



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 56

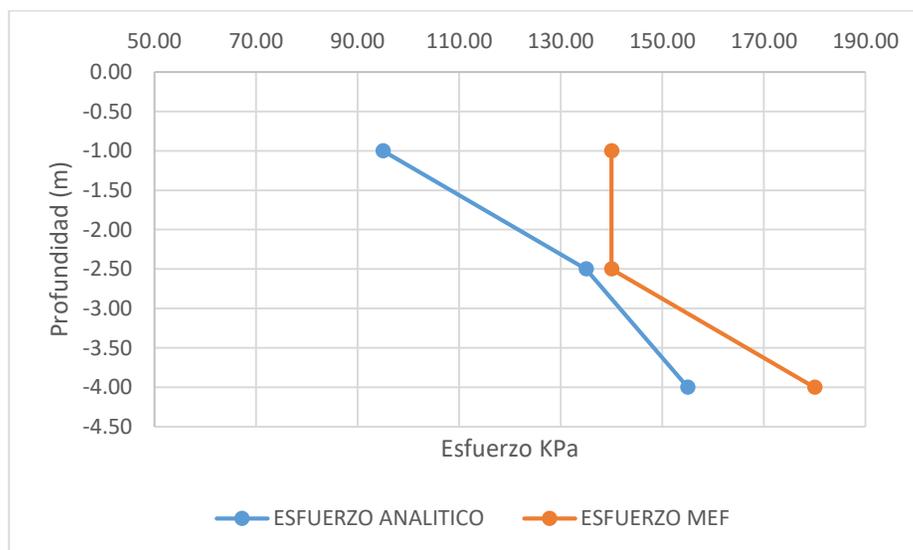
Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la segunda capa del terraplén



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 57

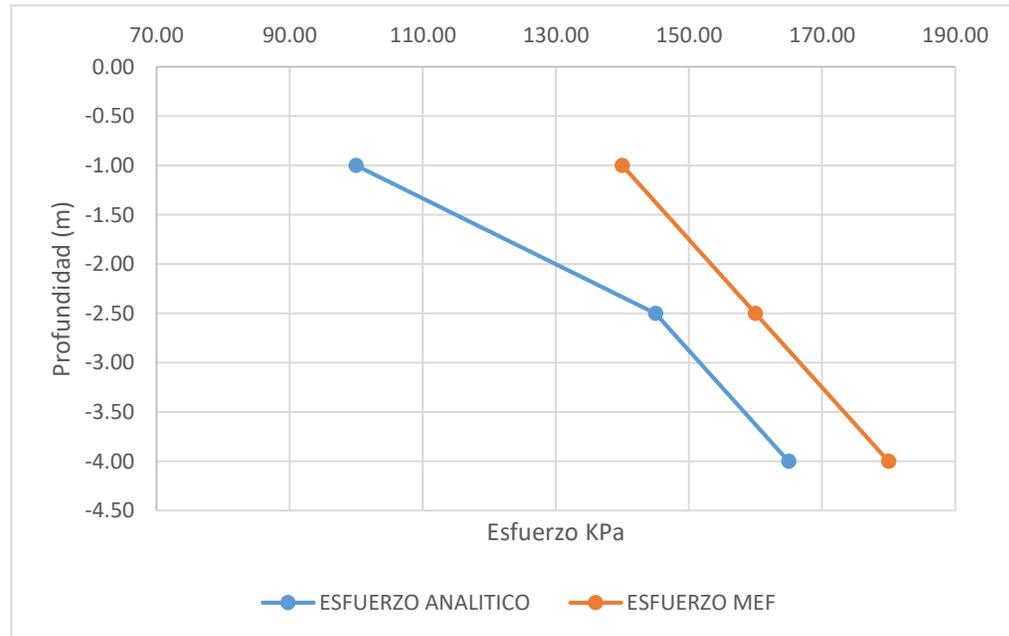
Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la tercera capa del terraplén



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 58

Comparación entre el esfuerzo calculado de forma analítica y por elementos finitos para la conformación de la Sub Base, Base y carpeta asfáltica



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

El método analítico utilizado en la obtención del asentamiento que sufre la construcción de las diferentes etapas del pedraplén y terraplén, indican como resultado asentamientos totales de 15.353 cm. (C-01), 13.097 (C-2), 14.859 (C-3), 14.704 (C-4) en el centro de la estructura compuesta del pedraplén y terraplén a nivel de superficie del terreno. Estos resultados finales abarcan el asentamiento instantáneo, por consolidación primaria y por consolidación secundaria, se ha considerado un tiempo de consolidación primaria de 5 años y consolidación secundaria un periodo de tiempo de 10 años.

Por otro lado, el método numérico utilizando por el software Phase 2d basado en el modelamiento por elementos finitos, la construcción secuencial de las diferentes etapas de

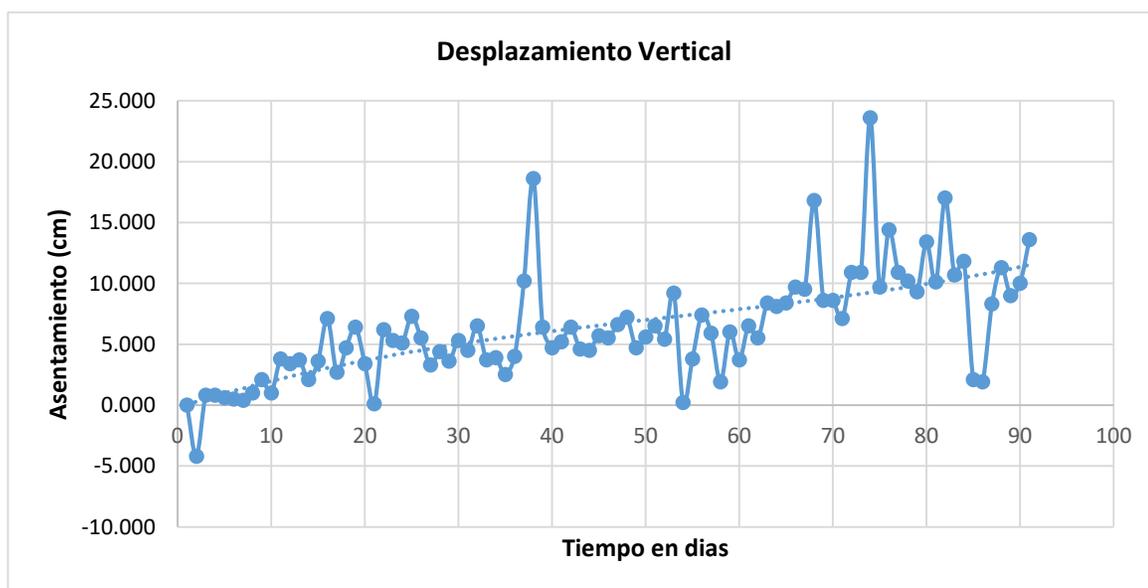
conformación del pedraplén y terraplén indica un asentamiento en el centro del terraplén de 21.00 cm. el cual se desarrolla gradualmente a medida que el exceso de presión de poros se disipa.

De ambos métodos utilizados hay una variación de 26.00 %.

Durante la ejecución de obra de la estructura compuesta (Pedraplén y terraplén), se han hecho monitoreos topográficos de los niveles de conformación, conforme a las especificaciones técnicas del expediente técnico; el cual indica un periodo de tiempo de 3 meses, en cuyos resultados se observa que, los asentamientos sufridos han alcanzado valores de hasta 24cm. Como es apreciable en la siguiente figura.

Figura 59

Monitoreo topográfico de los asentamientos provocados por la construcción del pedraplén, terraplén, Sub Base, Base y carpeta asfáltica



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

5.2 PRUEBAS DE HIPÓTESIS

5.2.1 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis General

Con la aplicación de elementos finitos se puede predecir la consolidación de suelos orgánicos para la construcción de pedraplenes entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

Los asentamientos totales y de esfuerzos ejercidos por la construcción del pedraplén en sus distintas etapas han sido modelados mediante elementos finitos por el software Phase 2d, donde se pudo apreciar que, el cálculo de los asentamientos totales de manera analítica con respecto al modelado por el programa presenta una variación de 26.00% y los esfuerzos calculados en comparación al modelamiento presenta variación entre 8 – 32% relacionado a la disposición del basamento rocoso.

Esta hipótesis general fue probada mediante la prueba individual de cada una de las hipótesis, puesto que la hipótesis general engloba a cada uno de los parámetros mencionados.

5.2.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1

Hipótesis nula

$H_0 : \mu \geq 15$ No se puede analizar mediante elementos finitos la deformación de suelos orgánicos durante las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

Hipótesis Alternativa

H1 : $\mu < 15$ Se puede analizar mediante elementos finitos la deformación de suelos orgánicos durante las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

Nivel de significación α : 0.01% Nivel de significación (95% de nivel de confianza)

Estadístico de prueba Z

según formula:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Donde:

x: 136.66 (Mediana)

μ : 180.00 (Muestra Poblacional)

σ : 73.54 (Desviación Estándar)

n: 03 (Número de elementos)

Z = -1.0206

Figura 60

Áreas bajo la curva normal para la prueba de hipótesis 1

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633

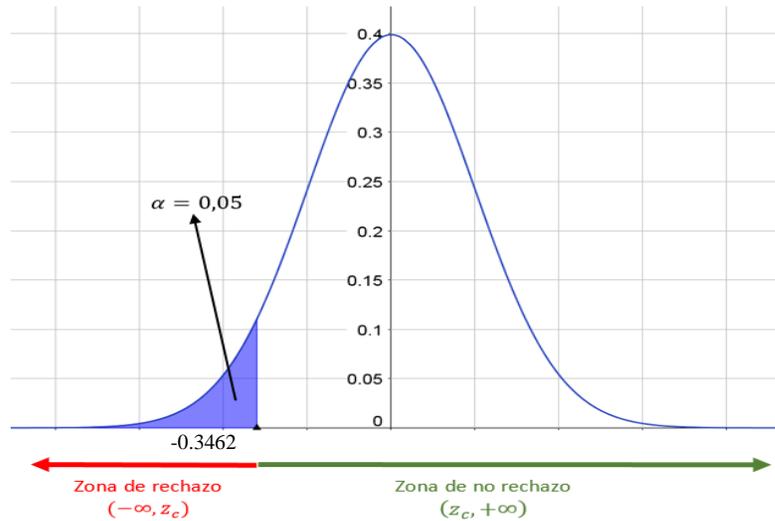
Nota. Datos obtenidos de la página de internet

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106113/Distribuci%C3%B3n%20Normal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zona de aceptación y de rechazo.

Figura 61

Zona de aceptación y rechazo para la prueba de hipótesis 1



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

$$P = 0.50 - 0.3462 = 0.0011$$

Entonces $0.01 > 0.0011$ por lo tanto, se rechaza la Hipótesis Nula y se acepta la Hipótesis Alternativa “Se puede analizar mediante elementos finitos la deformación de suelos orgánicos durante las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay”

5.2.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

Hipótesis nula

$H_0 : \mu \geq 150$ No se puede analizar mediante elementos finitos los esfuerzos producidos durante las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

Hipótesis Alternativa

H1 : $\mu < 150$ Se puede analizar mediante elementos finitos los esfuerzos producidos en suelos orgánicos durante las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay.

Nivel de significación α : 0.01% Nivel de significación (95% de nivel de confianza)

Estadístico de prueba Z

según formula:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Donde:

x: 132.714 (Mediana)

μ : 180.00 (Muestra Poblacional)

σ : 30.543 (Desviación Estándar)

n: 07 (Número de elementos)

Z = -3.2298

Figura 62

Áreas bajo la curva normal para la prueba de hipótesis 2

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

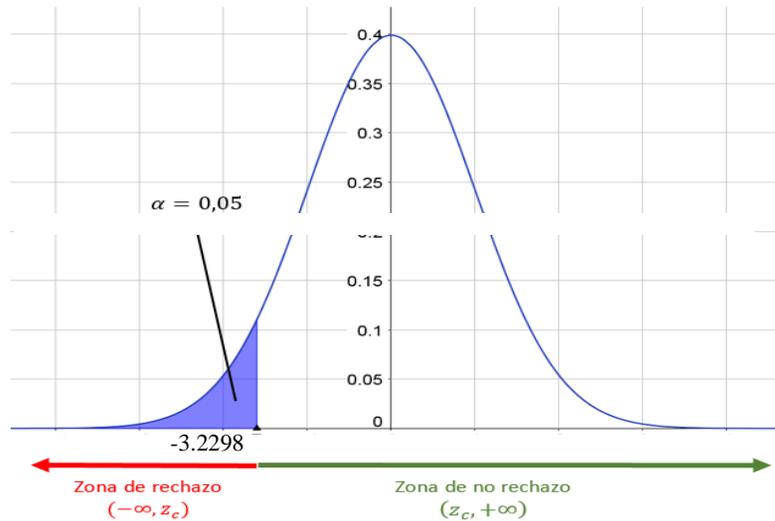
Nota. Datos obtenidos de la página de internet

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106113/Distribuci%C3%B3n%20Normal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zona de aceptación y de rechazo.

Figura 63

Zona de aceptación y de rechazo para la prueba de hipótesis 2



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

$$P = 0.50 - 0.4987 = 0.0013$$

Entonces $0.01 > 0.0011$ por lo tanto, se rechaza la Hipótesis Nula y se acepta la hipótesis Alternativa “Se puede analizar mediante elementos finitos los esfuerzos generados en suelos orgánicos durante las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000 de la carretera Canta – Huayllay”

5.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la Gráfico de las curvas esfuerzo – deformación emitida por el software Phase 2d verificamos que, las deformaciones en la subrasante conformada por arcillas plásticas son directamente proporcionales a la carga aplicada, es así como, las deformaciones presentan un rango de valores entre 18 mm. – 27 mm.

Así mismo, indicamos que, por la presencia de basamento rocoso con una inclinación conforme se representa en la imagen 49, la distribución de presiones no es uniforme por debajo del cuerpo de la estructura compuesta por el pedraplén y terraplén.

Para el análisis numérico y modelamiento por elementos finitos (**MEF**) se han utilizado los mismos parámetros geotécnicos (Angulo de fricción, cohesión, peso unitario), obtenidos a partir de los resultados de las muestras alteradas e inalteradas y que han sido procesados en el laboratorio de mecánica de suelos, a excepción de los valores del Módulo de Deformación (E), y Poisson (ν) los cuales fueron tomados de la publicación de McCarthy, 1998. Dichos parámetros geotécnicos, influyen directamente en la representación real de las condiciones que procesa el software Phase 2d (Rocscience). Por lo que, los ensayos a realizar deben de cumplir estrictamente con los procedimientos establecidos en “El Manual de Ensayo de Materiales”, que toma como referencia la normatividad de las instituciones técnicas reconocidas internacionalmente, tales como **AASHTO**⁹, **ASTM**¹⁰, Instituto del Asfalto **ACI**¹¹, **NTP**¹², entre otras.

⁹ AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

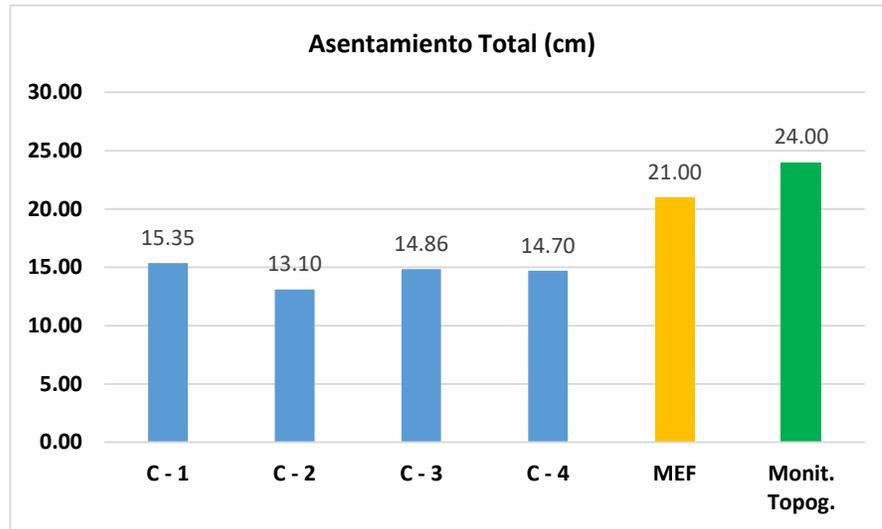
¹⁰ ASTM: American Society for Testing and Materials

¹¹ ACI: American Concrete Institute

¹² NTP: Normas Técnicas Peruanas

Figura 64

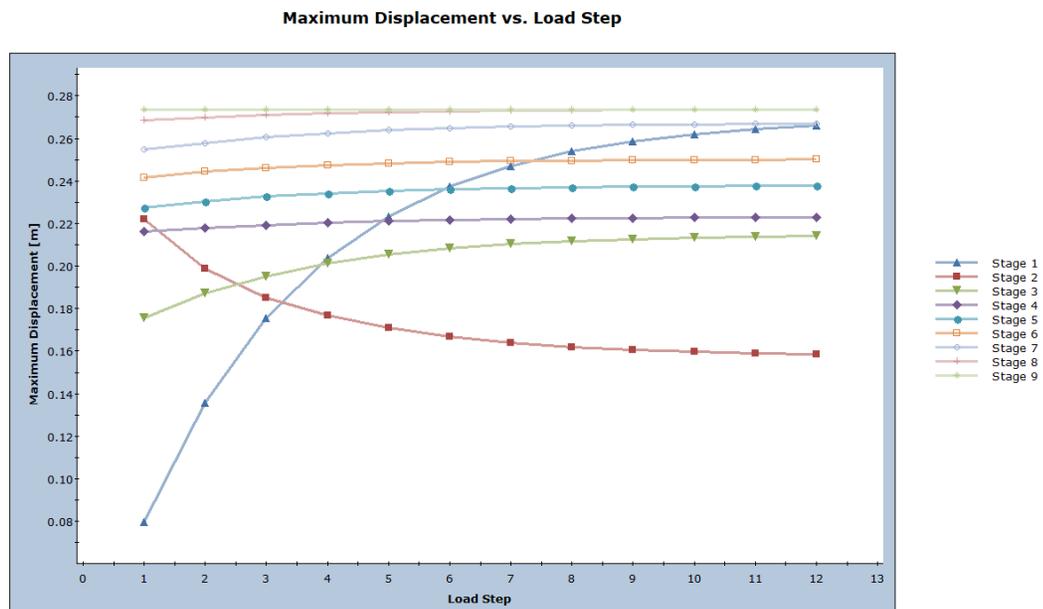
comparación de los asentamientos totales obtenidos mediante análisis numérico, elementos finitos y Monitoreo topográfico



Nota. Gráfico elaborado por el autor de la tesis

Figura 65

Resultados de la curva esfuerzo - deformación en las diferentes etapas (stages) de la conformación de la estructura del pedraplén y terraplén



Nota. Elaborado por el autor de la tesis a través del software Phase 2d (Rocscience)

CONCLUSIONES

- Se determinó que, las deformaciones de los suelos arcillosos en las diferentes etapas de construcción del pedraplén entre las progresivas Km. 90+000 – 95+000, mediante método analítico presenta asentamientos totales de 15.353 cm. (C-01), 13.097 (C-2), 14.859 (C-3), 14.704 (C-4), y por método numérico (Método de Elementos Finitos), se obtuvo un asentamiento máximo del terraplén de 21.00 cm. desarrollándose gradualmente a medida que el exceso de presión de poros se disipa, de ambos métodos utilizados hay una variación de 26.00 %. Estos resultados han sido comparados con el monitoreo topográfico durante la ejecución de la estructura, cuyos resultados muestran que, los asentamientos sufridos han alcanzado valores de hasta 24.00 cm.
- Se calcularon los esfuerzos que se producen en los suelos arcillosos para la construcción del pedraplén, los cuales, mediante métodos analíticos presentan valores entre 52 KPa – 78 KPa a profundidades entre -1.00 m. a -4.00 m. y va incrementándose con la conformación de las capas del pedraplén, transición, terraplén y la estructura del pavimento, alcanzando valores máximos de hasta 165 KPa. A – 4.00 m. de profundidad. Con el modelado mediante elementos finitos (MEF) se han determinado que, los esfuerzos transmitidos al suelo de fundación están entre 60 KPa a 100 KPa a profundidades entre -1.00 a -4.00 m. y con la conformación de las capas restantes del pedraplén, transición, terraplén y estructural del pavimento (Sub Base, Base, Carpeta Asfáltica) alcanzan valores entre 140 KPa

a 180 KPa. A las mismas profundidades, existiendo una variación entre 8.00% a 32%.

- Se analizó la relación entre las deformaciones y los esfuerzos generados en las diferentes etapas de construcción del pedraplén, transición, terraplén y estructura del pavimento, verificándose que, de acuerdo con la Gráfico de las curvas esfuerzo – deformación, las deformaciones en la subrasante son directamente proporcionales a la carga aplicada, presentando valores de deformación entre 18 mm. – 27 mm. Así mismo por la presencia de basamento rocoso con una inclinación conforme influye en la distribución de presiones siendo no uniforme por debajo del cuerpo de la estructura compuesta por el pedraplén y terraplén.

- Se determinó la influencia de los parámetros geotécnicos de los suelos orgánicos en la construcción del pedraplén y terraplén donde se han utilizado los mismos parámetros geotécnicos (Angulo de fricción, Cohesión, Peso unitario), obtenidos de las muestras que han sido procesados en el laboratorio de mecánica de suelos, a excepción de los valores del Módulo de Deformación (E), y Poisson (ν) los cuales fueron tomados de la bibliografía existente. Dichos parámetros geotécnicos, influyen directamente en la representación real de las condiciones que procesa el software Phase 2d (Rocscience).

RECOMENDACIONES

- La solución analítica utilizada en el cálculo de asentamiento instantáneo por consolidación primaria y secundaria son útiles, nos dan un acercamiento acerca del comportamiento del suelo y la deformación del terraplén. Sin embargo, no debe ser determinante en los resultados obtenidos, puesto que usa varias simplificaciones que pueden conducir a una mala interpretación del comportamiento de los suelos.
- Los resultados de las pruebas de laboratorio son muy importantes, puesto que de estos resultados depende el grado de confiabilidad de la prueba realizada mediante modelamientos numéricos y modelamiento por elementos finitos; Sin embargo, pueden existir variaciones entre las situaciones del laboratorio donde se realizan la prueba de los suelos y el estado real que presenta los suelos debajo del terraplén, Por ello, recomendamos que, para terrenos con suelos plásticos compresibles, los ensayos realizados en campo sean los de mayor uso para un mayor afianzamiento del comportamiento real del terreno.
- Existiendo alternativas en el análisis mediante elementos finitos, recomendamos probar con otros modelos alternativos para poder comparar los resultados con los métodos analíticos de uso frecuente, como el modelo Hardening-Soil, Soft-Soil, etc. el cual incluye el uso de diferentes parámetros de rigidez para

direcciones variables de carga, y en consecuencia se obtendrán resultados más realistas.

- Finalmente, en nuestra investigación realizada no se ha tomado en cuenta los diferentes métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo propios de la geotecnia, como ejemplo los tratamientos que incrementan el proceso de consolidación: Columnas de grava, drenes, sustitución dinámica, etc. y los que aportan rigidez al terreno; lo cual permite disminuir los asientos: geosintéticos, vibro flotación, jet grouting, deep soil mixing, etc. Siendo estos procesos de tratamiento muy eficaces con el mismo método usado para determinar la deformación del suelo, la disminución del exceso de presión de poros y su comportamiento en el tiempo, contribuyendo a incrementar los conocimientos respecto al comportamiento de los suelos plásticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INGEMMET, Boletín N° 31, Serie A: Carta Geológica Nacional “Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba”, hojas: 15-f, 15-g, 16-g
- Auboquen J. (1981). *Petrografía*- Edición Edit Omega –Barcelona.
- Krynine D. (1972). *Principios de la Geología y la Geotecnia para Ingenieros* –Edit. Omega –Barcelona.
- Juarez B. Rico (1984). *Mecánica de suelos* - Edit. Limusa Mexico. Tomo I, II
- Alberto J. Martínez Vargas (1990). *Geotecnia para Ingenieros*, Volumen 1 - Principios Básicos, Lima, Lluvia Editores.
- Alberto J. Martínez Vargas (1991). *Geotecnia para Ingenieros*, Volumen 11 Mecánica de Suelos, Lima, Editorial Limusa.
- Alfonso Rico y Hermilio del Castillo. (1998). *La Ingeniería de Suelos en las Vías terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*, Volumen 1 y Volumen 2 México, Editorial Limusa.
- Jorge L. Castillo Aedo (1995). *Peligro Sísmico en el Perú*
- Crespo Villalez, C. (1980). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Editorial Limusa.
- Terzaghi, K. y R. B: Peck (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley, New York.
- Lambe, T. W. y R. V. Whitman (1969), *Soil Mechanics*, John Wiley, New York.
- González de Vallejo, L.; FERRER, M (2002), *Ingeniería Geológica*, Prentice Hall, España.

Anexo 1

PANEL FOTOGRAFICO

Figura 66

Equipos de consolidación unidimensional utilizado en la obtención de la curva de compresibilidad.



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 67

Equipos que conforman el laboratorio de la empresa GEOLABP INGENIEROS EIRL



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 68

Realización de los ensayos para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 69

Vista de la realización del contenido de humedad



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 70:

Vista de la conformación del pedraplén en la zona de elaboración de la tesis Km. 93+100

Carretera Canta - Huayllay



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 71:

Vista de la conformación del pedraplén en la zona que comprende el área donde se ha elaborado la presente tesis Km. 93+100 Carretera Canta - Huayllay



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 72:

Vista de la conformación de la zona de transición y terraplén en la zona de elaboración de la tesis Km. 93+600 Carretera Canta - Huayllay



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 73:

Vista de la conformación de la zona de transición de entre el pedraplén y terraplén con materiales seleccionados en la progresiva Km. 94+200 Carretera Canta - Huayllay



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 74:

Vista del proceso constructivo de colocación del geotextil para la conformación de la zona de transición de la estructura del terraplén en la vía Canta - Huayllay



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Figura 75:

Vista del proceso constructivo de conformación de la Base del pavimento en la via Canta - Huayllay



Nota. Elaborado por el autor de la tesis

Anexo 2

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS
DE LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS**

		Dirección: Asoc. 1° de Enero 1 - 25 Dist. Santiago - Cusco Teléfono: 988901062 - 9841456257 RPM #988901062 e-mail: luisangel120@gmail.com		ESTUDIO GEOTECNICO DE CIMENTACIONES	
PROYECTO : ANALISIS DE LA CONSOLIDACION DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS		UBICACION : SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO		CALICATA <h1 style="margin: 0;">CG-01</h1>	
COORDENADAS :		FECHA : 7/06/2023			
SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA					
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
EXPLORACION: A cielo abierto (calicata)		COTA : N.F. (m)		SI	
				REGISTRADO POR : Ing. Marco Tapia	
				REVISADO POR : Ing. Luis Bellido	
Prof. (m)	Muestra	Símbolo	Descripción	Clasificación SUCS/AASHTO	
0.00			Material redepositado de arcilas limosas de color marron rojizo oscuro Predominancia de abundantes raices en la parte superior Compacidad suelta Presenta alta plasticidad Consistencia Suave Grado de Humedad media	SUELO ORGANICO	
0.50			Arcillas limosas inorganicas de mediana a alta plasticidad Tonalidad del Deposito: Marron oscuro Aspecto. Homogeneo Consistencia. Media El pulgar penetra con dificultad Dilatacion. Lenta Alta resistencia a la disgregacion en estado seco Mediana compresibilidad Baja permeabilidad Grado de Humedad. Muy Humedo por asencion capilar Nula efervescencia al contacto con HCl. Presenta gravas en la parte inferior y se incrementa a mayor profundidad.	ARCILLAS LIMOSAS DE MEDIANA PLASTICIDAD SUCS: CL	
1.00					
1.50	M - 1				
2.00					
2.50					
3.00					
3.50					
4.00					
4.50					
5.00					
OBSERVACIONES					
MAB: muestra alterada en bolsa MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo					



ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS – INGENIERIA
DE CIMENTACIONES – ESTABILIDAD DE TALUDES
PROYECTOS

GEOLABP INGENIEROS E.I.R.L.

Urb. 1º de Enero 1 – 25 – Santiago – Cusco, Cel. 988901062 – 984146257 RPM #988901062, e-mail: luisangel120@gmail.com

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - ASTM D 422 - NTP 400.012

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO :

APROBADO POR : Ing. Luis A. Bellido P.

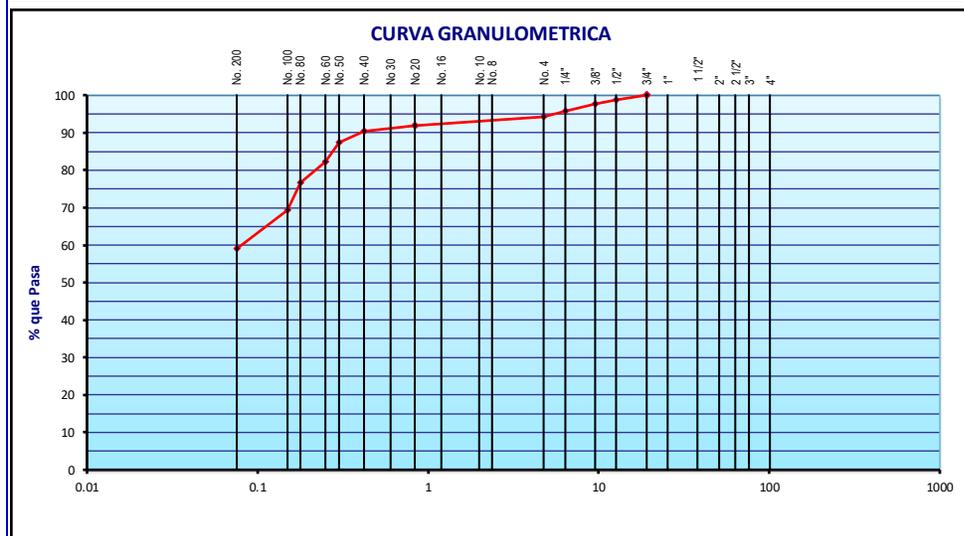
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 3.50 m.

CALICATA : C - 1

MUESTRA : M - 01

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra	
				Parcial	Acumulado				
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600							
	3"	76.200						Grava > 3"	
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500			0.0		Grava : 5.7 %	
		2"	50.800	0.0	0.0	0.0		Arena : 35.2 %	
		1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0		Finos : 59.1 %	
		1"	25.400	0.0	0.0	0.0			
		3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0		
	FINA	1/2"	12.700	45.0	1.3	1.3	98.7		Humedad Natural : 16.0 %
		3/8"	9.525	32.0	0.9	2.2	97.8		Limite Liquido : 34.60
		1/4"	6.350	74.0	2.1	4.3	95.7		Limite Plastico : 20.17
		No. 4	4.760	50.0	1.4	5.7	94.3		I.P. : 14.43
ARENA	GRUESA	No. 8	2.360	0.0	0.0	0.0		CLASIFICACION AASHTO: A-6(6)	
		No. 10	2.000	0.0	0.0	0.0			
		No. 16	1.190	0.0	0.0	0.0			
	MEDIA	No. 20	0.834	82.0	2.3	8.0	92.0		CLASIFICACION SUCS: CL
		No. 30	0.600	0.0	0.0	0.0			
		No. 40	0.420	55.0	1.5	9.5	90.5		
		No. 50	0.300	108.0	3.0	12.5	87.5		
	FINA	No. 60	0.250	187.0	5.2	17.7	82.3		- Arcilla de baja plasticidad
		No. 80	0.177	202.0	5.6	23.3	76.7		
		No. 100	0.149	265.0	7.3	30.6	69.4		
No. 200		0.075	372.0	10.3	40.9	59.1			
No. 200		0.075	372.0	10.3	40.9	59.1			
	-200	----	2147.0	59.1	100.0				



OBS. :



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO : ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS
KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO -
DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA
LADO : 0
MATERIAL: Alterada
PROFUNDIDAD : 3.50 m.
MUESTRA : M - 01

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.
APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

LIMITE PLASTICO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	6	7	PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)	16.00	16.00	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	32.08	31.40	
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	29.44	28.76	
Peso del Agua (gr)	2.64	2.64	
Peso del Suelo Seco (gr)	13.44	12.76	
Contenido de Humedad (%)	19.64	20.69	20.17

LIMITE LIQUIDO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	4	6	7
Peso de la Capsula (gr)	16.47	16.00	16.00
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	41.33	40.05	39.66
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	35.40	34.02	33.30
Numero de Golpes	37	30	19
Peso del agua (g)	5.93	6.03	6.36
Peso del Suelo Seco (gr)	18.93	18.02	17.30
Contenido de Humedad (%)	31.33	33.46	36.76

	RESULTADOS	ESPECIFICADO
L.L. :	34.60	-----
L.P. :	20.17	-----
I.P. :	14.43	-----

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



OBSERVACIONES: _____



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: **ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

SECTOR **KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO**

FECHA **06/2023**

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D 2216 - MTC E-108

SOLICITANTE : **ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**

HECHO POR : **Ing. Marco Tapia P.**

LADO : **0**

APROBADO POR : **Ing. Luis Angel Bellido P.**

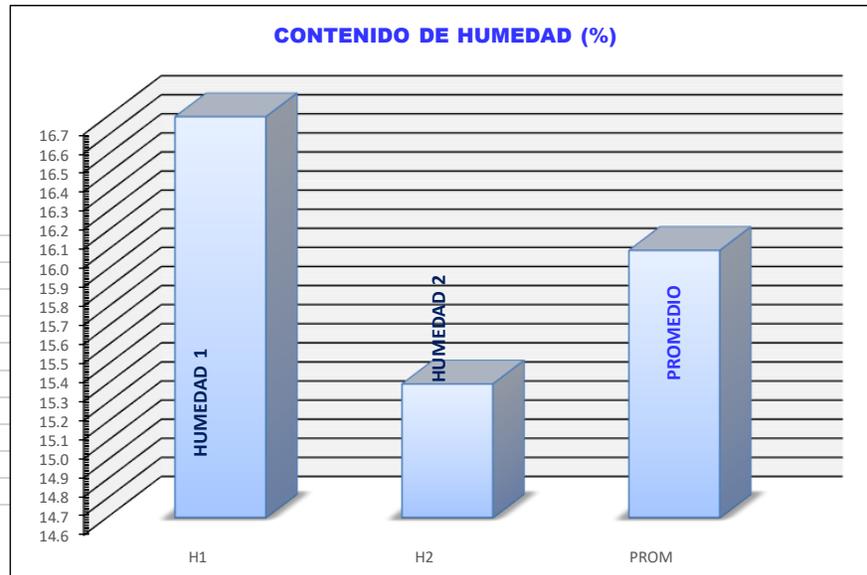
MUESTREO : **Alterada**

PROFUNDIDAD : **3.50** m.

MUESTRA : **M - 01**

CONTENIDO DE HUMEDAD PARA SUELOS MUESTRA INTEGRAL

Muestra	Nº	1	2	PROMEDIO
Recipiente	Nº	01	02	
Peso recipiente + suelo húmedo	gr	202.4	198.5	
Peso recipiente + suelo seco	gr	182.0	180.0	
Peso del recipiente	gr	59.6	59.0	
Peso de agua	gr	20.4	19	
Peso del suelo seco	gr	122.4	121	
Contenido de Humedad	%	16.7	15.3	16.0



Obsevaciones:



CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ASOC. 1° DE ENERO I - 25 - SANTIAGO - CUSCO

TEL: 984-1462157 (Claro) - (Movistar) RPM #988901062

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS				
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO				
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA			CLASIFICACION GEOTECNICA	
DATOS DEL MUESTREO			CLASIFICACION DEL SUELO	CL	
			NORMA S.U.C.S		
CALICATA :	M - 1	CODIGO	MC - 01	PROF :	3.50 mts.
MUESTRA	INALTERADA	MUESTRA		FECHA :	07 - 06 - 2023
			CLASIFICACION DEL SUELO	A - 6(6)	
			NORMA A.A.S.H.T.O. M 145		

METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO
N.T.P. 339.171 - ASTM - D3080

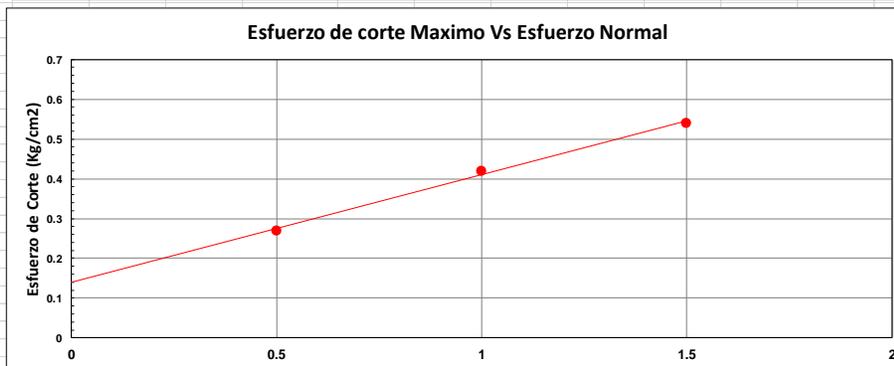
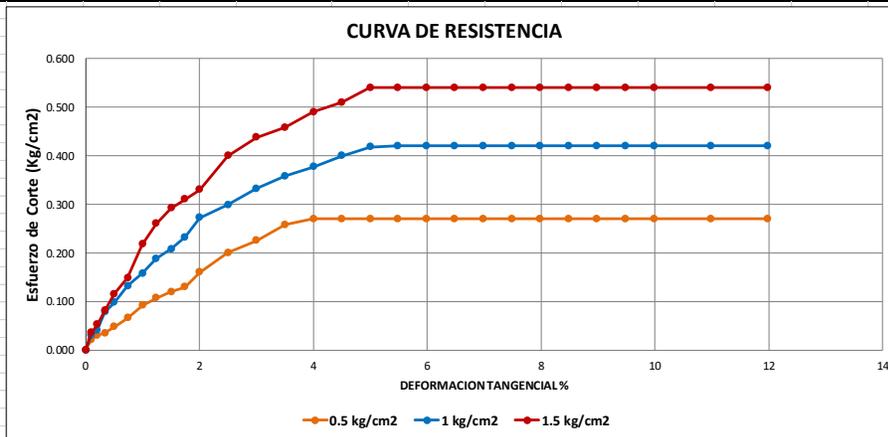
NUMERO DE ENSAYO			ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Esfuerzo Normal			0.5	Kg/cm2	1	Kg/cm2	1.5	Kg/cm2
Numero de talador			1		2		3	
Diametro			4.99	cm.	4.98	cm.	4.98	cm.
Altura			1.98	cm.	1.98	cm.	2.01	cm.
Volumen			38.72	cm3	38.57	cm3	39.15	cm3
Area			19.56	cm2	19.56	cm2	19.56	cm2
A0 0	0.32145454	A1 =	0.400000					

ENSAYO N° 01					ENSAYO N° 02					ENSAYO N° 03				
Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante
mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2
0	0.00	0.4	0	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000
0.05	0.20	0.5	0.10	0.021	0.05	0.40	0.53	0.10	0.030	0.05	0.90	0.69	0.10	0.035
0.1	0.66	0.6	0.20	0.030	0.1	1.00	0.72	0.20	0.041	0.1	2.02	1.05	0.20	0.052
0.17	0.80	0.7	0.34	0.035	0.17	3.20	1.43	0.34	0.078	0.17	4.00	1.69	0.34	0.081
0.25	2.20	1.1	0.50	0.048	0.25	4.50	1.85	0.50	0.098	0.25	6.10	2.36	0.50	0.115
0.37	3.50	1.5	0.74	0.066	0.37	6.60	2.52	0.74	0.132	0.37	8.00	2.97	0.74	0.149
0.5	6.20	2.4	1.00	0.092	0.5	8.10	3.00	1.00	0.158	0.5	11.60	4.13	1.00	0.218
0.62	7.00	2.7	1.24	0.107	0.62	10.00	3.61	1.24	0.188	0.62	13.30	4.68	1.24	0.260
0.75	8.10	3.0	1.50	0.120	0.75	11.20	4.00	1.50	0.208	0.75	16.90	5.83	1.50	0.292
0.87	10.40	3.7	1.74	0.130	0.87	12.60	4.45	1.74	0.232	0.87	18.10	6.22	1.74	0.310
1	11.60	4.1	2.00	0.160	1	14.80	5.16	2.00	0.272	1	20.00	6.83	2.00	0.330
1.25	13.30	4.7	2.50	0.200	1.25	16.80	5.80	2.50	0.299	1.25	23.02	7.80	2.50	0.400
1.5	14.40	5.0	3.00	0.225	1.5	18.70	6.41	3.00	0.332	1.5	24.50	8.28	3.00	0.438
1.75	15.20	5.3	3.50	0.258	1.75	19.80	6.76	3.50	0.358	1.75	27.30	9.18	3.50	0.458
2	15.20	5.3	4.00	0.270	2	21.30	7.25	4.00	0.377	2	29.80	9.98	4.00	0.490
2.25	15.20	5.3	4.50	0.270	2.25	23.00	7.79	4.50	0.400	2.25	31.02	10.37	4.50	0.510
2.5	15.20	5.3	5.00	0.270	2.5	23.80	8.05	5.00	0.418	2.5	32.30	10.78	5.00	0.540
2.74	15.20	5.3	5.48	0.270	2.74	24.30	8.21	5.48	0.420	2.74	32.30	10.78	5.48	0.540
2.99	15.20	5.3	5.98	0.270	2.99	24.30	8.21	5.98	0.420	2.99	32.30	10.78	5.98	0.540
3.24	15.20	5.3	6.48	0.270	3.24	24.30	8.21	6.48	0.420	3.24	32.30	10.78	6.48	0.540
3.49	15.20	5.3	6.98	0.270	3.49	24.30	8.21	6.98	0.420	3.49	32.30	10.78	6.98	0.540
3.74	15.20	5.3	7.48	0.270	3.74	24.30	8.21	7.48	0.420	3.74	32.30	10.78	7.48	0.540
3.99	15.20	5.3	7.98	0.270	3.99	24.30	8.21	7.98	0.420	3.99	32.30	10.78	7.98	0.540
4.24	15.20	5.3	8.48	0.270	4.24	24.30	8.21	8.48	0.420	4.24	32.30	10.78	8.48	0.540
4.49	15.20	5.3	8.98	0.270	4.49	24.30	8.21	8.98	0.420	4.49	32.30	10.78	8.98	0.540
4.74	15.20	5.3	9.48	0.270	4.74	24.30	8.21	9.48	0.420	4.74	32.30	10.78	9.48	0.540
4.99	15.20	5.3	9.98	0.270	4.99	24.30	8.21	9.98	0.420	4.99	32.30	10.78	9.98	0.540
5.49	15.20	5.3	10.98	0.270	5.49	24.30	8.21	10.98	0.420	5.49	32.30	10.78	10.98	0.540
5.99	15.20	5.3	11.98	0.270	5.99	24.30	8.21	11.98	0.420	5.99	32.30	10.78	11.98	0.540
Esfuerzo de Corte				0.270	Esfuerzo de Corte				0.420	Esfuerzo de Corte				0.540

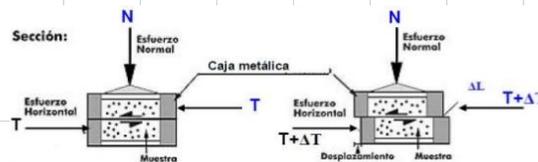
OBSERVACIONES	
----------------------	--

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS					
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO					
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA				CLASIFICACION GEOTECNICA	
DATOS DEL MUESTREO						CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S
						CL
CALICATA :	M - 1	CODIGO	MC - 01	PROF :	3.50 mts.	CLASIFICACION DEL SUELO
MUESTRA	INALTERADA	MUESTRA		FECHA :	07 - 06 - 2023	NORMA A.A.S.H.T.O. M 145
						A - 6(6)

METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D3080



COHESION (C)	0.12	Kg/cm2
ANGULO DE FRICCION (Ø)	15.1	(°)



OBSERVACIONES



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TELF: 984-146257 (Claro) - 988901062 (Movistar) RPM #98890 1062

PROYECTO :	ANALISIS DE LA CONSOLIDACION DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS		
UBICACION :	SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO		
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA		
CALICATA :	C - 01 M - 01	CODIGO MUESTRA MC - 01	PROF. : FECHA : 3.50 mts. 05 - 06 - 2023
DATOS DEL MUESTREO		CLASIFICACION GEOTECNICA	
		CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S	
		CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145	
		CL	
		A - 6(6)	

GRADO DE SATURACION %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.41

Ws = 0.7335 cm; 0.2888 pg.
Gs Dw rA

Altura de sólidos, 2H=

$$e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$$

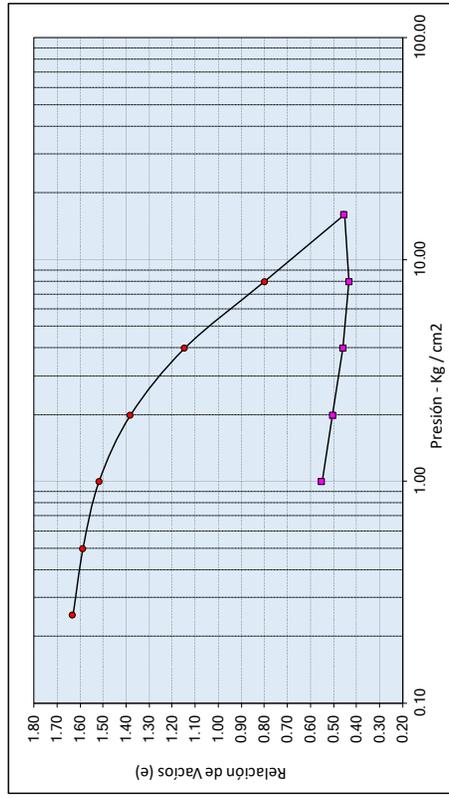
DIMENSIONES DEL ANILLO		B	
ALTURA	1.98 cm	0.78 plg.	
DIAMETRO	5.08 cm	2.00 plg.	
AREA	20.27 cm²		
Peso Unitario Inicial	1.412	g/cm3	

CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final
Peso anillo+muestra hum.	112.62	106.96
Peso anillo+muestra seca.	91.77	88.96
Peso anillo	55.94	55.94
Peso del agua	20.85	18.00
Peso suelo seco	36.83	33.02
Humedad	58.20	54.49

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (plg.)	2H (plg.)	Altura vacios 2H - 2H₀	Relación de Vacios e
0	0	0.7795	0.4908	1.6995
0.25	0.0200	0.7595	0.4708	1.6302
0.50	0.0325	0.7470	0.4583	1.5869
1.00	0.0525	0.7270	0.4383	1.5177
2.00	0.0922	0.6873	0.3986	1.3802
4.00	0.1600	0.6195	0.3308	1.1454
8.00	0.2600	0.5195	0.2308	0.7991
16.00	0.3600	0.4195	0.1308	0.4628
8.00	0.3662	0.4133	0.1246	0.4313
4.00	0.3587	0.4208	0.1321	0.4673
2.00	0.3454	0.4341	0.1454	0.5034
1.00	0.3320	0.4475	0.1588	0.5498

Relación de vacios inicial	1.6995
Relación de vacios final	0.4628
Presión de preconsolidación - Pc	2.50



OSERVACIONES



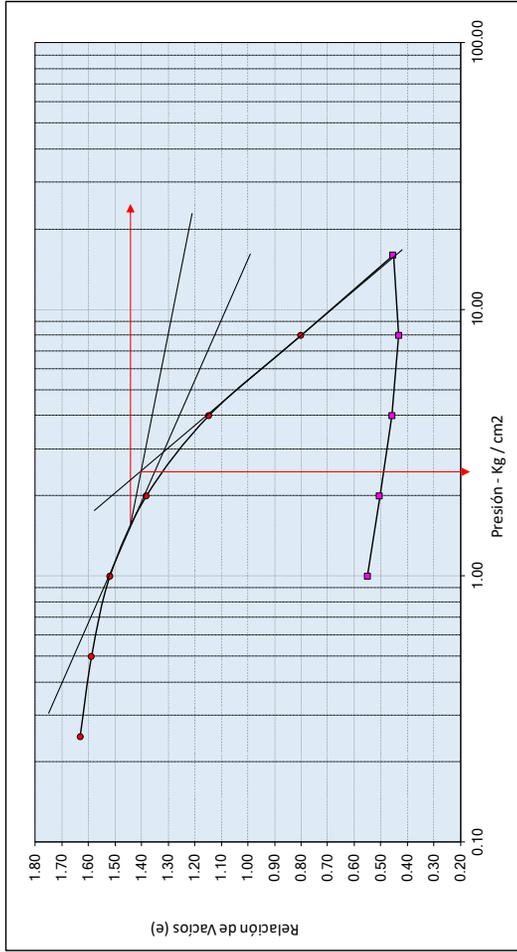
**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TELF: 984-146237 (Chino) - 985289028 (Móvil) / RPM #985289028

PROYECTO : ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS
UBICACIÓN : SECTOR KM. 92+500 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA		CLASIFICACION GEOTECNICA	
		CLASIFICACION DEL SUELO	CL
		NORMA S.U.C.S	
CALCATA :		CLASIFICACION DEL SUELO	A - 6(6)
C - 01	CODIGO	NORMA A.A.S.H.T.O. M 145	
M - 01	MUESTRA		
	MC - 01	PROF. :	3.50 mts.
		FECHA :	05 - 06 - 2023

DATOS DEL MUESTREO



e A =	1.8
e B =	0.89
e C =	1.00
σ A =	4.000 Kg/cm2
σ B =	17.00 Kg/cm2
σ C =	1.00 Kg/cm2

-0.089398266

-0.739567473

INDICE DE RECOMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cr)

INDICE DEL COMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cc)

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad (\text{para arcillas normalmente consolidadas})$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad (\text{para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c) \quad (5.82)$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c + C_c H_c}{\sigma'_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_c} \quad (\text{para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}) \quad (5.83)$$

donde

0.543 | Kg/cm²

σ'_o = presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación

1.0761 | Kg/cm²

$\Delta\sigma'_{prom}$ = incremento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla causado por la construcción de la cimentación

2.50 | Kg/cm²

σ'_c = presión de preconsolidación

1.6995

e'_o = relación de vacíos inicial del estrato de arcilla

0.740

C_c = índice de compresión

0.089

C_r = índice de recompresión

350 cm

H_c = espesor del estrato de arcilla

S_{c(p)} | 5.50 cm.

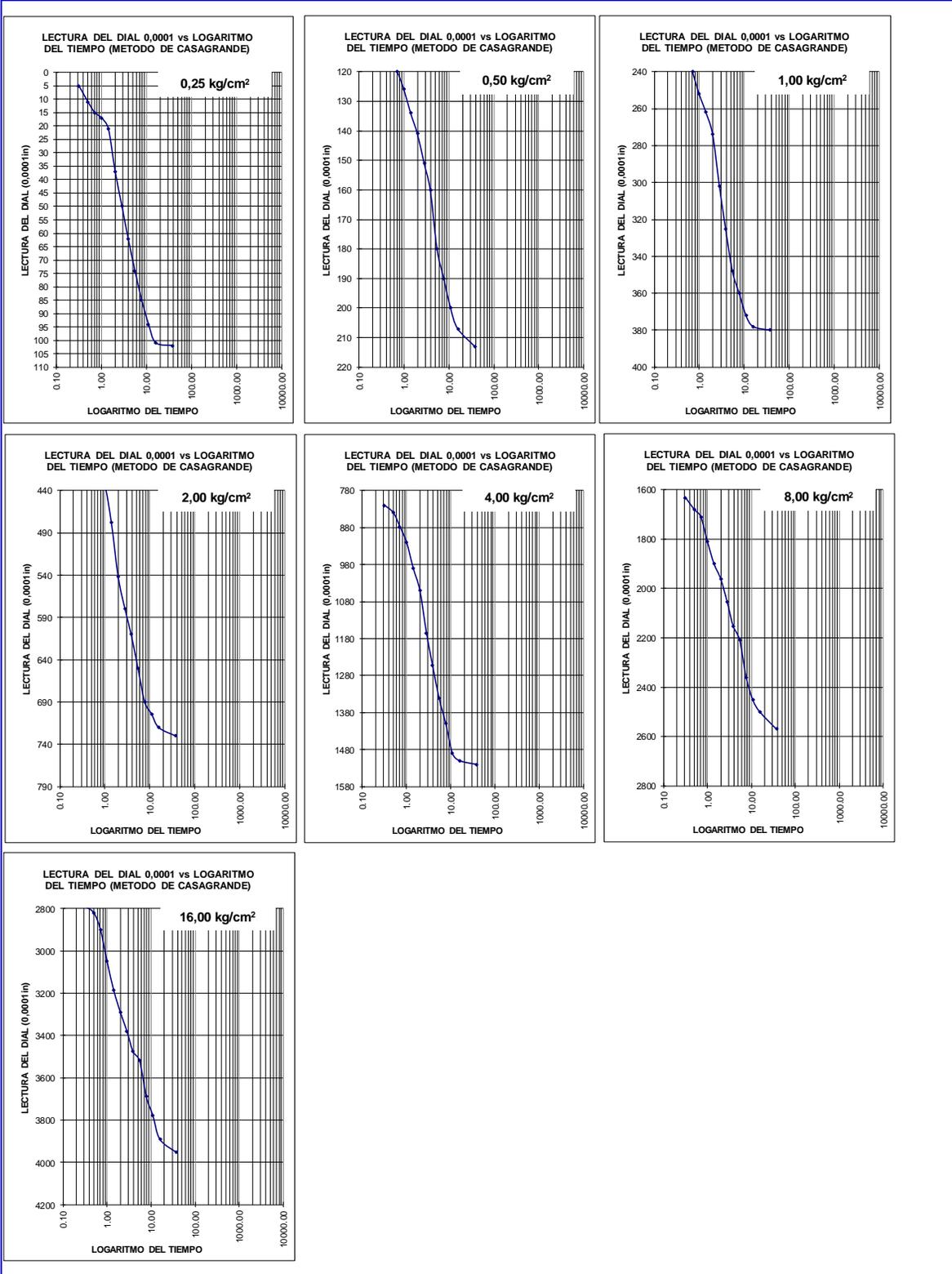
(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$)

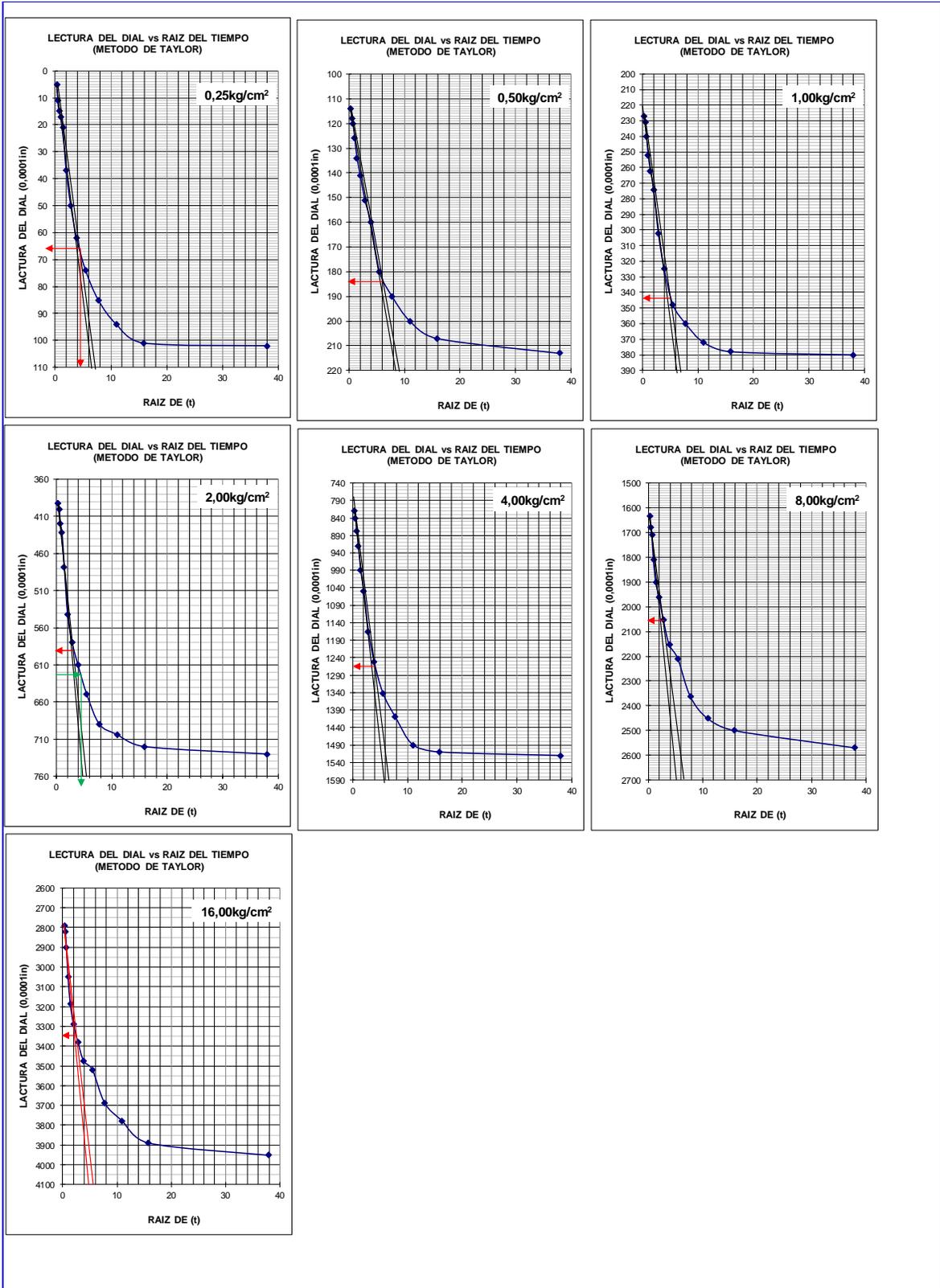
(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}$)

con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$

1.62

< 2.50







LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
MTC E 107 - ASTM D 422 - NTP 400.012

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO :

APROBADO POR : Ing. Luis A. Bellido P.

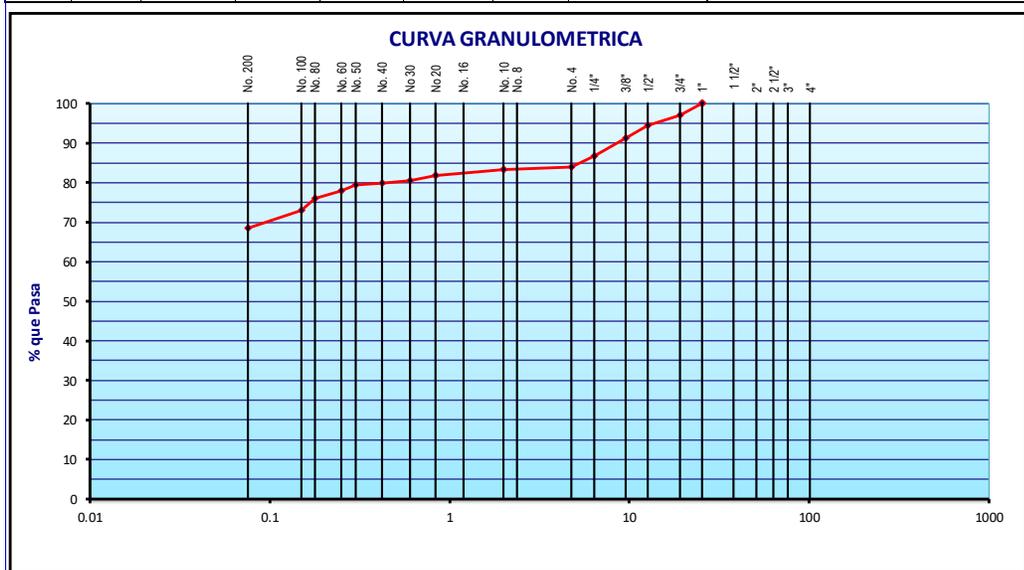
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 3.00 m.

CALICATA : C - 2

MUESTRA : M - 01

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra	
				Parcial	Acumulado				
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600							
	3"	76.200						Grava > 3"	
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500			0.0		Grava : 16.1 %	
		2"	50.800	0.0	0.0	0.0		Arena : 15.3 %	
		1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0		Finos : 68.6 %	
		1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0		
		3/4"	19.050	101.0	2.9	2.9	97.1		Humedad Natural : 14.8 %
	FINA	1/2"	12.700	88.4	2.6	5.5	94.5		
		3/8"	9.525	110.6	3.2	8.7	91.3		Limite Liquido : 36.40
		1/4"	6.350	154.3	4.5	13.2	86.8		Limite Plastico : 18.79
		No. 4	4.760	101.2	2.9	16.1	83.9		I.P. : 17.61
		ARENA	GRUESA	No. 8	2.360	0.0	0.0	0.0	
No. 10	2.000			20.0	0.5	16.6	83.4		
MEDIA	No. 16		1.190	0.0	0.0	0.0	0.0	CLASIFICACION SUCS: CL	
	No. 20		0.834	66.0	1.6	18.2	81.8		
	No. 30		0.600	48.0	1.2	19.4	80.6		
	No. 40		0.420	33.0	0.8	20.2	79.8		
FINA	No. 50		0.300	16.0	0.4	20.6	79.4	- Arcilla de baja plasticidad	
	No. 60		0.250	56.0	1.4	22.0	78.0		
	No. 80		0.177	78.0	1.9	23.9	76.1		
	No. 100		0.149	124.0	3.0	26.9	73.1		
	No. 200	0.075	182.0	4.5	31.4	68.6			
	-200	----	2797.0	68.6	100.0				



OBS. :



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO : ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS
KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO.
CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA
LADO : 0
MATERIAL: Alterada
PROFUNDIDAD : 3.00 m.
MUESTRA : M - 01

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.
APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

LIMITE PLASTICO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	4	5	PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)	16.47	15.98	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	25.23	26.04	
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	23.80	24.50	
Peso del Agua (gr)	1.43	1.54	
Peso del Suelo Seco (gr)	7.33	8.52	
Contenido de Humedad (%)	19.51	18.08	18.79

LIMITE LIQUIDO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	5	7	8
Peso de la Capsula (gr)	15.98	16.00	16.91
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	35.52	36.44	38.47
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	30.66	31.10	32.30
Numero de Golpes	32	27	19
Peso del agua (g)	4.86	5.34	6.17
Peso del Suelo Seco (gr)	14.68	15.10	15.39
Contenido de Humedad (%)	33.11	35.36	40.09

	RESULTADOS	ESPECIFICADO
L.L. :	36.40	-----
L.P. :	18.79	-----
I.P. :	17.61	-----

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



OBSERVACIONES: _____



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: **ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO FECHA **06/2023**

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D 2216 - MTC E-108

SOLICITANTE : **ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO : 0

APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

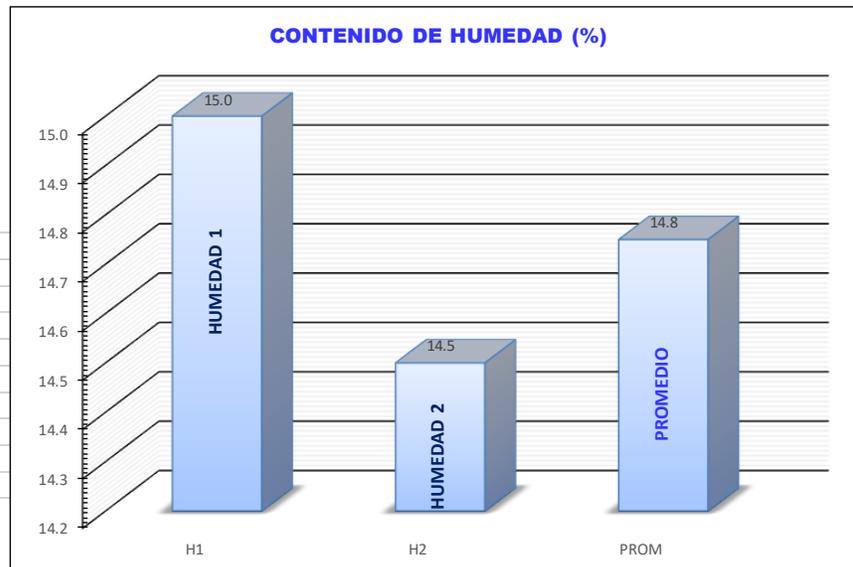
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 3.00 m.

MUESTRA : M - 01

CONTENIDO DE HUMEDAD PARA SUELOS MUESTRA INTEGRAL

Muestra	Nº	1	2	PROMEDIO
Recipiente	Nº	01	02	
Peso recipiente + suelo húmedo	gr	285.5	286.9	
Peso recipiente + suelo seco	gr	256.0	258.0	
Peso del recipiente	gr	59.0	59.0	
Peso de agua	gr	29.5	29	
Peso del suelo seco	gr	197.0	199	
Contenido de Humedad	%	15.0	14.5	14.8



Obsevaciones:



CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ASOC. 1° DE ENERO 1 - 25 - SANTIAGO - CHILE

TELF: 984-146257 (Claro) - (Movistar) RPM #988901062

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS				
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO				
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA			CLASIFICACION DEL SUELO	
	DATOS DEL MUESTREO			NORMA S.U.C.S	
CALICATA : MUESTRA	M - 1	CODIGO	MC - 01	PROF :	3.00 mts.
	INALTERADA	MUESTRA		FECHA :	07 - 06 - 2023
			CLASIFICACION DEL SUELO		CL
			NORMA A.A.S.H.T.O. M 145		A - 6(10)

METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO
N.T.P. 339.171 - ASTM - D3080

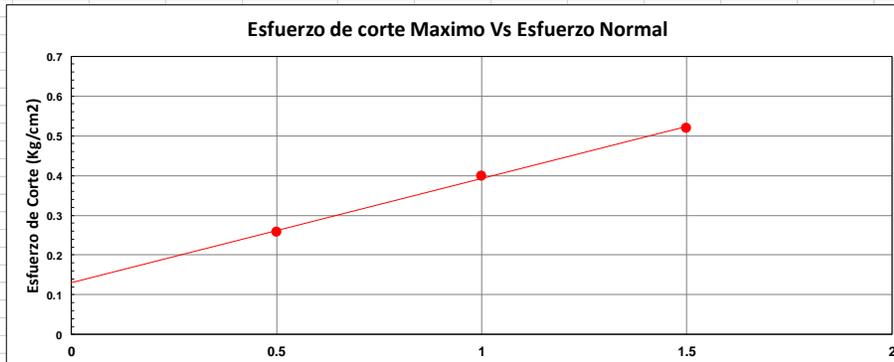
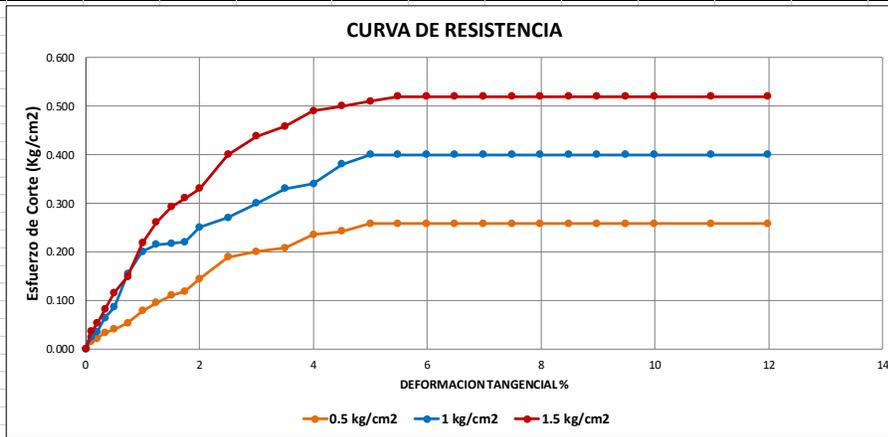
NUMERO DE ENSAYO				ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Esfuerzo Normal				0.5	Kg/cm2	1	Kg/cm2	1.5	Kg/cm2
Numero de talador				1		2		3	
Diametro				4.99	cm.	4.98	cm.	4.98	cm.
Altura				1.98	cm.	1.98	cm.	2.01	cm.
Volumen				38.72	cm3	38.57	cm3	39.15	cm3
Area				19.56	cm2	19.56	cm2	19.56	cm2
A0 0	0.32145454	A1 =	0.400000						

ENSAYO N° 01					ENSAYO N° 02					ENSAYO N° 03				
Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante
mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2
0	0.00	0.4	0	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000
0.05	0.20	0.5	0.10	0.015	0.05	0.40	0.53	0.10	0.024	0.05	0.90	0.69	0.10	0.035
0.1	0.66	0.6	0.20	0.021	0.1	1.00	0.72	0.20	0.035	0.1	2.02	1.05	0.20	0.052
0.17	0.80	0.7	0.34	0.033	0.17	3.20	1.43	0.34	0.064	0.17	4.00	1.69	0.34	0.081
0.25	2.20	1.1	0.50	0.040	0.25	4.50	1.85	0.50	0.086	0.25	6.10	2.36	0.50	0.115
0.37	3.50	1.5	0.74	0.053	0.37	6.60	2.52	0.74	0.154	0.37	8.00	2.97	0.74	0.149
0.5	6.20	2.4	1.00	0.078	0.5	8.10	3.00	1.00	0.200	0.5	11.60	4.13	1.00	0.218
0.62	7.00	2.7	1.24	0.095	0.62	10.00	3.61	1.24	0.215	0.62	13.30	4.68	1.24	0.260
0.75	8.10	3.0	1.50	0.110	0.75	11.20	4.00	1.50	0.217	0.75	16.90	5.83	1.50	0.292
0.87	10.40	3.7	1.74	0.118	0.87	12.60	4.45	1.74	0.220	0.87	18.10	6.22	1.74	0.310
1	11.60	4.1	2.00	0.144	1	14.80	5.16	2.00	0.250	1	20.00	6.83	2.00	0.330
1.25	13.30	4.7	2.50	0.189	1.25	16.80	5.80	2.50	0.270	1.25	23.02	7.80	2.50	0.400
1.5	14.40	5.0	3.00	0.200	1.5	18.70	6.41	3.00	0.300	1.5	24.50	8.28	3.00	0.438
1.75	15.20	5.3	3.50	0.208	1.75	19.80	6.76	3.50	0.330	1.75	27.30	9.18	3.50	0.458
2	15.20	5.3	4.00	0.235	2	21.30	7.25	4.00	0.340	2	29.80	9.98	4.00	0.490
2.25	15.20	5.3	4.50	0.242	2.25	23.00	7.79	4.50	0.380	2.25	31.02	10.37	4.50	0.500
2.5	15.20	5.3	5.00	0.258	2.5	23.80	8.05	5.00	0.400	2.5	32.30	10.78	5.00	0.510
2.74	15.20	5.3	5.48	0.258	2.74	24.30	8.21	5.48	0.400	2.74	32.30	10.78	5.48	0.520
2.99	15.20	5.3	5.98	0.258	2.99	24.30	8.21	5.98	0.400	2.99	32.30	10.78	5.98	0.520
3.24	15.20	5.3	6.48	0.258	3.24	24.30	8.21	6.48	0.400	3.24	32.30	10.78	6.48	0.520
3.49	15.20	5.3	6.98	0.258	3.49	24.30	8.21	6.98	0.400	3.49	32.30	10.78	6.98	0.520
3.74	15.20	5.3	7.48	0.258	3.74	24.30	8.21	7.48	0.400	3.74	32.30	10.78	7.48	0.520
3.99	15.20	5.3	7.98	0.258	3.99	24.30	8.21	7.98	0.400	3.99	32.30	10.78	7.98	0.520
4.24	15.20	5.3	8.48	0.258	4.24	24.30	8.21	8.48	0.400	4.24	32.30	10.78	8.48	0.520
4.49	15.20	5.3	8.98	0.258	4.49	24.30	8.21	8.98	0.400	4.49	32.30	10.78	8.98	0.520
4.74	15.20	5.3	9.48	0.258	4.74	24.30	8.21	9.48	0.400	4.74	32.30	10.78	9.48	0.520
4.99	15.20	5.3	9.98	0.258	4.99	24.30	8.21	9.98	0.400	4.99	32.30	10.78	9.98	0.520
5.49	15.20	5.3	10.98	0.258	5.49	24.30	8.21	10.98	0.400	5.49	32.30	10.78	10.98	0.520
5.99	15.20	5.3	11.98	0.258	5.99	24.30	8.21	11.98	0.400	5.99	32.30	10.78	11.98	0.520
Esfuerzo de Corte				0.258	Esfuerzo de Corte				0.400	Esfuerzo de Corte				0.520

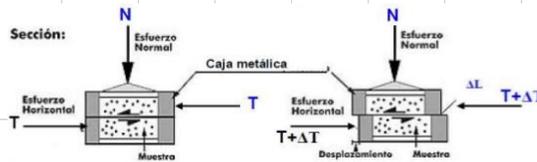
OBSERVACIONES	
---------------	--

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS					
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO					
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA				CLASIFICACION GEOTECNICA	
DATOS DEL MUESTREO						CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S
CALICATA :	M - 1	CODIGO	MC - 02	PROF :	3.00 mts.	CL
MUESTRA	INALTERADA	MUESTRA		FECHA :	07 - 06 - 2023	A - 6(10)
CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145						

METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D3080



COHESION (C)	0.13	Kg/cm ²
ANGULO DE FRICCIÓN (Ø)	14.7	(°)



OBSERVACIONES



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TÉL: 984-346237 (claro) - 989901062 (bowster) RPN #989901062

PROYECTO : ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS
UBICACIÓN : SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA		CLASIFICACION GEOTECNICA	
CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S	CL		
CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145	A - 6(10)		

ALICATA :	C - 02	CODIGO	MC - 01	PROF. :	3.00 mts.
	M - 01	MUESTRA		FECHA :	05 - 06 - 2023

GRADO DE SATURACION %	100
Inicial	100
Final	100

DIMENSIONES DEL ANILLO	B	
ALTURA	1.97 cm	0.78 plg.
DIAMETRO	5.08 cm	2.00 plg.
AREA	20.27 cm²	
Peso Unitario Inicial	1.420	g/cm3

CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final
Peso anillo+muestra hum.	112.62	106.96
Peso anillo+muestra seca.	89.18	88.96
Peso anillo	55.94	55.94
Peso del agua	23.44	18.00
Peso suelo seco	33.24	33.02
Humedad	70.53	54.49

$G_s = 2.40$

$W_s = 0.6833 \text{ cm}^3 = 0.2690 \text{ plg.}$

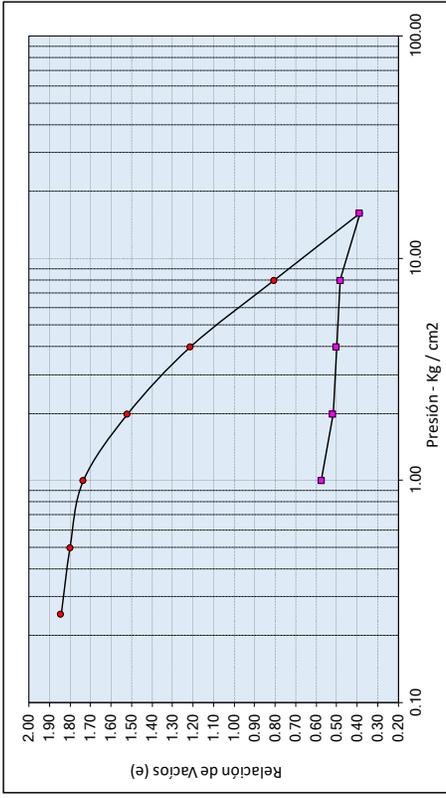
$\frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot V_A}$

Altura de sólidos, 2H=

$e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (plg.)	2H (plg.)	Altura vacios (plg.) 2H - 2H₀	Relación de Vacios (e)
0	0	0.7756	0.5066	1.8830
0.25	0.0107	0.7649	0.4959	1.8432
0.50	0.0222	0.7534	0.4844	1.8005
1.00	0.0397	0.7369	0.4669	1.7364
2.00	0.0680	0.6776	0.4086	1.5187
4.00	0.1800	0.5956	0.3266	1.2139
8.00	0.2900	0.4856	0.2166	0.8050
16.00	0.4022	0.3734	0.1044	0.3680
8.00	0.3770	0.3986	0.1296	0.4816
4.00	0.3718	0.4038	0.1348	0.5010
2.00	0.3674	0.4082	0.1392	0.5173
1.00	0.3620	0.4236	0.1546	0.5746

Relación de vacios inicial	1.8830
Relación de vacios final	0.3680
Presión de preconsolidación - Pc	0



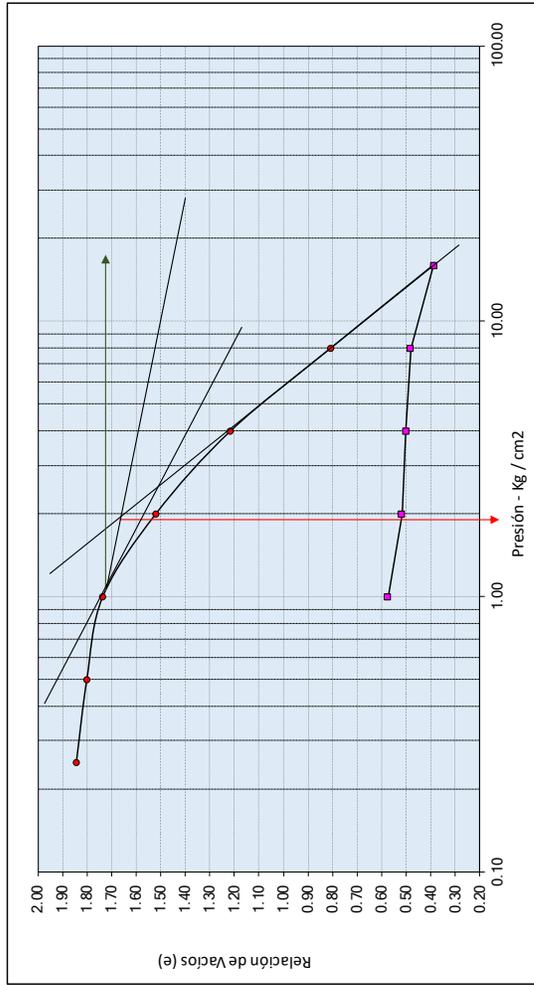
OSBER/AACIONES



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TELF: 984-146257 (Cairo) - 985-2891028 (Mojibata) RPM #985289028

PROYECTO : ANALISIS DE LA CONSOLIDACION DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS	
UBICACION : SECTOR KM. 93+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO	
SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA	
DATOS DEL MUESTREO	
C - 02	PROF. : 3.00 ms.
M - 01	FECHA : 05 - 06 - 2023
CODIGO MC - 01	
MUESTRA	
CLASIFICACION GEOTECNICA	
CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S	CL
CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145	A - 6(10)



e A =	1.21
e B =	0.4
e C =	0.58
σ A =	4.000 Kg/cm ²
σ B =	17.00 Kg/cm ²
σ C =	1.00 Kg/cm ²

INDICE DE RECOMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cr) -0.14628072
 INDICE DEL COMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cc) -1.289010613

OSBERVACIONES

(para arcillas normalmente consolidadas)

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o}$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad \text{(para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c \text{)} \quad (5.82)$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_c} \quad \text{(para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o < \sigma'_c \leq \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} \text{)} \quad (5.83)$$

(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$)

(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o < \sigma'_c \leq \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}$)

$$\cdot \text{ con } \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$$

$$1.56 < 1.90$$

donde

$$0.4765 \text{ Kg/cm}^2$$

$$1.0796 \text{ Kg/cm}^2$$

$$1.90 \text{ Kg/cm}^2$$

$$2.48$$

$$1.289$$

$$0.146$$

$$300 \text{ cm}$$

σ'_o = presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación

$\Delta\sigma'_{prom}$ = incremento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla causado por la construcción de la cimentación

σ'_c = presión de preconsolidación

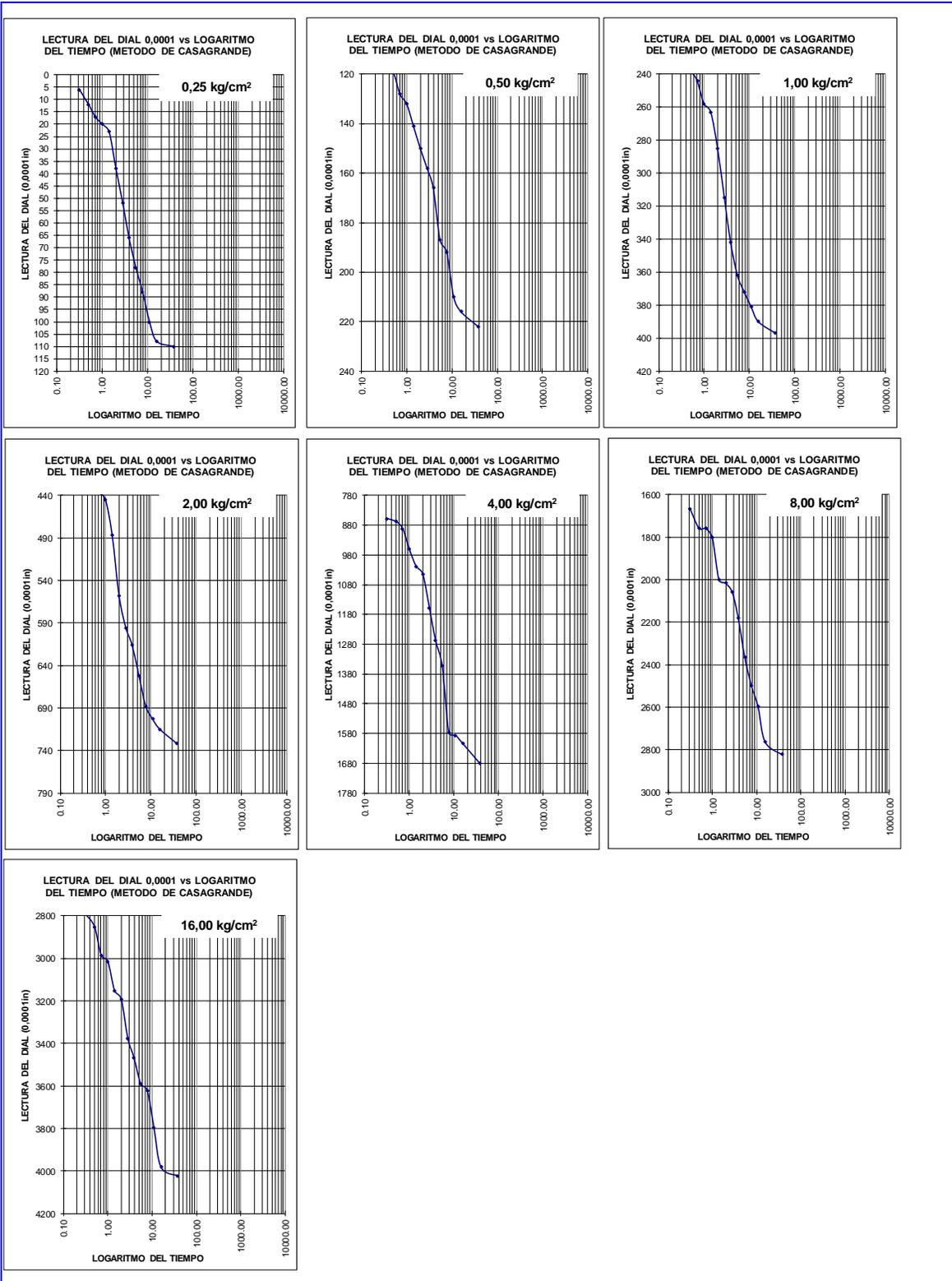
e_0 = relación de vacíos inicial del estrato de arcilla

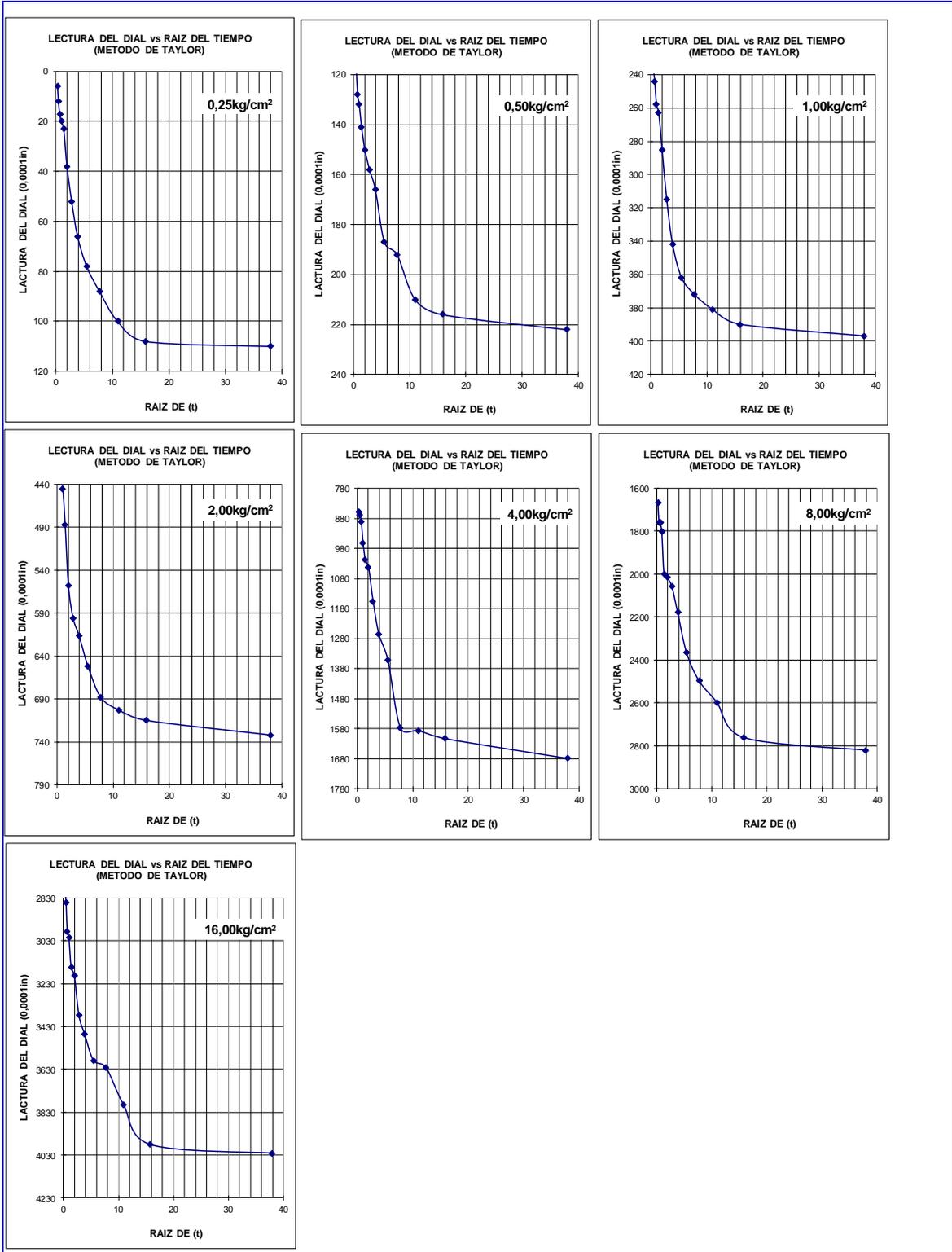
C_c = índice de compresión

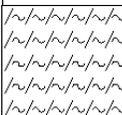
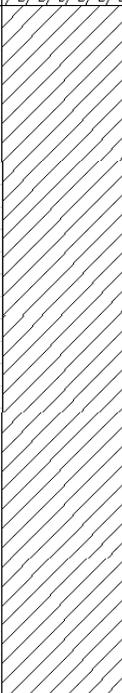
C_r = índice de recompresión

H_c = espesor del estrato de arcilla

$$S_{c(p)} = 6.49 \text{ cm.}$$





		Dirección: Asoc. 1° de Enero 1 - 25 Dist. Santiago - Cusco Teléfono: 988901062 - 9841456257 RPM #988901062 e-mail: luisangel120@gmail.com		ESTUDIO GEOTECNICO DE CIMENTACIONES	
PROYECTO : ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS		UBICACIÓN : SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO		CALICATA <h1 style="margin: 0;">CG-03</h1>	
COORDENADAS :		FECHA		7/06/2023	
SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA					
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
EXPLORACION: A cielo abierto (calicata)			COTA		REGISTRADO POR : M. Tapia P.
			N.F. (m)		REVISADO POR : Ing. Luis Bellido
Prof. (m)	Muestra	Símbolo	Descripción		Clasificación SUCS/AASHTO
0.00			Horizonte superficial redepositado Predominancia de arcillas limosas con gravas gruesas de color marron rojizo claro Predominancia de abundantes raices		RELLENO
0.50			Arcillas limosas inorganicas Presenta gravas medias a finas subangulosas Tonalidad del Deposito: Marron rojizo claro Aspecto. Algo Homogeneo Consistencia. Media El pulgar penetra con dificultad Dilatancia. Lenta Alta resistencia a la disgregacion en estado seco Mediana compresibilidad Baja permeabilidad Grado de Humedad. Muy Humedo por asencion capilar Nula efervesencia al contacto con HCl. Presenta raices aisladas Incremento de gravas gruesas a mayor profundidad		ARCILLAS LIMOSAS DE MEDIANA PLASTICIDAD SUCS: CL
1.00					
1.50	M - 1				
2.00					
2.50					
3.00					
3.50					
4.00					
4.50					
5.00					
OBSERVACIONES					
MAB: muestra alterada en bolsa MB: muestra inalterada en bloque MT: muestra inalterada en tubo					



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - ASTM D 422 - NTP 400.012

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO :

APROBADO POR : Ing. Luis A. Bellido P.

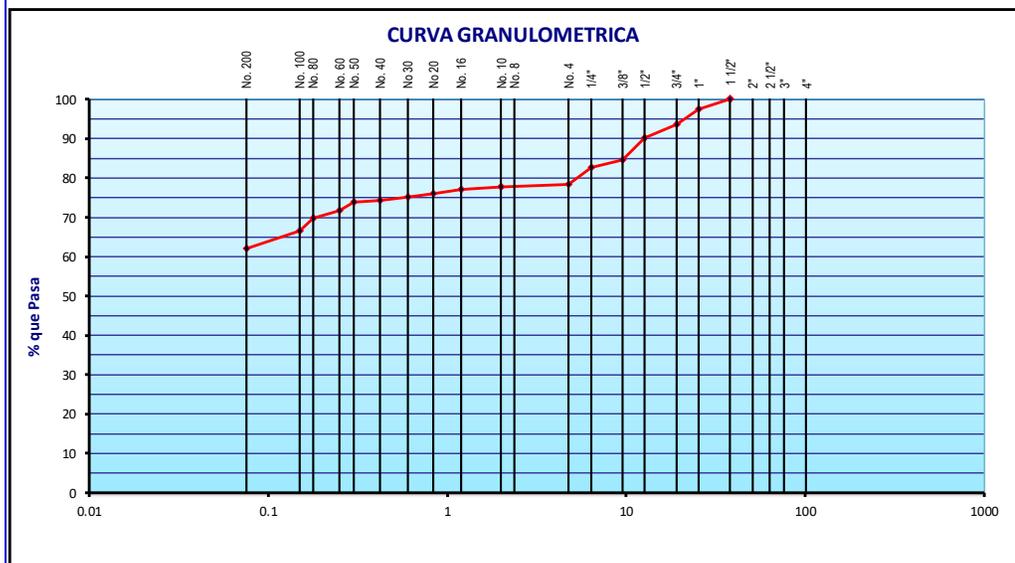
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 3.80 m.

CALICATA : C - 3

MUESTRA : M - 01

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra
				Parcial	Acumulado			
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600						
	3"	76.200						Grava > 3"
GRAVA	2 1/2"	63.500				0.0		Grava : 21.7 %
	2"	50.800	0.0	0.0	0.0	0.0		Arena : 16.3 %
	1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0		Finos : 62.0 %
	1"	25.400	88.0	2.5	2.5	97.5		
	3/4"	19.050	135.0	3.8	6.3	93.7		Humedad Natural : 15.8 %
	1/2"	12.700	122.0	3.4	9.7	90.3		
	3/8"	9.525	202.0	5.7	15.4	84.6		Limite Liquido : 33.40
	1/4"	6.350	72.0	2.0	17.4	82.6		Limite Plastico : 19.08
	No. 4	4.760	154.0	4.3	21.7	78.3		I.P. : 14.32
	ARENA	No. 8	2.360	0.0	0.0	0.0	0.0	
No. 10		2.000	20.0	0.5	22.2	77.8		CLASIFICACION AASHTO: A-6(7)
No. 16		1.190	32.0	0.7	22.9	77.1		CLASIFICACION SUCS: CL
No. 20		0.834	45.0	1.0	23.9	76.1		
No. 30		0.600	38.0	0.9	24.8	75.2		
No. 40		0.420	45.0	1.0	25.8	74.2		
No. 50		0.300	16.0	0.4	26.2	73.8		- Arcilla de baja plasticidad
No. 60		0.250	87.0	2.0	28.2	71.8		Peso Inicial (gr) : 3546.0
No. 80		0.177	90.0	2.1	30.3	69.7		Peso Fracción (gr) : 3412.0
No. 100		0.149	135.0	3.1	33.4	66.6		
No. 200	0.075	202.0	4.6	38.0	62.0			
-200	---	2702.0	62.0	100.0				



OBS. :



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO : **ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO -
DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA
LADO : 0
MATERIAL: Alterada
PROFUNDIDAD : 3.80 m.
MUESTRA : M - 01

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.
APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

LIMITE PLASTICO NTP 339.129.1998

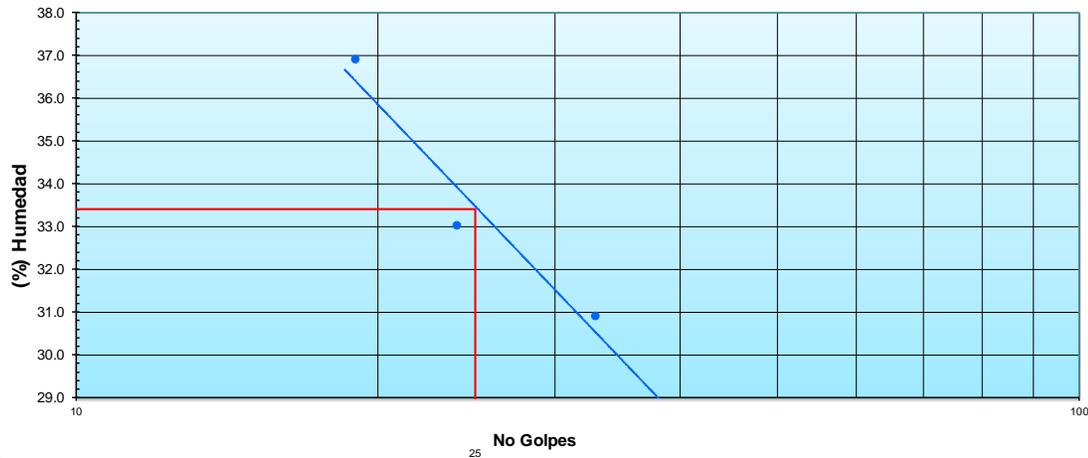
Capsula Nro	2	7	PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)	15.69	16.00	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	27.70	30.30	
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	25.70	28.10	
Peso del Agua (gr)	2.00	2.20	
Peso del Suelo Seco (gr)	10.01	12.10	
Contenido de Humedad (%)	19.98	18.18	19.08

LIMITE LIQUIDO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	2	8	9
Peso de la Capsula (gr)	15.69	16.91	16.39
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	37.43	36.09	37.76
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	32.30	31.33	32.00
Numero de Golpes	33	24	19
Peso del agua (g)	5.13	4.76	5.76
Peso del Suelo Seco (gr)	16.61	14.42	15.61
Contenido de Humedad (%)	30.89	33.01	36.90

	RESULTADOS	ESPECIFICADO
L.L. :	33.40	-----
L.P. :	19.08	-----
I.P. :	14.32	-----

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



OBSERVACIONES:



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: **ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO.
CERRO DE PASCO

FECHA **06/2023**

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D 2216 - MTC E-108

SOLICITANTE : **ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO : 0

APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

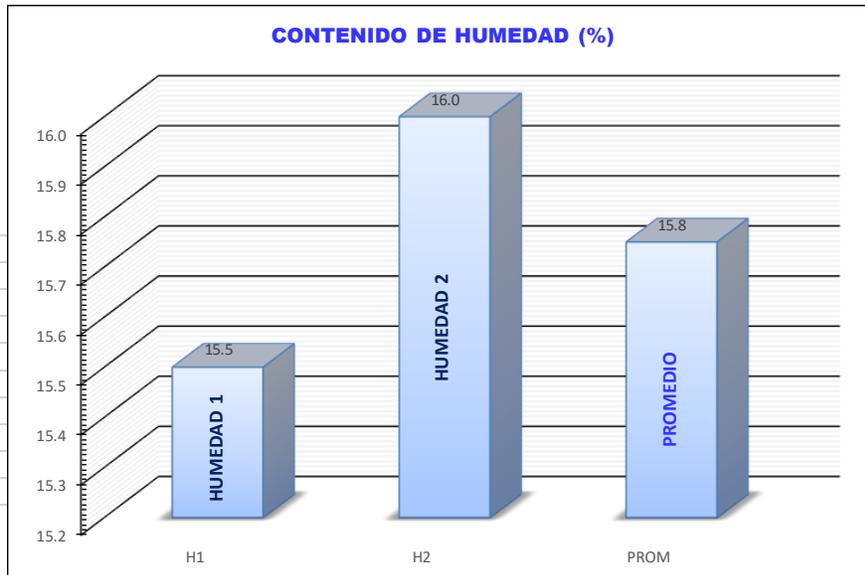
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 3.80 m.

MUESTRA : M - 01

CONTENIDO DE HUMEDAD PARA SUELOS MUESTRA INTEGRAL

Muestra	Nº	1	2	PROMEDIO
Recipiente	Nº	01	02	
Peso recipiente + suelo húmedo	gr	255.4	260.8	
Peso recipiente + suelo seco	gr	229.0	233.0	
Peso del recipiente	gr	59.0	59.0	
Peso de agua	gr	26.4	28	
Peso del suelo seco	gr	170.0	174	
Contenido de Humedad	%	15.5	16.0	15.8

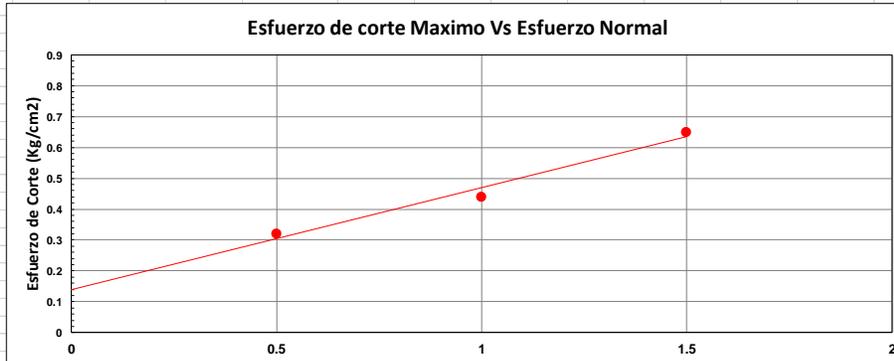
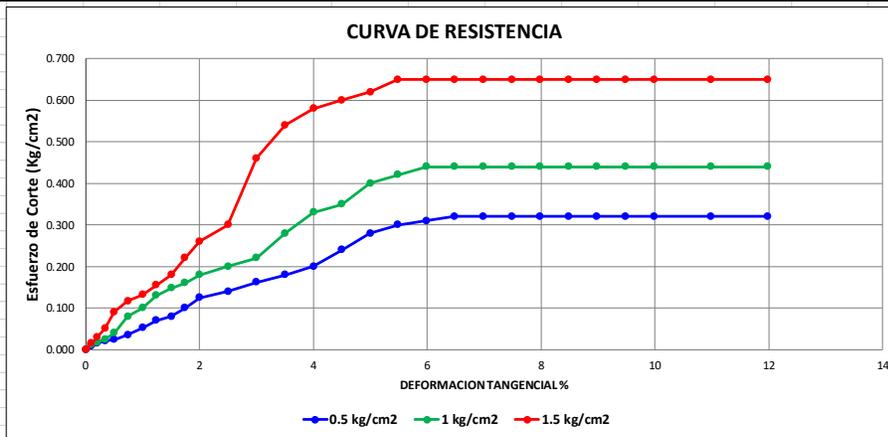


Obsevaciones:

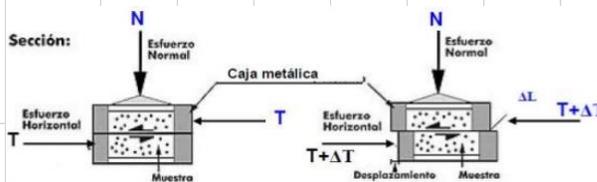
		CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES																	
<small>ASOC. 1° DE ENERO 1 - 25 - SANTIAGO - CUSCO</small>		<small>TELF: 984-146257 (Claro) - (Movistar) RPM #988901062</small>																	
PROYECTO :		ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS																	
UBICACIÓN :		SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO																	
SOLICITANTE :		ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA					CLASIFICACION GEOTECNICA												
		DATOS DEL MUESTREO					CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S				CL								
CALICATA : MUESTRA		M - 1 INALTERADA		CODIGO MUESTRA	MC - 03	PROF : FECHA :	3.80 mts. 07 - 06 - 2023		CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145				A - 6(7)						
METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO N.T.P. 339.171 - ASTM - D3080																			
NUMERO DE ENSAYO					ENSAYO 1					ENSAYO 2					ENSAYO 3				
Esfuerzo Normal					0.5 Kg/cm2					1 Kg/cm2					1.5 Kg/cm2				
Numero de talador					1					2					3				
Diametro					4.99 cm.					4.98 cm.					4.98 cm.				
Altura					1.98 cm.					1.98 cm.					2.01 cm.				
Volumen					38.72 cm3					38.57 cm3					39.15 cm3				
Area					19.56 cm2					19.56 cm2					19.56 cm2				
A0 0		0.32145454			A1 =		0.400000												
ENSAYO N° 01					ENSAYO N° 02					ENSAYO N° 03									
Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante
mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2
0	0.00	0.4	0	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000
0.05	0.20	0.5	0.10	0.008	0.05	0.60	0.59	0.10	0.012	0.05	0.90	0.69	0.10	0.015	0.05	0.90	0.69	0.10	0.015
0.1	0.66	0.6	0.20	0.015	0.1	1.80	0.98	0.20	0.018	0.1	2.02	1.05	0.20	0.030	0.1	2.02	1.05	0.20	0.030
0.17	0.80	0.7	0.34	0.021	0.17	3.00	1.36	0.34	0.025	0.17	4.00	1.69	0.34	0.050	0.17	4.00	1.69	0.34	0.050
0.25	2.20	1.1	0.50	0.024	0.25	4.80	1.94	0.50	0.040	0.25	6.10	2.36	0.50	0.090	0.25	6.10	2.36	0.50	0.090
0.37	3.50	1.5	0.74	0.035	0.37	7.90	2.94	0.74	0.080	0.37	8.00	2.97	0.74	0.117	0.37	8.00	2.97	0.74	0.117
0.5	6.20	2.4	1.00	0.052	0.5	9.10	3.33	1.00	0.100	0.5	11.60	4.13	1.00	0.132	0.5	11.60	4.13	1.00	0.132
0.62	7.00	2.7	1.24	0.070	0.62	10.90	3.90	1.24	0.130	0.62	13.30	4.68	1.24	0.155	0.62	13.30	4.68	1.24	0.155
0.75	8.10	3.0	1.50	0.080	0.75	13.30	4.68	1.50	0.148	0.75	16.90	5.83	1.50	0.180	0.75	16.90	5.83	1.50	0.180
0.87	10.40	3.7	1.74	0.100	0.87	14.50	5.06	1.74	0.160	0.87	18.10	6.22	1.74	0.220	0.87	18.10	6.22	1.74	0.220
1	11.60	4.1	2.00	0.125	1	16.90	5.83	2.00	0.180	1	20.00	6.83	2.00	0.260	1	20.00	6.83	2.00	0.260
1.25	13.30	4.7	2.50	0.140	1.25	18.80	6.44	2.50	0.200	1.25	23.02	7.80	2.50	0.300	1.25	23.02	7.80	2.50	0.300
1.5	14.40	5.0	3.00	0.162	1.5	21.20	7.21	3.00	0.220	1.5	24.50	8.28	3.00	0.460	1.5	24.50	8.28	3.00	0.460
1.75	15.20	5.3	3.50	0.180	1.75	23.00	7.79	3.50	0.280	1.75	27.30	9.18	3.50	0.540	1.75	27.30	9.18	3.50	0.540
2	15.20	5.3	4.00	0.200	2	24.80	8.37	4.00	0.330	2	29.80	9.98	4.00	0.580	2	29.80	9.98	4.00	0.580
2.25	15.20	5.3	4.50	0.240	2.25	25.40	8.56	4.50	0.350	2.25	31.02	10.37	4.50	0.600	2.25	31.02	10.37	4.50	0.600
2.5	15.20	5.3	5.00	0.280	2.5	26.00	8.76	5.00	0.400	2.5	32.30	10.78	5.00	0.620	2.5	32.30	10.78	5.00	0.620
2.74	15.20	5.3	5.48	0.300	2.74	26.60	8.95	5.48	0.420	2.74	32.30	10.78	5.48	0.650	2.74	32.30	10.78	5.48	0.650
2.99	15.20	5.3	5.98	0.310	2.99	27.20	9.14	5.98	0.440	2.99	32.30	10.78	5.98	0.650	2.99	32.30	10.78	5.98	0.650
3.24	15.20	5.3	6.48	0.320	3.24	27.80	9.34	6.48	0.440	3.24	32.30	10.78	6.48	0.650	3.24	32.30	10.78	6.48	0.650
3.49	15.20	5.3	6.98	0.320	3.49	27.80	9.34	6.98	0.440	3.49	32.30	10.78	6.98	0.650	3.49	32.30	10.78	6.98	0.650
3.74	15.20	5.3	7.48	0.320	3.74	27.80	9.34	7.48	0.440	3.74	32.30	10.78	7.48	0.650	3.74	32.30	10.78	7.48	0.650
3.99	15.20	5.3	7.98	0.320	3.99	27.80	9.34	7.98	0.440	3.99	32.30	10.78	7.98	0.650	3.99	32.30	10.78	7.98	0.650
4.24	15.20	5.3	8.48	0.320	4.24	27.80	9.34	8.48	0.440	4.24	32.30	10.78	8.48	0.650	4.24	32.30	10.78	8.48	0.650
4.49	15.20	5.3	8.98	0.320	4.49	27.80	9.34	8.98	0.440	4.49	32.30	10.78	8.98	0.650	4.49	32.30	10.78	8.98	0.650
4.74	15.20	5.3	9.48	0.320	4.74	27.80	9.34	9.48	0.440	4.74	32.30	10.78	9.48	0.650	4.74	32.30	10.78	9.48	0.650
4.99	15.20	5.3	9.98	0.320	4.99	27.80	9.34	9.98	0.440	4.99	32.30	10.78	9.98	0.650	4.99	32.30	10.78	9.98	0.650
5.49	15.20	5.3	10.98	0.320	5.49	27.80	9.34	10.98	0.440	5.49	32.30	10.78	10.98	0.650	5.49	32.30	10.78	10.98	0.650
5.99	15.20	5.3	11.98	0.320	5.99	27.80	9.34	11.98	0.440	5.99	32.30	10.78	11.98	0.650	5.99	32.30	10.78	11.98	0.650
Esfuerzo de Corte				0.320	Esfuerzo de Corte				0.440	Esfuerzo de Corte				0.650					
OBSERVACIONES																			

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS						
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO						
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA					CLASIFICACION GEOTECNICA	
						CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S	CL
DATOS DEL MUESTREO							
CALICATA :	M - 1	CODIGO	MC - 03	PROF :	3.80 mts.	CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145	A - 6(7)
MUESTRA	INALTERADA	MUESTRA		FECHA :	07 - 06 - 2023		

METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D3080



COHESION (C)	0.14	Kg/cm2
ANGULO DE FRICCION (Ø)	18.26	(°)



OBSERVACIONES



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TEL: 986-44827 (Cajón) 988901062 (Mevillar) RPM: 988901062

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS		
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO		
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA		
CALICATA :	C - 03 M - 01	CODIGO MUESTRA	MC - 01
DATOS DEL MUESTREO		PROF. :	3.80 mts.
		FECHA :	05 - 06 - 2023
CLASIFICACION GEOTECNICA		CLASIFICACION DEL SUELO	NORMA S.U.C.S
		CLASIFICACION DEL SUELO	NORMA A.A.S.H.T.O. M 145
			CL
			A - 6(7)

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.42

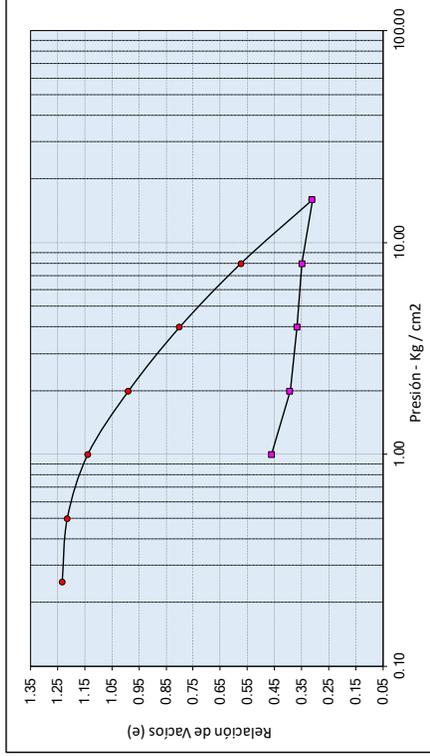
Ws = $\frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.6741 \text{ cm} \cdot 0.2654 \text{ plg.}$

Altura de sólidos, 2Ho = $\frac{2H \cdot 2Ho}{e}$

DIMENSIONES DEL ANILLO B	
ALTURA	1.975 cm
DIÁMETRO	5.09 cm
ÁREA	20.35 cm²
Peso Unitario inicial	1.410 g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD		
	Inicial	Final
Peso anillo+muestra hum.	112.62	106.96
Peso anillo+muestra seca.	89.14	88.96
Peso anillo	55.94	55.94
Peso del agua	23.48	18.00
Peso suelo seco	33.20	33.02
Humedad %	70.75	54.49

Carga Aplicada (kg/cm²)	Lectura Final (plg.)	2H (plg.)	Altura vacíos (plg.) 2H - 2Ho	Relación de Vacíos e
0	0	0.7776	0.5122	1.9297
0.25	0.1850	0.5926	0.3272	1.2327
0.50	0.1900	0.5976	0.3222	1.2138
1.00	0.2100	0.5676	0.3022	1.1385
2.00	0.2500	0.5276	0.2622	0.9877
4.00	0.3000	0.4776	0.2122	0.7894
8.00	0.3600	0.4176	0.1522	0.5733
16.00	0.4300	0.3476	0.0822	0.3095
8.00	0.4200	0.3576	0.0922	0.3472
4.00	0.4150	0.3626	0.0972	0.3661
2.00	0.4080	0.3686	0.1042	0.3924
1.00	0.3900	0.3976	0.1222	0.4603



Relación de vacíos inicial	1.9297
Relación de vacíos final	0.3095
Presión de preconsolidación - Pc	0

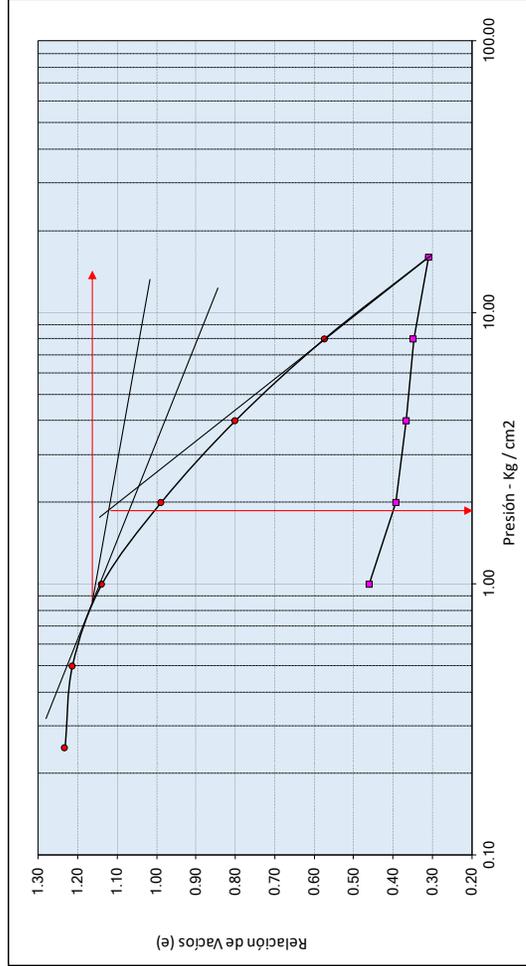
OSERVACIONES



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TEL: 984-146257 (Ciudad) - 985289028 (Móvil) / RPA #985289028

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PIEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS			
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 94+100 - DISTRITO . HUAYLLAY . - PROV. CERRO DE PASCO . - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO			
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA			
CALICATA :	C - 03	CODIGO	PROF. :	3.80 mts.
	M - 01	MUESTRA	FECHA :	05 - 06 - 2023
		MC - 01		
DATOS DEL MUESTREO				
			CLASIFICACION GEO TECNICA	
			CLASIFICACION DEL SUELO	CL
			NORMA S.U.C.S	
			CLASIFICACION DEL SUELO	A - 6(7)
			NORMA A.A.S.H.T.O. M 145	



e A =	0.8
e B =	0.32
e C =	0.47
σ A =	4.000 Kg/cm2
σ B =	18.00 Kg/cm2
σ C =	1.00 Kg/cm2

INDICE DE RECOMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cr) -0.119495966

INDICE DEL COMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cc) -0.38238709

OSERVACIONES

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad (\text{para arcillas normalmente consolidadas})$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad (\text{para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c) \quad (5.82)$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_c} \quad (\text{para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}) \quad (5.83)$$

donde

0.589 [Kg/cm²]

(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$)

1.0746 [Kg/cm²]

σ'_o = presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación

$\Delta\sigma'_{prom}$ = incremento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla causado por la construcción de la cimentación

1.85 [Kg/cm²]

σ'_c = presión de preconsolidación

2.4332

e'_o = relación de vacíos inicial del estrato de arcilla

0.382

C_c = índice de compresión

0.119

H'_c = índice de recompresión

380 cm

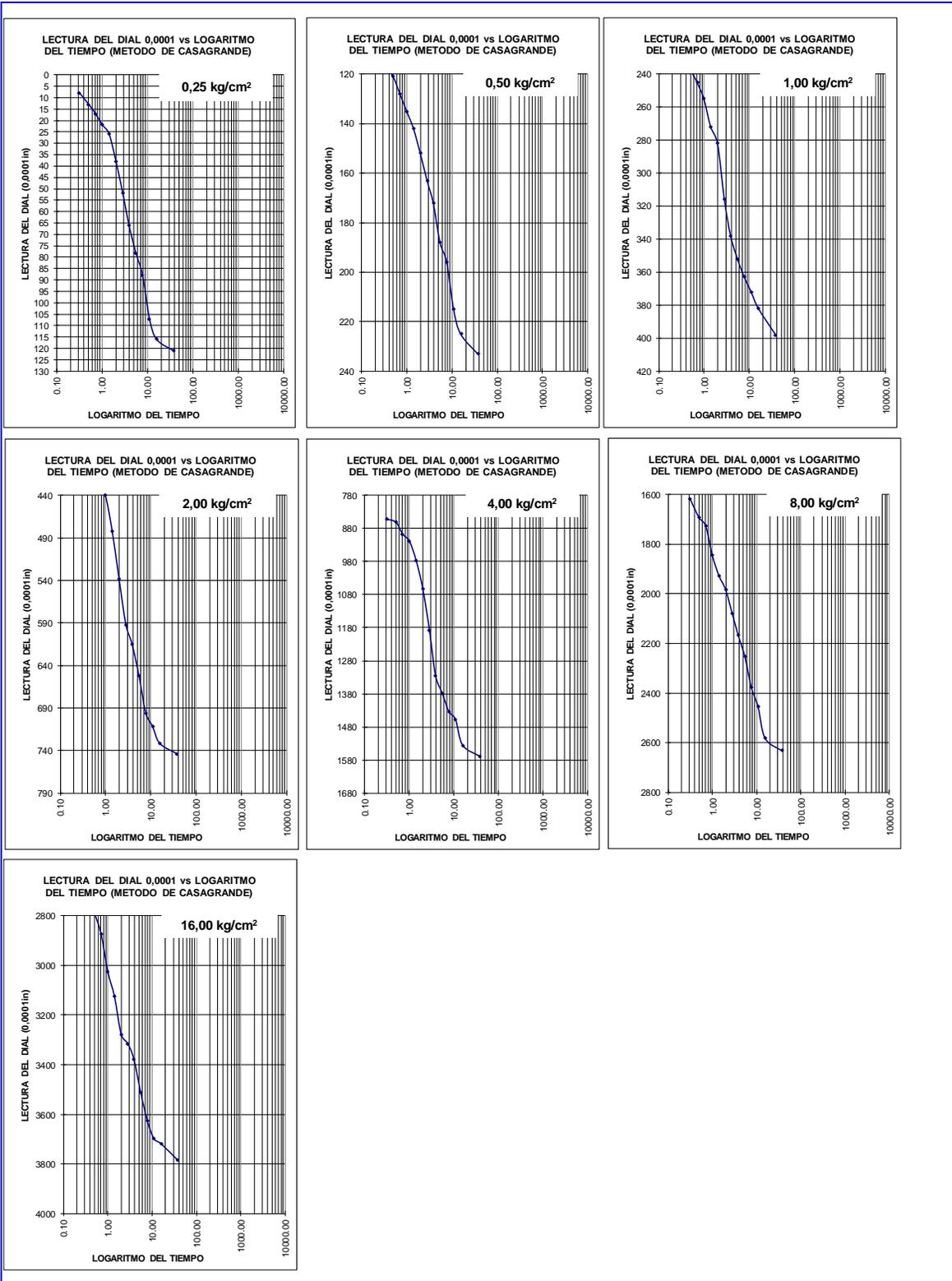
H_c = espesor del estrato de arcilla

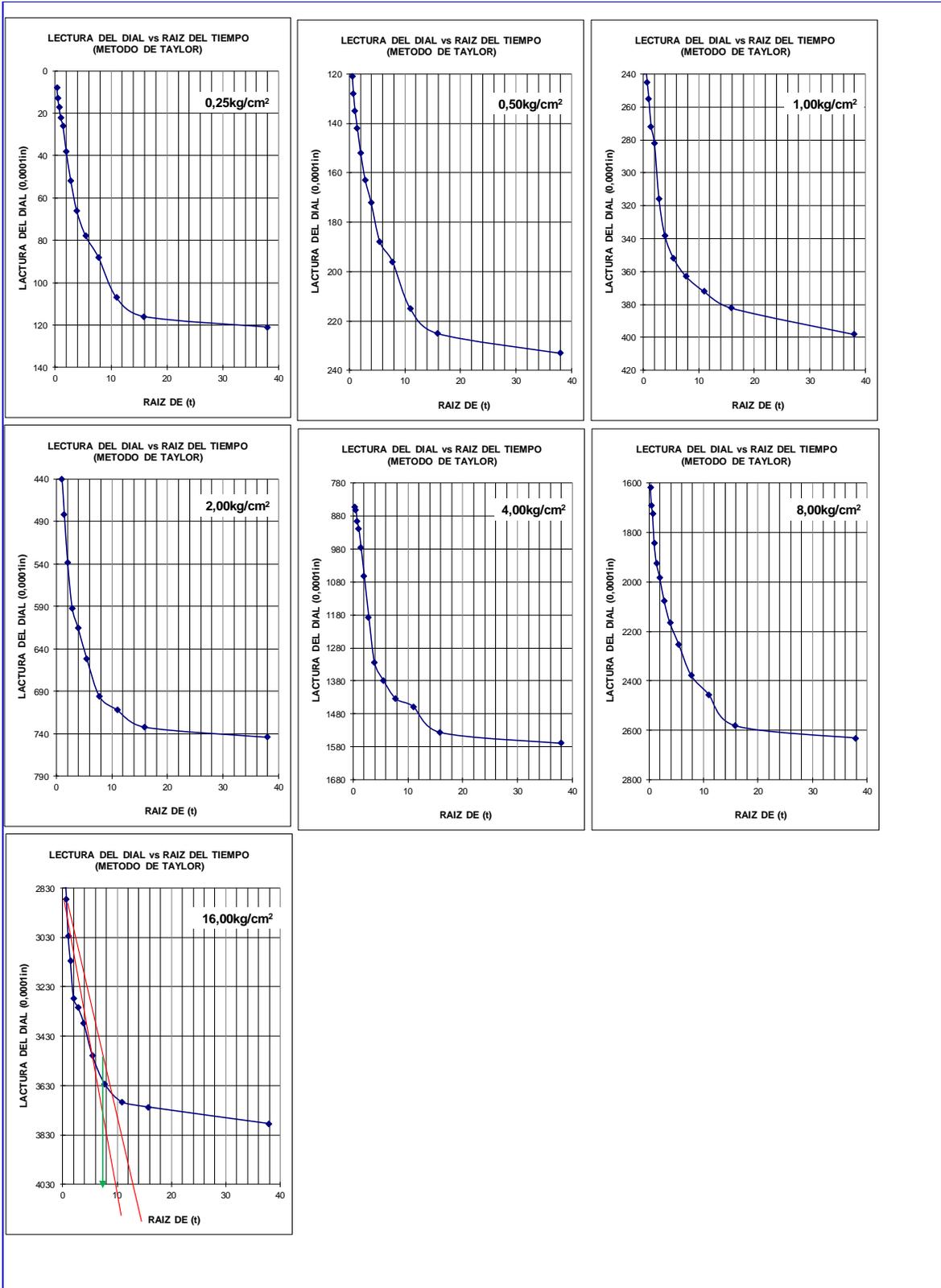
[Sc(p)] 5.96 cm.

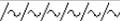
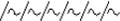
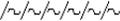
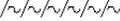
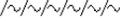
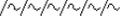
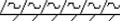
∴ con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$

1.66

< 1.85





		Dirección: Asoc. 1° de Enero I - 25 Dist. Santiago - Cusco Teléfono: 988901062 - 9841456257 RPM #988901062 e-mail: luisangel120@gmail.com		ESTUDIO GEOTECNICO DE CIMENTACIONES	
PROYECTO : ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS		UBICACIÓN : SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO		CALICATA <h1 style="margin: 0;">CG-04</h1>	
COORDENADAS :		FECHA		7/06/2023	
SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA					
PERFIL ESTRATIGRAFICO					
EXPLORACION: A cielo abierto (calicata)		COTA		REGISTRADO POR : Ing. Marco Tapia	
		N.F. (m)		SI	
				REVISADO POR : Ing. Luis Bellido	
Prof. (m)	Muestra	Símbolo	Descripción	Clasificación SUCS/AASHTO	
0.00					
			Material redepositado de arcillas limosas con fragmentos de piedras, etc.		
			Predominancia de abundantes raíces en la parte superior	RELLENO	
			Color. Marron claro		
0.50			Compacidad suelta		
					
					
1.00					
			Predominancia de Arcillas limosas inorganicas		
			Tonalidad del Deposito: Marron oscuro		
			Aspecto. Homogeneo	ARCILLAS	
1.50			Consistencia. Media	LIMOSAS	
	M - 1		El pulgar penetra con dificultad	DE MEDIANA	
			Dilatancia. Lenta	PLASTICIDAD	
			Alta resistencia a la disgregacion en estado seco	SUCS: CL	
			Mediana compresibilidad		
2.00			Baja permeabilidad		
			Grado de Humedad. Muy Humedo por asencion capilar		
			Nula efervescencia al contacto con HCl.		
			Presenta gravas en la parte inferior y se incrementa a mayor profundidad.		
2.50					
					
3.00					
					
3.50					
					
4.00					
					
4.50					
					
5.00					
OBSERVACIONES					
MAB: muestra alterada en bolsa MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo					



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS
KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO.
CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - ASTM D 422 - NTP 400.012

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO :

APROBADO POR : Ing. Luis A. Bellido P.

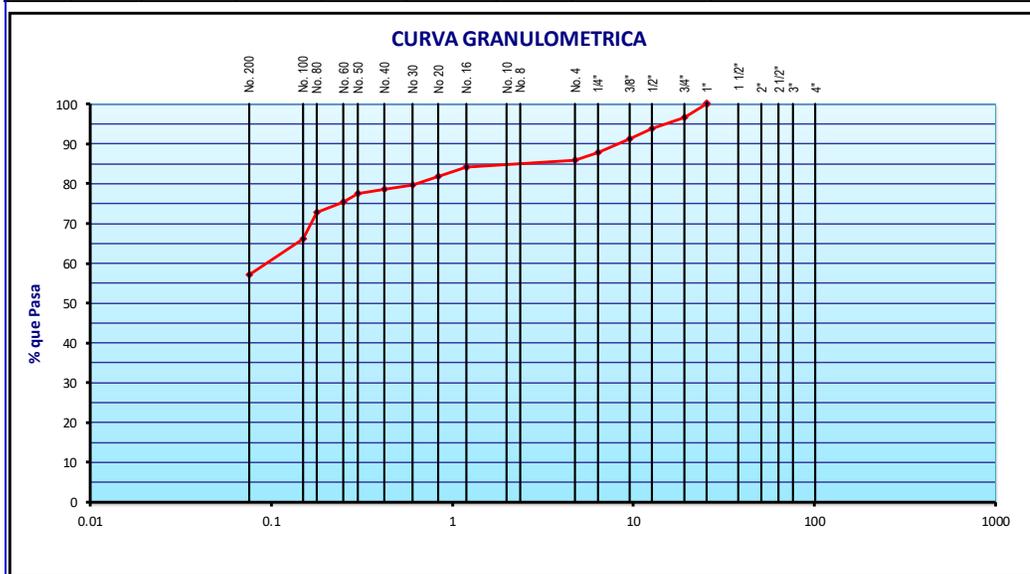
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 4.00 m.

CALICATA : C - 4

MUESTRA : M - 01

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra	
				Parcial	Acumulado				
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600							
	3"	76.200						Grava > 3"	
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500			0.0		Grava : 14.1 %	
		2"	50.800	0.0	0.0	0.0	0.0	Arena : 28.7 %	
		1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	0.0	Finos : 57.2 %	
		1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0		
		3/4"	19.050	116.3	3.3	3.3	96.7		Humedad Natural : 16.2 %
	FINA	1/2"	12.700	102.0	2.9	6.2	93.8		
		3/8"	9.525	88.0	2.5	8.7	91.3		Limite Liquido : 33.50
		1/4"	6.350	122.0	3.5	12.2	87.8		Limite Plastico : 19.27
		No. 4	4.760	65.0	1.9	14.1	85.9		I.P. : 14.23
		No. 8	2.360	0.0	0.0	0.0	0.0		
ARENA	GRUESA	No. 10	2.000	0.0	0.0	0.0		CLASIFICACION AASHTO: A-6(6)	
		No. 16	1.190	72.0	1.8	15.9	84.1		
		No. 20	0.834	91.0	2.3	18.2	81.8		CLASIFICACION SUCS: CL
	MEDIA	No. 30	0.600	87.0	2.2	20.4	79.6		
		No. 40	0.420	34.0	0.9	21.3	78.7		- Arcilla de baja plasticidad
		No. 50	0.300	42.0	1.1	22.4	77.6		
	FINA	No. 60	0.250	90.0	2.3	24.7	75.3		Peso Inicial (gr) : 3500.0
		No. 80	0.177	98.3	2.5	27.2	72.8		Peso Fracción (gr) : 3400.0
		No. 100	0.149	265.0	6.7	33.9	66.1		
		No. 200	0.075	354.0	8.9	42.8	57.2		
	-200	----	2266.7	57.2	100.0				



OBS. :



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO : **ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO -
DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO

FECHA : 06/2023

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA

SOLICITANTE : ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA
LADO : 0
MATERIAL: Alterada
PROFUNDIDAD : 4.00 m.
MUESTRA : M - 01

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.
APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

LIMITE PLASTICO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	5	3	PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)	15.98	16.27	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	24.12	22.02	
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	22.82	21.08	
Peso del Agua (gr)	1.30	0.94	
Peso del Suelo Seco (gr)	6.84	4.81	
Contenido de Humedad (%)	19.01	19.54	19.27

LIMITE LIQUIDO NTP 339.129.1998

Capsula Nro	2	4	6
Peso de la Capsula (gr)	15.69	16.47	16.00
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	38.52	37.04	40.22
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	33.02	31.93	33.88
Numero de Golpes	34	28	18
Peso del agua (g)	5.50	5.11	6.34
Peso del Suelo Seco (gr)	17.33	15.46	17.88
Contenido de Humedad (%)	31.74	33.05	35.46

	RESULTADOS	ESPECIFICADO
L.L. :	33.50	-----
L.P. :	19.27	-----
I.P. :	14.23	-----

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



OBSERVACIONES: _____



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

PROYECTO: **ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO.
CERRO DE PASCO

FECHA **06/2023**

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D 2216 - MTC E-108

SOLICITANTE : **ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA**

HECHO POR : Ing. Marco Tapia P.

LADO : 0

APROBADO POR : Ing. Luis Angel Bellido P.

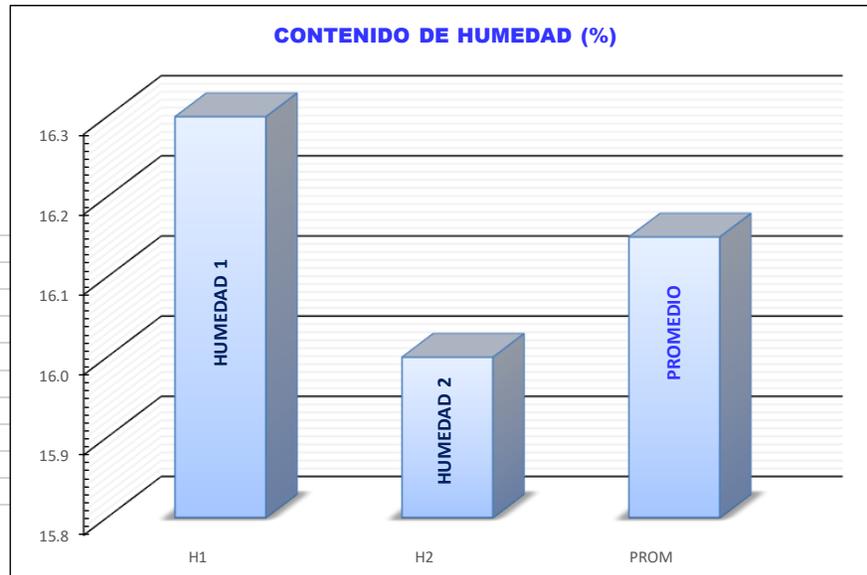
MUESTREO : Alterada

PROFUNDIDAD : 4.00 m.

MUESTRA : M - 01

CONTENIDO DE HUMEDAD PARA SUELOS MUESTRA INTEGRAL

Muestra	Nº	1	2	PROMEDIO
Recipiente	Nº	01	02	
Peso recipiente + suelo húmedo	gr	306.6	307.3	
Peso recipiente + suelo seco	gr	272.0	273.0	
Peso del recipiente	gr	59.6	59.0	
Peso de agua	gr	34.6	34	
Peso del suelo seco	gr	212.4	214	
Contenido de Humedad	%	16.3	16.0	16.2

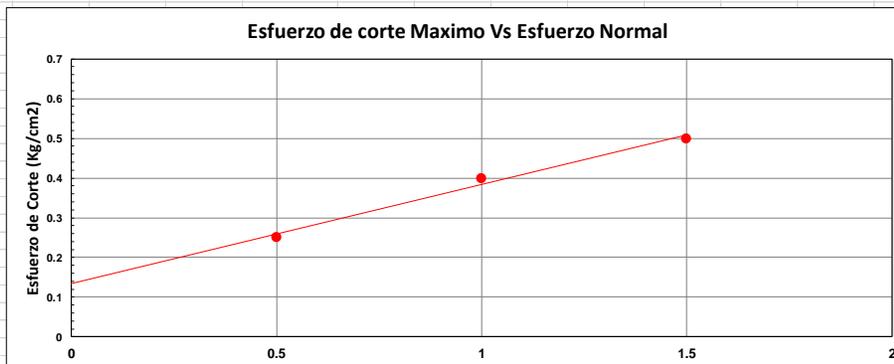
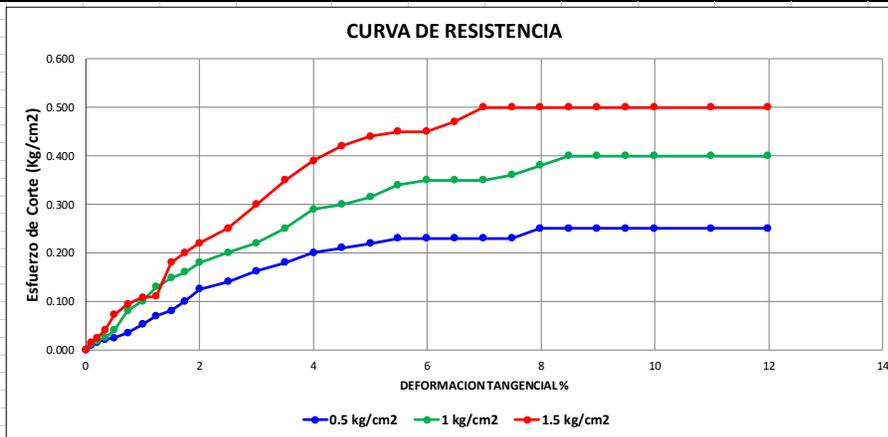


Obsevaciones:

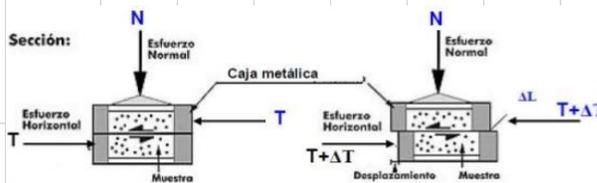
		CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES																	
<small>ASOC. 1° DE ENERO 1 - 25 - SANTIAGO - CUSCO</small>		<small>TEL: 984-146257 (Claro) - (Movistar) RPM #988901062</small>																	
PROYECTO :		ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS																	
UBICACIÓN :		SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO																	
SOLICITANTE :		ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA					CLASIFICACION GEOTECNICA												
		DATOS DEL MUESTREO					CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S				CL								
CALICATA : MUESTRA		M - 1 INALTERADA		CODIGO MUESTRA	MC - 01	PROF : FECHA :	4.00 mts. 07 - 06 - 2023		CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145				A - 6(6)						
METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO N.T.P. 339.171 - ASTM - D3080																			
NUMERO DE ENSAYO					ENSAYO 1					ENSAYO 2					ENSAYO 3				
Esfuerzo Normal					0.5 Kg/cm2					1 Kg/cm2					1.5 Kg/cm2				
Numero de talador					1					2					3				
Diametro					4.99 cm.					4.98 cm.					4.98 cm.				
Altura					1.98 cm.					1.98 cm.					2.01 cm.				
Volumen					38.72 cm3					38.57 cm3					39.15 cm3				
Area					19.56 cm2					19.56 cm2					19.56 cm2				
A0 0		0.32145454			A1 =		0.400000												
ENSAYO N° 01					ENSAYO N° 02					ENSAYO N° 03									
Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante	Dial Deforma.	Dial Corte	Fuerza Cortante	% Deforma.	Esfuerzo Cortante
mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2	mm	mm.	Kg	mm	Kg/cm2
0	0.00	0.4	0	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000	0	0.00	0.40	0.00	0.000
0.05	0.20	0.5	0.10	0.008	0.05	0.60	0.59	0.10	0.012	0.05	0.90	0.69	0.10	0.015	0.05	0.90	0.69	0.10	0.015
0.1	0.66	0.6	0.20	0.015	0.1	1.80	0.98	0.20	0.018	0.1	2.02	1.05	0.20	0.024	0.1	2.02	1.05	0.20	0.024
0.17	0.80	0.7	0.34	0.021	0.17	3.00	1.36	0.34	0.025	0.17	4.00	1.69	0.34	0.040	0.17	4.00	1.69	0.34	0.040
0.25	2.20	1.1	0.50	0.024	0.25	4.80	1.94	0.50	0.040	0.25	6.10	2.36	0.50	0.072	0.25	6.10	2.36	0.50	0.072
0.37	3.50	1.5	0.74	0.035	0.37	7.90	2.94	0.74	0.080	0.37	8.00	2.97	0.74	0.094	0.37	8.00	2.97	0.74	0.094
0.5	6.20	2.4	1.00	0.052	0.5	9.10	3.33	1.00	0.100	0.5	11.60	4.13	1.00	0.108	0.5	11.60	4.13	1.00	0.108
0.62	7.00	2.7	1.24	0.070	0.62	10.90	3.90	1.24	0.130	0.62	13.30	4.68	1.24	0.110	0.62	13.30	4.68	1.24	0.110
0.75	8.10	3.0	1.50	0.080	0.75	13.30	4.68	1.50	0.148	0.75	16.90	5.83	1.50	0.180	0.75	16.90	5.83	1.50	0.180
0.87	10.40	3.7	1.74	0.100	0.87	14.50	5.06	1.74	0.160	0.87	18.10	6.22	1.74	0.200	0.87	18.10	6.22	1.74	0.200
1	11.60	4.1	2.00	0.125	1	16.90	5.83	2.00	0.180	1	20.00	6.83	2.00	0.220	1	20.00	6.83	2.00	0.220
1.25	13.30	4.7	2.50	0.140	1.25	18.80	6.44	2.50	0.200	1.25	23.02	7.80	2.50	0.250	1.25	23.02	7.80	2.50	0.250
1.5	14.40	5.0	3.00	0.162	1.5	21.20	7.21	3.00	0.220	1.5	24.50	8.28	3.00	0.300	1.5	24.50	8.28	3.00	0.300
1.75	15.20	5.3	3.50	0.180	1.75	23.00	7.79	3.50	0.250	1.75	27.30	9.18	3.50	0.350	1.75	27.30	9.18	3.50	0.350
2	15.20	5.3	4.00	0.200	2	24.80	8.37	4.00	0.290	2	29.80	9.98	4.00	0.390	2	29.80	9.98	4.00	0.390
2.25	15.20	5.3	4.50	0.210	2.25	25.40	8.56	4.50	0.300	2.25	31.02	10.37	4.50	0.420	2.25	31.02	10.37	4.50	0.420
2.5	15.20	5.3	5.00	0.219	2.5	26.00	8.76	5.00	0.315	2.5	32.30	10.78	5.00	0.440	2.5	32.30	10.78	5.00	0.440
2.74	15.20	5.3	5.48	0.230	2.74	26.60	8.95	5.48	0.340	2.74	32.30	10.78	5.48	0.450	2.74	32.30	10.78	5.48	0.450
2.99	15.20	5.3	5.98	0.230	2.99	27.20	9.14	5.98	0.350	2.99	32.30	10.78	5.98	0.450	2.99	32.30	10.78	5.98	0.450
3.24	15.20	5.3	6.48	0.230	3.24	27.80	9.34	6.48	0.350	3.24	32.30	10.78	6.48	0.470	3.24	32.30	10.78	6.48	0.470
3.49	15.20	5.3	6.98	0.230	3.49	27.80	9.34	6.98	0.350	3.49	32.30	10.78	6.98	0.500	3.49	32.30	10.78	6.98	0.500
3.74	15.20	5.3	7.48	0.230	3.74	27.80	9.34	7.48	0.360	3.74	32.30	10.78	7.48	0.500	3.74	32.30	10.78	7.48	0.500
3.99	15.20	5.3	7.98	0.250	3.99	27.80	9.34	7.98	0.380	3.99	32.30	10.78	7.98	0.500	3.99	32.30	10.78	7.98	0.500
4.24	15.20	5.3	8.48	0.250	4.24	27.80	9.34	8.48	0.400	4.24	32.30	10.78	8.48	0.500	4.24	32.30	10.78	8.48	0.500
4.49	15.20	5.3	8.98	0.250	4.49	27.80	9.34	8.98	0.400	4.49	32.30	10.78	8.98	0.500	4.49	32.30	10.78	8.98	0.500
4.74	15.20	5.3	9.48	0.250	4.74	27.80	9.34	9.48	0.400	4.74	32.30	10.78	9.48	0.500	4.74	32.30	10.78	9.48	0.500
4.99	15.20	5.3	9.98	0.250	4.99	27.80	9.34	9.98	0.400	4.99	32.30	10.78	9.98	0.500	4.99	32.30	10.78	9.98	0.500
5.49	15.20	5.3	10.98	0.250	5.49	27.80	9.34	10.98	0.400	5.49	32.30	10.78	10.98	0.500	5.49	32.30	10.78	10.98	0.500
5.99	15.20	5.3	11.98	0.250	5.99	27.80	9.34	11.98	0.400	5.99	32.30	10.78	11.98	0.500	5.99	32.30	10.78	11.98	0.500
Esfuerzo de Corte				0.250	Esfuerzo de Corte				0.400	Esfuerzo de Corte				0.500					
OBSERVACIONES																			

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS					
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV, CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO					
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA				CLASIFICACION GEOTECNICA	
	DATOS DEL MUESTREO				CLASIFICACION DEL SUELO NORMA S.U.C.S	CL
CALICATA :	M - 1	CODIGO	MC - 01	PROF :	4.00 mts.	CLASIFICACION DEL SUELO NORMA A.A.S.H.T.O. M 145
MUESTRA	INALTERADA	MUESTRA		FECHA :	07 - 06 - 2023	

METODO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D3080



COHESION (C)	0.14	Kg/cm2
ANGULO DE FRICCION (Ø)	14.04	(°)



OBSERVACIONES	
---------------	--



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TEL: 984-146257 (Claro) - 988501062 (Movistar) RPM #988501062

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS			
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO			
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA			
CALICATA :	C - 04	CODIGO	MC - 01	PROF. : 4.00 mts.
	M - 01	MUESTRA		FECHA : 06 - 06 - 2023
DATOS DEL MUESTREO				
		CLASIFICACION DEL SUELO		CL
		NORMA S.U.C.S		
		CLASIFICACION DEL SUELO		A - 6(6)
		NORMA A.A.S.H.T.O. M 145		

DIMENSIONES DEL ANILLO		B	
ALTIMETRIA	1.975 cm	0.78 plg.	
DIÁMETRO	5.09 cm	2.00 plg.	
ÁREA	20.35 cm ²		
Peso Unitario Inicial	1.410	g/cm ³	

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

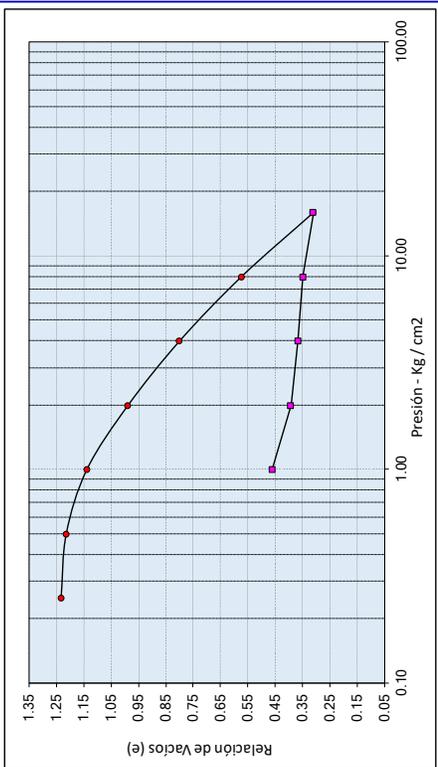
Gs : 2.42

$Ws = 0.6741$ cm; 0.2654 plg;
 $Gs \cdot Dw \cdot A$

Altura de sólidos, $2H_o =$ 2H - 2Hb
 $e =$ 2Hb

CONTENIDO DE HUMEDAD			
	Inicial	Final	
Peso de la muestra	112.62	106.96	
Peso anillo+muestra hum.	89.14	88.96	
Peso anillo+muestra seca.	55.94	55.94	
Peso del agua	23.48	18.00	
Peso suelo seco	33.20	33.02	
Humedad	70.75	54.49	

Carga Aplicada (kg/cm ²)	Lectura Final (plg.)	2H (plg.)	Altura vacios 2H - 2Ho (plg.)	Relación de Vacios e
0	0	0.7776	0.5122	1.9297
0.25	0.1850	0.5926	0.3272	1.2327
0.50	0.1900	0.5876	0.3222	1.2138
1.00	0.2100	0.5676	0.3022	1.1385
2.00	0.2500	0.5276	0.2622	0.9877
4.00	0.3000	0.4776	0.2122	0.7994
8.00	0.3600	0.4176	0.1522	0.5733
16.00	0.4300	0.3476	0.0822	0.3095
8.00	0.4200	0.3576	0.0922	0.3472
4.00	0.4150	0.3626	0.0972	0.3661
2.00	0.4080	0.3696	0.1042	0.3924
1.00	0.3900	0.3876	0.1222	0.4603



Relación de vacios inicial	1.9297
Relación de vacios final	0.3095
Presión de preconsolidación - Pc	2.10

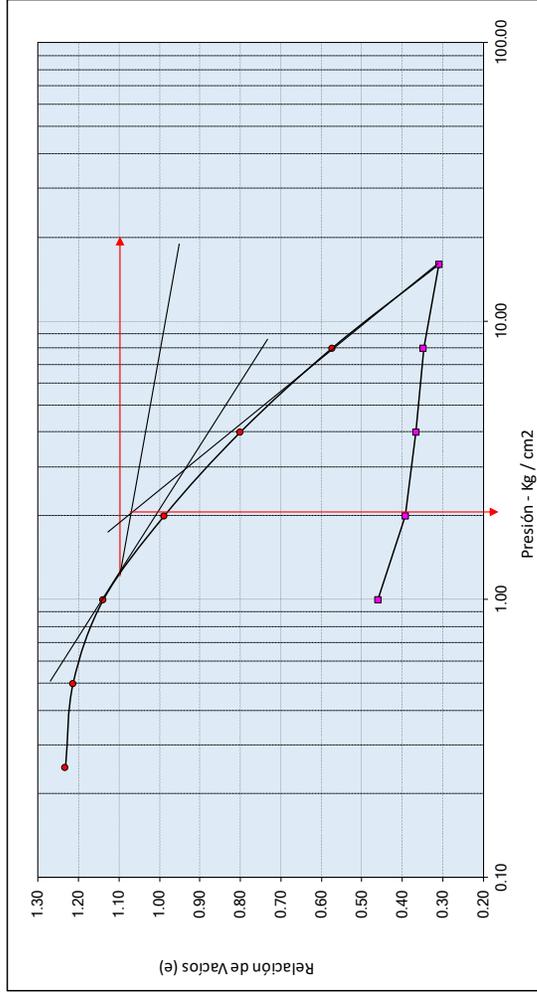
OSERVACIONES



**CONSULTORIA EN ESTUDIOS GEOTECNICOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

TEL: 984-146257 (Chiro) - 985289028 (Mevicda) RFP M#985289028

PROYECTO :	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DE SUELOS ORGANICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PEDRAPLEN ENTRE LOS KM. 90+000 - 95+000 DE LA CARRETERA CANTA - HUAYLLAY, MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS				
UBICACIÓN :	SECTOR KM. 94+700 - DISTRITO. HUAYLLAY - PROV. CERRO DE PASCO - DEPARTAMENTO. CERRO DE PASCO				
SOLICITANTE :	ING. JAVIER CLEMENTINO CARDENAS BONILLA				
CALICATA :	C - 04	CODIGO MUESTRA	MC - 01	PROF. :	4.00 mts.
	M - 01		FECHA :	06 - 06 - 2023	
			DATOS DEL MUESTREO		
			CLASIFICACION DEL SUELO		
			NORMA S.U.C.S		
			CLASIFICACION DEL SUELO		
			NORMA A.A.S.H.T.O. M 145		
			CL		
			A - 6(6)		



e A =	0.8
e B =	0.32
e C =	0.47
σ A =	4.000 Kg/cm ²
σ B =	18.00 Kg/cm ²
σ C =	1.00 Kg/cm ²

INDICE DE RECOMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cr) -0.119495966

INDICE DEL COMPRESION DEL SUELO ENSAYADO (Cc) -0.38238709

OSERVACIONES

$$S_{c(p)} = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad \text{(para arcillas normalmente consolidadas)}$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_o} \quad \text{(para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c \text{)} \quad (5.82)$$

$$S_{c(p)} = \frac{C_r H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}}{\sigma'_c} \quad \text{(para arcillas sobreconsolidadas con } \sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} \text{)} \quad (5.83)$$

donde

0.620 [kg/cm²]

1.0739 [kg/cm²]

2.10 [kg/cm²]

2.4332

0.382

0.119

400 cm

σ'_o = presión efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la construcción de la cimentación

$\Delta\sigma'_{prom}$ = incremento promedio en la presión efectiva sobre el estrato de arcilla causado por la construcción de la cimentación

σ'_c = presión de preconsolidación

e_0 = relación de vacíos inicial del estrato de arcilla

C_c = índice de compresión

C_r = índice de recompresión

H_c = espesor del estrato de arcilla

(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$)

(para arcillas sobreconsolidadas con $\sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom}$)

con $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{prom} < \sigma'_c$

1.69

< 2.10

S_{c(p)} 6.08 cm.

